

ESPINOSA

MANUAL
DE
CAMINOS





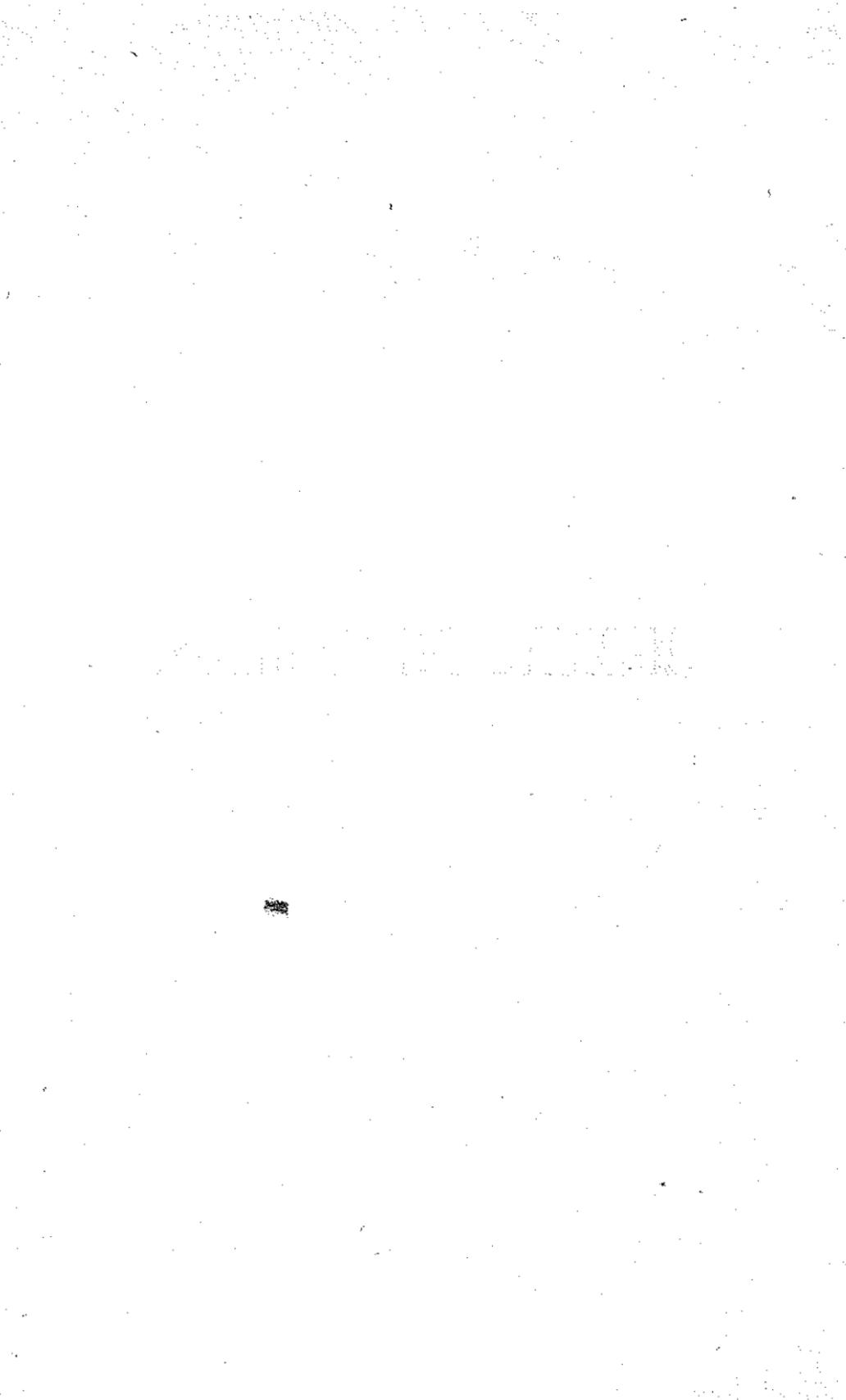
Z-1-203

21-40

13582

NM 4256

MANUAL DE CAMINOS.



MANUAL DE CAMINOS

QUE COMPRENDE

SU TRAZADO, CONSTRUCCION Y CONSERVACION.

POR

D. C. P. ESPINOSA,

INGENIERO JEFE DE PRIMERA CLASE.

←—————→
SEGUNDA EDICION.
←—————→

MADRID.

LIBRERÍA DE D. JOSÉ CUESTA, CALLE DE CARRETAS, NÚM. 9.

1858.

ADVERTENCIA DE LA PRIMERA EDICION.

LA falta de un tratado especial en que estuvieran reunidas las materias concernientes al trazado y construccion de las carreteras y en el cual los encargados de su ejecucion, especialmente los subalternos, pudieran adquirir los conocimientos necesarios, nos ha movido á publicar este *Manual*, que podrá suplir aquella falta, aunque sea incompletamente.

Es cierto que hácia 1820 el Sr. D. Francisco Javier Barra, despues director general de caminos, publicó un librito sobre construccion de carreteras, pero en él se limitaba solo á la explicacion de algunos sistemas de ejecucion de firmes.

El ingeniero D. Ramon del Pino tambien publicó en 1840 un *Tratado* muy útil relativo á la conservacion de carreteras, pero á mas de que la edicion de este libro está agotada, su objeto principal era dicha conservacion.

En fin, el *Manual de caminos vecinales* publicado por D. Ramon Castilla, trata solo algunas cuestiones y con poca estension, no sirviendo para llenar el objeto.

En nuestro *Manual* se ha reunido todo lo concerniente al trazado, á la construccion y á la conservacion de las carreteras, sin dar una estension grande á las materias, con objeto de formar un libro poco voluminoso y económico, pero sin dejar de esponer las de mayor interés é inmediata aplicacion, y aun indicando algunas que con dichos objetos tienen una relacion directa.

Para ello hemos consultado las *Memorias* insertas en los *Anales de puentes y calzadas* de Francia, los escritos de Bert-

hault Ducreux, Dupuits, Gayffier, Endres Lemoine, Mac-Adam, Tregold y otros autores, que se citan en el texto: teniendo igualmente presentes los apuntes recogidos en obras que hemos tenido á nuestro cargo y los datos que hemos podido adquirir de las ejecutadas por otros ingenieros en España.

Creemos contribuir de esta manera á que se generalicen los conocimientos de un ramo tan importante, y si lo conseguimos, quedarán satisfechos nuestros deseos y cumplido el único objeto que nos ha movido á publicar este libro.

ADVERTENCIAS RELATIVAS A LA SEGUNDA EDICION.

Ademas de corregir varias erratas advertidas en la primera edicion, se ha sustituido á las disposiciones citadas sobre la clasificacion de carreteras, sobre formularios para la redaccion de proyectos y otras, aquellas que se han publicado con posterioridad. Tambien se han adicionado con notas y ampliado varios articulos tales como el relativo á la configuracion de terrenos, á la influencia de las pendientes y de las curvas en los trazados; al uso de la estadia á los estados de nivelacion y los datos prácticos en los desmontes y terraplenes.

Las tablas de reduccion de grados á su equivalencia del tanto por ciento de pendiente, se han aumentado considerablemente estableciéndola desde 0° á 26° de minuto en minuto y desde 27° á 45° de medio en medio grado.

Al tratar de la explotacion de los desmontes en roca, ademas de adicionar la parte relativa á la carga de barrenos, se detalla estensamente el método llamado de camaras empleando ácidos y se indica igualmente el método general para la aplicacion de la pila eléctrica.

Se describe detalladamente el contador de carretillas, haciendo nuevas indicaciones para el caso de que se empleen tierras de prestamo en los terraplenes: Tambien se hacen algunas observaciones sobre las máquinas de partir piedra.

Al tratar de la conservacion de los firmes se extracta el dictámen de la comisión Francesa relativa al espesor de aquellos, ampliando tambien la comparacion de empedrados y firmes ordinarios, la descripcion de los cargos ó cajas de medir piedra, la disposicion que debe darse á los acopios de conserva-

pues no en todos los casos serán dados ciertos puntos intermedios, y convendrá examinar cuáles son los que mejor satisfacen. Para fijar estos, no podrán algunas veces cumplirse las buenas condiciones relativas al tránsito parcial ó frecuentacion intermedia, porque el alargamiento y coste de la línea podría ser tal que se recargasen demasiado los transportes: así es que á veces convendrá mas establecer ramales á los puntos productores y acortar la línea principal.

Ademas de los puntos de sujecion marcados hay otros que nacen de la naturaleza del terreno, como son las montañas, rios, etc., y que sujetan el trazado á las condiciones facultativas que vamos á esponer.

TRAZADO FACULTATIVO.

Alineaciones
y perfiles

El trazado facultativo de una carretera puede dividirse en horizontal y vertical.

El primero consta de las alineaciones rectas y curvas. El segundo de los perfiles longitudinales, compuestos de rasantes horizontales y en pendiente, y tambien de los perfiles transversales que constituyen su forma.

El trazado de una carretera no solo debe satisfacer á las condiciones económicas de construccion mas favorables, sino tambien á las mas convenientes para los transportes. La primera condicion podrá, generalmente, tener lugar; aun cuando no todas las veces se verifica, con el mínimo desarrollo, ó en el trazado horizontal. La segunda en el vertical, elevándose á la menor altura posible y distribuyendo convenientemente las pendientes.

Pero no siempre podrá satisfacerse á todas las buenas condiciones simultáneamente, siendo necesario sacrificar algunas de ellas á las demas.

La direccion recta no es posible seguirla en general, como no sea en paises llanos, para dirigirse de un pueblo á otro; sin embargo, puede servir de guia para escoger la mas conveniente ó que mas se aproxime á ella. El querer acortar una línea

de carretera podrá tener graves dificultades en algunos casos, aumentando extraordinariamente los desmontes y terraplenes y las obras de fábrica.

Las cordilleras de montañas están formadas de divisorias principales, á las cuales se unen otras de segundo orden, cuya direccion es, próximamente, perpendicular á las primeras. A estas últimas, las de tercer orden perpendiculares á ellas ó paralelas á las de primero y así sucesivamente. De este modo queda dividida la superficie del terreno en cuencas ó valles, por cuyos puntos mas bajos ó talwegs (camino del valle) corren los rios de primer orden, de segundo etc., siendo los de orden inferior afluentes de los principales. A las últimas divisorias de la ramificacion se suele dar el nombre de estribos ó contrafuertes.

Configuración general del terreno.

Tomadas en su configuración general afectan las divisorias direcciones próximamente rectas, pudiendo considerarse los puntos donde concurren las secundarias como los de máxima altura. Por el contrario, el punto donde concurren dos talwegs es un mínimo relativo.

Cuando en el mismo punto de una divisoria concurren otra secundaria y un talweg, se forma una inflexion en el sentido horizontal. Cuando los cursos de dos talwegs son paralelos, pero en sentido contrario, debe haber un punto mínimo en la divisoria que es la separación de ambos cursos.

En los países llanos pocas dificultades ofrece el trazado de una carretera. En los terrenos montañosos es en donde suelen ocurrir mayores y aunque no es posible dar reglas fijas, deben, sin embargo, tenerse presentes algunas consideraciones como apreciación aproximada de las circunstancias en que pueden encontrarse estos trazados.

Disposición del trazado según la topografía del terreno.

Países llanos.

La carretera puede trazarse, bien sea en las laderas ó vertientes de las divisorias, ó pasando de uno á otro lado de estas, ó combinándose ambos casos, como sucede en la mayor parte de los trazados en país de montaña.

Terrenos quebrados ó montañosos

Cuando el trazado sigue la direccion de una cordillera no hay generalmente sino dos posiciones convenientes, particularmente en las formaciones de rocas, que presentan muchas desigualdades como sucede en las graníticas. Una de las posiciones es la faja de terreno que suele encontrarse mas baja que la línea de divisoria principal, donde nacen los arroyos y que es mas llana que el resto de la ladera. Inferiormente á esta posicion las laderas son mas quebradas. El fondo de los valles ó una línea casi paralela á corta distancia del talweg de estos, es otra direccion conveniente en muchos casos para llevar el trazado. Apartándose de estas direcciones hay esposicion de cortar los afluentes aumentando inútilmente la suma de alturas.

El fondo de los valles no siempre se presta bien al trazado por estrecharse demasiado y ser á veces tortuoso y desigual. La pendiente del terreno suele ser pequeña al principio y muy considerable en la parte superior ú origen. Lo mismo sucede respecto de los afluentes; estos dan la solucion conveniente para pasar una divisoria siguiendo sus márgenes en muchos casos, pero en algunos sucede lo que acabamos de indicar en los valles principales, su pendiente general es mayor del límite que conviene seguir con el trazado.

Las laderas en la parte intermedia entre las dos señaladas antes, es en donde generalmente se presentan mas obstáculos, por cortarse con el trazado los arroyos en partes mas profundas y de márgenes escarpadas, siendo de este modo muy costosas las obras de fábrica, tanto para su construccion como para su conservacion. Las cortaduras en las estribaciones dan lugar á movimientos de tierras mas considerables, aumentándose por consiguiente el coste del camino.

El mínimo de alturas entre dos puntos de un trazado cuando uno de ellos está en el talweg y el otro en la cumbre ó divisoria, es la diferencia de nivel entre ambos puntos. Cuando se hallan en dos cumbres, la suma de alturas de ambas sobre el talwegs, que las separa, es el mínimo. Si los puntos estan en dos talwegs, este mínimo será la suma de las alturas de la divisoria sobre cada uno de ellos. En general, si los dos puntos están se-

parados por un número cualquiera de divisorias y talwegs, el mínimo de alturas que hay que salvar, será la suma de las que tienen las divisorias sobre los talwegs correspondientes, mas la suma de las diferencias de nivel de los dos puntos extremos con el primer talweg ó con la divisoria.

Debe evitarse en lo posible el bajar para subir despues, ó vice-versa ; haciendo de modo que las pendientes al aproximarse el trazado á la parte superior, sean las más suaves, pues al llegar á esta es mayor la fatiga de los motores.

Aparte de las dificultades que pueden presentar las vertientes ó laderas de los paises montañosos relativamente al trazado material del camino, hay otras que nacen de su esposicion ú orientación. Su mayor esposicion á las nieves es un grave inconveniente, debiendo elegirse las vertientes mas ventiladas y soleadas, siempre que pueda conciliarse con las demas circunstancias del trazado. Hay, sin embargo, casos en que reinando vientos fuertes en el pais, convendrá elejir una posicion abrigada.

El terreno puede presentarse tambien formando colinas, cerros ó desigualdades aisladas que dificultan el trazado tanto porque muchas veces hace dudar cual será la direccion mas conveniente que deba seguirse, como por los movimientos de tierra á que dá lugar el tener que hacer cortaduras y terraplenes continuados. Los terrenos de las cercanias de Madrid en donde está construido el canal de conduccion de aguas es uno de los ejemplos mejores que pueden presentarse de esta clase.

Terrenos desiguales.

Cuando la diferencia de nivel entre los puntos extremos del proyecto es menor que la que corresponde á la máxima pendiente adoptada, se puede en este caso hacer el trazado directamente, á no ser que obstáculos de otra clase lo impidan. Cuando esta diferencia de nivel sea mayor, hay necesidad de desarrollar el trazado, bien rodeando por las vertientes ó laderas, bien trazando en ellas recodos ó zik-zaks.

Tanteos gráficos del trazado.

Aunque no puedan aplicarse con exactitud matemática, es útil, sin embargo, tener presente algunas disposiciones del tra-

zado en las diversas circunstancias que puede presentar el terreno y conocer el modo de verificar los tanteos, una vez obtenidos los datos necesarios.

Laderas curvas.

La figura 1.^a representa por medio de las curvas de nivel una ladera curva en la cual ha de trazarse el desarrollo del camino: $a'u'$, $a'a''$ etc., son las proyecciones horizontales de las pendientes límites adoptadas para el trazado. El desarrollo será un mínimo, si el producto de los cosenos de los ángulos α , α' , α'' etc., partiendo de uno de los extremos, es igual al producto de los del lado opuesto, partiendo del otro extremo.

Laderas planas.

En el caso de que las curvas horizontales se conviertan en rectas, lo que indicará que la superficie de la vertiente ó ladera es plana, puede considerarse esta terminada por las dos rectas paralelas r y r' (Fig. 2.^a) Las alineaciones extremas de la parte llana superior ó inferior A y B serán paralelas y la correspondiente á la ladera se convierte en una recta CD . En este caso dada la proyección $C'D'$ de la pendiente máxima, tirando las AD y BC normales á r y r' y por último la CD , si esta resulta paralela á $C'D'$, el desarrollo es un mínimo. En efecto, AD y BC son las mas cortas distancias á las líneas r y r' y los productos de los cosenos son iguales.

Si al hacer la construccion anterior no resultare la CD paralela á la $C'D'$ y fuese mas larga que esta ó su pendiente menor, para obtener el mínimo desarrollo con la pendiente límite (Fig. 3.^a), se tira la BE paralela á $C'D'$ y de la misma magnitud, se une E con A , por el punto D de interseccion con la r , se tira DC paralela á BE , y uniendo C con B , $BCDA$ será el trazado mas corto que pueda obtenerse con la pendiente límite; pues satisface á la condicion enunciada de la igualdad del producto de los cosenos, por ser AD y BC paralelas. Tambien se demuestra que debe ser mayor el desarrollo con cualquiera otra línea tirada por A y B .

Fig. 4.^a En el caso de ser mas corta la CD que la $C'D$, ó de mayor inclinacion que la pendiente máxima, para obtener el

trazado mas corto, se tira la normal BC y por C la CE paralela é igual á la pendiente máxima. Por el punto A se tira la normal AD y por el D la DE , cumpliéndose de este modo las condiciones que se exigen.

Estos trazados se verificarian del mismo modo si fuesen curvas las laderas. En este caso las normales tiradas por A y B lo serán á las curvas limites de las mismas.

Si está compuesta la ladera de varios planos inclinados (Fig. 5.^a) cuyas intersecciones están representadas por las líneas r, r', r'' , etc., paralelas entre sí, para obtener el desarrollo mínimo con la máxima pendiente adoptada, es necesario que se verifique la igualdad del producto de cosenos y que los ángulos extremos sean entre sí iguales. Esto exige que las alineaciones extremas conserven su paralelismo.

Para tener el trazado con estas condiciones, se tira por el punto B la línea Bd igual y paralela á la pendiente límite primera $e'c'$, por d la de paralela é igual á la segunda pendiente $C''C'''$ y por e la ef con las mismas condiciones respecto de la $C''C'''$ y se une f con A . Por la intersección g de esta última línea con la r , se tira la gm paralela á fe , por r la rl paralela á $e'd$ y por l la lo paralela á dB : uniendo o con B el trazado $Agrl$ ó B cumplirá con las condiciones de igualdad del producto de cosenos.

Si Ag y Bo son normales á las líneas r y r' el desarrollo es un mínimo. En el caso que no lo sean, se bajarán las perpendiculares á estas Ah y Bn' ; desde los puntos n' y h se trazan las líneas $n'n$ y ln con los pendientes límites en sentido contrario. Si estas encuentran á las líneas ol y gm el trazado mínimo es $Ahn'mlnn'B$, pues las normales Ah y Bn' son las mas cortas distancias á r y r'' y el resto del desarrollo es de la misma longitud que el anterior: cuando las ln y mn no encuentran á las gr y ol , en este caso el primer trazado es el mínimo.

Quando dos laderas están separadas por un valle estrecho supondremos los casos en que aquellas se puedan considerar como rectas y aquél en que sean curvas.

Laderas separadas por un valle estrecho.

En el primer caso (Fig. 6.^a) sean $c c'$, $c'' c'''$ las direcciones de las pendientes límites ó sus proyecciones horizontales en ambas laderas. Por el punto A extremo de la línea situada en la parte llana superior de la primera ladera, se traza la Ah igual y paralela á la $c c'$ y por h la hi paralela é igual á la $c'' c'''$: uniendo el punto i con el B extremo de la línea situada en la parte llana superior de la segunda ladera, $A h i B$ será el trazado mas corto.

Puede hacerse el trazado suponiendo que una de las líneas, la hi , por ejemplo, se mueve paralelamente á sí misma tomará la posición EF . Desde F se tira FG paralela á Ei y por G la GD á la $c c'$ é igual á ella; uniendo D con A , FG y AD resultarán iguales á Ei , y siéndolo EF y GD á las hi y Ah por construcción, el trazado será igual al primero.

En el caso que no resulten en la construcción los puntos E y D en la parte interior de las perpendiculares bajadas desde A y B á las líneas r y r''' , pueden adoptarse estas perpendiculares para el trazado, formando zik-zak y haciendo de este modo que sea su longitud un mínimo.

Cuando las laderas son curvas (Fig. 7.^a) sean rr' , $r''r'''$ las curvas límites y el espacio comprendido entre las $r'r''$ el valle. Se elige un punto intermedio c verificando desde este á uno y otro lado los trazados por los métodos indicados antes y para corregir el ángulo que se forma en c se procede del modo siguiente: se trazan por el punto extremo A las rectas Ad y do , la primera paralela é igual á pq y la do á la qn del primer trazado; por el punto B , ó sea el extremo opuesto del trazado, se traza la Bi igual y paralela á la lm ; se une i con o ; por los puntos g y h de intersección con las laderas, se trazan las rectas gf y hj iguales y paralelas á nq y ml y por f la fe paralela á la pq : $A c f g h j B$ será el trazado.

Si R y R' (Fig. 8.^a) fuesen dos ríos y aa' , $a''a'''$ los anchos de estos perpendicularmente á las márgenes, se sigue un método análogo á los anteriores para dirigir el trazado desde los extremos A y B de modo que sea un mínimo. Empezando desde el

Caso en que
haya que
atravesar
dos ríos.

punto *B* por ejemplo, se traza la *Bf* igual y paralela á la *aa'*, por *f* la *fg* igual y paralela á la *a'' a'''* y se une *g* con *A*. Por el punto *b* de interseccion se tira la *b'e* igual y paralela á la *a'' a'''*, por *c* la *cd* paralela á la *bg*, por el punto de interseccion *d* con la márgen la *de* igual y paralela á la *aa'* y uniendo el punto *e* con el *B*, el trazado *A b c d e B* es el mínimo.

Cuando la configuracion del terreno es dada por las curvas de nivel puede hallarse gráficamente el desarrollo de la línea del trazado.

Dadas las curvas de nivel indicare el trazado gráficamente.

En efecto; si suponemos que estas curvas de nivel están separadas entre si por alturas iguales de 3 metros, y el trazado ha de estar al 3 por 100, los 3 metros de altura correspondrán á 100 metros de longitud. Tomando en la escala una abertura de compás de esta magnitud, (1) y fijando una de sus puntas en el punto por donde se quiera empezar el trazado en la curva correspondiente, se trazará un arco que cortará á la curva inmediata, y uniendo ambos puntos será la línea propuesta al 3 por 100. Generalmente habrá dos soluciones del problema; de este modo se continuará respecto de las demas curvas.

Los animales que arrastran los carruages tienen que vencer varias resistencias para efectuarlo. Estas son la componente del peso del carruage y de la carga en el sentido de la rasante del camino; el rozamiento de las llantas en el camino y de los ejes de las ruedas en los cubos. Podria suceder que la inclinacion de la rasante fuese tal que las resistencias escudiesen á la fuerza de los animales del tiro y no pudiesen estos arrastrar el carruage ó esté les arrastrase á ellos hacia atrás, cuando se subiese una pendiente: y que en las bajadas los empujase mas ó menos segun la inclinacion.

Influencia de las pendientes en los transportes resistencias que tienen que vencer los animales de tiro.

Se puede calcular en cada pendiente el esfuerzo que tendrá que vencer el motor y la fuerza de tiro que tendrá que des-

(1) Reduciendo antes á nivel dicha longitud, que será el cateto ó proyeccion de la hipotenusa que es la distancia buscada ó $cat = \frac{\sqrt{(mp)^2 - (cat)^2}}{2}$

arrollar; para lo cual se establecen las fórmulas siguientes:

Sea F el esfuerzo que tiene que ejercer el animal ó animales del tiro.

P . el peso del carruaje y de su carga.

p . el peso del animal del tiro.

r . relacion del rozamiento á la presion que depende de la construccion del carruage y estado del camino.

a . ángulo de inclinacion de la rasante ó sea el que forma con la horizontal.

h . la altura de la pendiente sobre la horizontal por unidad de la longitud que se toma generalmente por *metro*.

Se formará un triángulo rectángulo cuya altura será h y se obtiene

$$F = r P \cos. a \pm (P + p) \text{ sen. } a$$

pero... $\text{sen } a = \frac{h}{\sqrt{1+h^2}}$; $\text{cos. } a = \frac{1}{\sqrt{1+h^2}}$; $\sqrt{1+h^2}$ difiere

muy poco de la unidad y puede despreciarse asi se obtiene:

$$F = r P \pm (P + p) h \dots (1)$$

Ecuacion que representa la fuerza de tiro que tiene que ejercer el motor, tomando del doble signo el $+$ para el caso de las subidas y el $-$ para el de las bajadas.

Casos en que hay que echar la galga ó plancha.

Examinando esta ecuacion se vé que si $h = \frac{rp}{P+p}$, el tiro seria nulo; si h es mayor que el segundo miembro las caballerías tendrian que trabajar reteniendo la carga en las bajadas. En este caso hay que echar la galga ó rastra á las ruedas para no volcar, y una parte de la cantidad de accion que debería aprovecharse en la traccion se emplea en desgastar el camino y las llantas; de no emplear estos medios habria que aliviar la carga ó disminuir la velocidad.

De la $F = rp \pm (P + p) h$ se deduce la pendiente, la cual se-

rá variable y proporcional á los rozamientos que se ejercen en los carruages y en el camino, segun sea la construccion y estado de ambos. En el caso de ser el tiro nulo ó de la igualdad de h al segundo miembro, los animales tienen que hacer menos esfuerzo que si estuviesen libres porque les ayuda la accion de las componentes del peso en las bajadas, lo cual suele inquietarles: asi es que la pendiente límite puede aumentarse por esta causa y hacer que el animal baje como si estuviese libre y sin carga. En este caso $P=0$ $F=ph$.

Sustituyendo en la (1) para el caso del signo inferior $h=r$.

Segun esperimentos verificados para hallar la relacion del rozamiento á la presion se admite para el valor de r los números siguientes:

Relacion del rozamiento á la presion; pendientes límites.

En terreno llano y horizontal sobre firme ordinario $r = \frac{1}{20} = 0,05$ á $\frac{1}{25} = 0,04$ del peso arrastrado.

Sobre un firme empedrado $\frac{1}{35} = 0,03$ sobre losas $\frac{1}{90} = 0,011$ sobre barras carriles empleando caballerías como motor $\frac{1}{250} = 0,004$. Las pendientes límites serian pues 0,04 á 0,05 el primer caso ó sea 4 á 5 por 100 3 por 100 en el segundo 1 por 100 en el tercero, etc.

Conociendo la longitud L de la pendiente la cantidad de accion gastada subiendo esta será, $L[rP + (p+P)h]$.

Influencia de las pendientes y contra pendientes.

Si á continuacion hay una bajada cuya longitud sea L' y la inclinacion por unidad h' se tendrá $L'[rP - (p+P)h']$ y la suma de ambas será la accion total.

Haciendo $hL=H$; $h'L'=H'$ siendo H y H' las alturas totales de estas pendientes ó sea á su estremo se tiene para la cantidad total de accion.

$$rP(L+L') + (p+P)(H+H')$$

ó en general $rP(L+L'+L^n) + (p+P)(H+H^n)$.

Esta ecuacion hace ver que siempre que no fuesen excesivas las pendientes importaria poco que hubiesen bajadas y subidas, con tal que la longitud total y la diferencia de alturas del punto de partida y de llegada permaneciesen los mismos; pues no contiene la ecuacion valores de las alturas absolutas de los puntos intermedios.

Causas que influyen para modificar la accion del motor

Sin embargo no basta en los motores indicados examinar solo el valor absoluto de la cantidad de accion que hay que gastar para determinar el empleo mas económico que puede hacerse de ellos; es preciso atender al modo como puede ejercer el esfuerzo y á la variacion que esta sufre por la diferencia de tiro en cada animal, segun sea su complexion, estado de salud, alimentos, etc.

Las cantidades de accion son distintas tambien segun la velocidad de la marcha y segun el tiempo que se ha ejercido esta; cuanto mas numerosas son las alturas absolutas y mas fuertes las pendientes ó mas largas, ocasionarán un exceso de fatiga que disminuira la cantidad de accion diaria y por esto es preciso evitar las subidas y bajadas inútiles. No es exacto el decir que deben evitarse las pendientes porque la cantidad de accion gastada correspondiente á la elevacion del peso del animal á la subida, no está compensada á la bajada, cuando ninguna de las pendientes excede del valor
$$h = \frac{rP}{p+P}$$

Siendo suaves las pendientes alternadas modifican por intervalos la duracion de los esfuerzos y alivian la fatiga.

Si para disminuir las pendientes se aumentase la longitud podria no haber ventaja en ello tardándose lo mismo en el viaje, esto tendria lugar por ejemplo si para transformar una pendiente del 5 por 100 en otra del 3 por 100 hubiese que aumentar la longitud en la relacion 3 á 5. Para el cálculo de las pendientes límites se supone que la marcha es al paso.

Influencia del exceso de elevacion de un trazado.

Siendo la medida del trabajo el producto del peso trasportado por la altura á que se ha elevado, el trabajo perdido por

dar un exceso de pendiente ó elevacion inútil á un trazado, estará representado por dicho peso multiplicado por el exceso de altura que se haya subido.

Se considera la fuerza relativa de los animales de tiro comparada con la del hombre siendo uno la de este, de 2 la del asno, 5 la del macho ó mula, 6 el buey, 8 el caballo fuerte.

Fuerza relativa de los animales de tiro.

El Ingeniero Fabier en su memoria de 1844 sobre las leyes del movimiento de traccion, establece algunas tablas que pueden ser útiles para comparar dos trazados y ver su influencia en los gastos de transporte; se espresa la fuerza ejercida en diversas pendientes con las longitudes horizontales equivalentes. Estas solo pueden servir para formar una idea aproximada por no fundarse en observaciones exactas.

Comparacion de trazados.

No se ha tenido en cuenta en los cálculos anteriores la resistencia que opone el aire á la marcha de los carruages, cuando su direccion es contraria á la que se sigue por éstos ú oblicua á ellos; porque con las velocidades comunes empleando motores animados no es de gran consideracion á no reinar vientos fuertes; sin embargo, es otro nuevo esfuerzo que hay que agregar al que tiene que vencer el motor. La resistencia del aire crece como el cuadrado de la velocidad y en razon directa de las superficies que se ptesentan á su accion.

Resistencia del aire.

Suponiendo un carro de cuatro ruedas, colocado en la parte curva de un camino no siendo el radio de la curva muy pequeño los dos ejes de las ruedas permanecerán normales aproximadamente á la línea del camino. Siendo movil el juego delantero cada rueda exterior describirá un elemento curvilíneo y cada rueda interior el elemento de una curva concéntrica. Siendo la curva de corto radio el ángulo de convergencia que forma la prolongacion de los ejes del carruage, pasa por el centro de curvatura y escede el ángulo de rotacion que el juego delantero puede hacer girando al rededor de la clavija y por el tiro

Influencia de las curvas en los trazados.

oblicuo que resulta se pierde mucha cantidad de accion. Ademas siendo el tiro de muchas reatas pareadas los esfuerzos que hace cada una para mantenerse en medio del camino tienden á echar las de detras hacia el centro de curvatura y el esfuerzo de cada caballería se emplea en contrariar la accion de las otras. Siendo el camino estrecho el tiro tiene que pisar los paseos para ponerse en línea recta y los esfuerzos de traccion son mayores.

Estos efectos son tanto mayores quanto mas pequeños son los radios de las curvas mas bombeo tiene el firme y mayor es la pendiente.

Precaucio-
nes que de-
ben adop-
tarse.

Por esto en los puntos en que hay que emplear curvas de pequeño radio como sucede en los zik-zaks, conviene aumentar la anchura del camino y disminuir la pendiente. Tambien conviene marchar con poca velocidad, pues combinados los efectos anteriores con la fuerza centrífuga y la componente de la gravedad en el sentido de la pendiente, espondrian á que volcasen los carruages y se estropeasen las caballerías.

Radio mi-
nimo

El radio que se admite generalmente como limite inferior es de 25 á 30 metros, en el ancho ordinario de las carreteras de primer orden.

En los trazados de montañas es preciso ensanchar el camino en las curvas ó formar plazoletas y disminuir en estas el bombeo y pendiente.

SEGUNDA SECCION.

PLANO Y PERFILES DE LAS CARRETERAS.

Plano.

Solo es nuestro objeto hacer algunas advertencias sobre las operaciones que tienen lugar al levantar el plano y verificar las nivelaciones, suponiendo ya los conocimientos indispensables de topografía y geodesia para verificar las operaciones y teniendo la práctica suficiente en el manejo de los instrumentos. Así es que, relativamente á estos, solo haremos algunas ligeras indicaciones sobre las ventajas ó inconvenientes que puede presentar el empleo de algunos bien conocidos ya en la práctica, detallando otros que todavía han recibido pocas aplicaciones.

El teodolito es instrumento muy exacto para la medicion de ángulos; pero en las operaciones de carreteras suele emplearse el grafómetro como instrumento mas barato y de espedito manejo, no siendo tan necesaria una gran exactitud en este caso como para trazar un camino de hierro.

Instrumentos Teodolito y grafómetro.

La brújula suele ser á veces el único instrumento disponible. Cuando es de anteojo y bien construida suple en muchos casos suficientemente á los demas instrumentos mas exactos; sin embargo, en los proyectos definitivos no conviene emplearla por las variaciones á que está sujeta. Es espedito su empleo porque no hay necesidad de referir las visuales á la anterior como en los demas instrumentos, lo cual es una operacion menos.

Brújula

El goniómetro, instrumento de cuya clase se trajo á España un cierto número cuando se trató de formar la carta y que

Goniómetro

tambien se remitió á algunos ingenieros y distritos, es de embarazoso empleo por lo mismo que en él se han querido reunir á la vez varios instrumentos, como grafómetro, brújula y nivel. Exije mucho cuidado para su manejo por ser fácil de descomponerse.

Estadia

El instrumento conocido por el nombre de estadia ó diastimómetro de Green, es sumamente útil para hallar las distancias sin necesidad de medirlas directamente y puede ahorrar mucho tiempo en los reconocimientos, particularmente en terrenos quebrados. Describiremos este instrumento por ser todavía poco conocido en España.

El principio que sirve para su construccion es que si desde un punto se dirigen visuales á objetos de diferentes magnitudes, las distancias desde el observador á estos son proporcionales á las magnitudes de los objetos referidos.

Fundado en esto si en un anteojo se coloca un diafragma en el objetivo con ranuras horizontales ó dos hilos en la misma posicion adaptados á un plano normal al eje del anteojo, el ángulo que se forme al dirigir visuales por este abrazará mayor ó menor magnitud en una mira vertical, segun sea mayor ó menor la distancia de esta al vértice del ángulo que está en el ocular del anteojo.

Para usar este instrumento se necesitan miras que se graduan del modo siguiente:

Se mide con exactitud en terreno llano 100 ó 200 metros de longitud colocando la estadia en un extremo de esta línea. En el otro extremo se coloca la mira en posicion vertical y se marca en ella la parte que abrazan las dos visuales dirigidas por el diafragma ó hilos indicados antes. Esta parte se divide en tantas iguales como sean las unidades tomadas desde el centro del instrumento á la mira, que en este caso serán 100 ó 200.

Cuando se emplee la estadia para medir una distancia teniendo la mira ya graduada, no hay mas que colocar esta, vertical en el extremo de la línea que se quiera medir, dirigir las visuales á ella desde el otro extremo y viendo las distancias que

intercepta en la mira, estas indicarán el número de metros que las separa.

También el objetivo tiene un hilo central vertical para fijar las miras

Para evitar el inconveniente que resultaría de aflojarse ó romperse los hilos, ó que en el caso de variar los bordes del diafragma hubiese que verificar nueva graduacion en la mira, como era indispensable en ambos casos, se reemplaza por un cristal en el cual están grabadas horizontal y verticalmente divisiones separadas entre sí un milímetro, y estos divididos también en partes iguales.

En este caso sea (Fig. 9) H la altura conocida en metros de un objeto AB , D la distancia OF también conocida desde el objeto al objetivo, h la altura de su imagen $a b$ medida por medio de la placa de cristal colocada sobre esta imagen, f' la distancia focal of ó de la imagen al objetivo, se tendrá $D : f' : : H : h$

$$f' = D \frac{h}{H} \quad (1)$$

Conocida la constante f' para un antejo dado, si se quiere medir con el mismo instrumento una distancia D' de un objeto $A' B'$, bastará ver el n.º h' de divisiones interceptadas en la escala del diafragma para una longitud dada H' de la mira colocada en $A' B'$ y se concluirá de la proporcion anterior

$$D' = f' \frac{H'}{h'}$$

Hay otro medio de hacer la graduacion de la mira independiente de la distancia entre los hilos. Consiste en que sea esta distancia y con ella el ángulo visual, dependiente de las divisiones invariables de la mira. Para esto se dispone uno de los hilos de modo que sea móvil y pueda dársele la posicion conveniente á la distancia que se ha de medir. La fórmula (1) dará la distancia D que se busca en este caso, determinando f' como se indicó antes.

Para verificar esto, se coloca en el anteojo un micrómetro ó aparato que sirve para medir exactamente pequeñas longitudes. Está compuesto de un tornillo que hace mover uno de los hilos y una aguja que recorre exteriormente un cuadrante fijo al tubo del anteojo y dividido en cien partes iguales.

En cada revolucion la aguja hace mover una rueda cuyos dientes están numerados: el 0 se coloca bajo la punta ó índice cuando coinciden los dos hilos. Al cabo de una revolucion completa los hilos están separados una cantidad igual al paso del tornillo que sirve de pivote á la aguja, y cada vuelta corresponde á un paso. Contando el número de dientes que ha encontrado la aguja y las divisiones del cuadrante que recorre, se aprecia con mucha exactitud la separacion de los hilos.

Otros instrumentos de esta clase contruidos mas recientemente no tienen rueda dentada y la separacion de los hilos se mide por medio de las divisiones iguales al paso del tornillo, señaladas en un costado del diafragma. Las fracciones del paso del tornillo se marcan como anteriormente por medio del cuadrante.

En los anales de puentes y calzadas de Francia de 1852 se inserta una estensa memoria de Mr. Porro, ingeniero piomontés, que trata de los nuevos instrumentos y procedimientos de geodesia, nivelacion y agrimensura. En ella se describe muy detalladamente el Estadia y se recomienda como mas exacto que la medicion por medio de la cadena, particularmente en terrenos quebrados. Tambien se describe en esta memoria la aplicacion de este instrumento con las modificaciones necesarias al levantamiento de planos y nivelaciones, en cuyo caso toma el nombre de teodolito olométrico y sirve para levantar el plano y nivelar simultáneamente: asimismo el tacheómetro que da por lectura directa la distancia horizontal y el nivel de anteojo diastimométrico.

Observaciones de Laterrade sobre el uso de la Estadia.

En dichos anales de puentes y calzadas, de 1855 se inserta una memoria del Ingeniero M. Laterrade que trata de la Estadia y de las diversas modificaciones que pueden introducirse en los procedimientos comunes para las operaciones sobre el terreno.

En ella aunque se refiere principalmente al estudio de Caminos de hierro, puede aplicarse á las Carreteras. Hace ver los inconvenientes de los métodos comunes para los detalles, la conveniencia para simplificar las operaciones de aplicar la estadia al eclímetro y á los demas instrumentos que tengan anteojos indicando que los instrumentos ideados por Porro, han tenido poco uso, por la aparente complicacion que presentan y el método de usarlos.

Despues de explicar los principios de la estadia y la transformacion de un anteojo en este instrumento, describe el uso del eclímetro en las operaciones de detalle, discutiendo sus ventajas, esponiendo el método de ordenadas rectangulares en las operaciones de precision y compara estos métodos con los empleados por Porro.

Método de ordenadas.

Hace ver los inconvenientes que resultan de emplear instrumentos rectificables y del empleo de la mira propuesta por Porro, á la cual sustituye otra de precision. Describe estos instrumentos y el *perfilador* para los perfiles trasversales. Las conveniencias ó resumen que deduce por último son:

Perfilador.

Que con los anteojos comunes añadiendo un hilo horizontal, se pueden medir las distancias con aproximacion suficiente en todos los casos de la práctica.

Que las miras parlantes comunes bastan para esto y que es inútil construir miras-estadias especiales como se ha hecho hasta aquí.

Que el eclímetro-estadia permite verificar las operaciones con mucha mayor rapidez, economía y exactitud que los instrumentos comunes.

Que la aplicacion del método de coordenadas rectangulares á las operaciones de precision permitiria verificarlas con mas rapidez, economía y exactitud; sobre todo garantizaria los errores materiales que se cometen.

Que la mayor parte de los errores de nivelacion cuando esta es muy larga depende de la mira de corredera comun; que se descuida al confrontar las operaciones y el servirse de instrumentos rectificables.

Que los métodos que se proponen tienen la ventaja sobre las de Porro de poderse aplicar á los instrumentos mas usuales.

Anotaciones
ó datos que
han de ad-
quirirse.

Dos modos de llevar las anotaciones pueden seguirse: El primero es un estado en el cual se anota en casillas: 1.º la designacion de estaciones: 2.º de alineaciones: 3.º longitud de estas: 4.º ángulos que forman las alineaciones entre sí: 5.º ángulos con la meridiana magnética: 6.º observaciones. El segundo es un croquis en el cual se va marcando sobre las líneas que indiquen las alineaciones, sus longitudes. Para anotar los ángulos puede hacerse, ó bien formando un ángulo en el mismo sentido que marque el instrumento y marcando en él los grados, ó tirando en cada hoja que se lleva una recta dividida en partes que indican las alineaciones y por un arco se indica el ángulo en el mismo sentido que lo esté en el terreno. Este último método tiene la ventaja de que se pueda llevar en la hoja con mas regularidad las anotaciones. Cuando se toman los ángulos con brújula se procede del mismo modo, tomando la orientacion en el mismo sentido que dé la brújula.

Este método es espedito y proporciona ver desde luego la direccion de las alineaciones, anotándose ademas los accidentes del terreno. Puede tambien llevarse el estado indicado antes por un ayudante, lo cual sirve de confrontacion.

Alineaciones
rectas.

Las alineaciones que se marcan al verificar el proyecto de una carretera, convendria siempre que permaneciesen fijas en el terreno para no tener que hacer nuevas operaciones al verificar las obras. Para esto pueden construirse al extremo de las referidas postes de mampostería en los cuales se marque el número de orden que le corresponda. Este método es algo complicado cuando hay muchas alineaciones como sucede en los países quebrados, y entonces suelen abrirse hoyos en los que se pone una señal; tambien pueden clavarse estacas, pero cuando tardan mucho en ejecutarse las obras, generalmente han desaparecido en su mayor parte estas señales.

Deben fijarse de todos modos los extremos de las alineacio-

nes de modo que pueda haber facilidad de encontrarlos, para lo cual se refieren á puntos invariables como edificios, árboles, etc., señalando en el plano sus distancias á estos objetos, el ángulo de las visuales, etc.

Cuando se ejecuta el trazado de una carretera, es necesario unir las alineaciones rectas por medio de curvas. Si se midiese la longitud del trazado por los alineamientos rectos, resultaría un exceso de longitud en la línea, y por eso conviene trazar las curvas de union cuando se verifica el proyecto, midiendo la longitud por ellas; además podrá suceder que después de trazadas estas, como se acorta la longitud, la pendiente resulte excesiva y haya que hacer alguna rectificacion ó tambien que sea necesario verificar tanteos para adoptar una curva en razon á obstáculos que puedan presentarse. Por esto conviene conocer, antes de pasar á tratar de la ejecucion de las obras, las diferentes clases de curvas y los medios de trazarlas.

Alineaciones curvas Trazado de las curvas.

Las curvas que se trazan en las carreteras son arcos de círculo ó de parábola y curvas arbitrarias. Empezaremos por los arcos de círculo. Cualquiera que sea la curva que se emplee debe ser tangente á las alineaciones rectas, para que en el paso de una á otra haya continuidad.

El arco de círculo tiene una curvatura mas uniforme que el de parábola, pero exige que los puntos de union con los alineamientos rectos estén á igual distancia de su interseccion, pues de lo contrario no serian tangentes.

Arcos de círculo.

Aunque sea necesario conocer el radio del círculo para ver si la amplitud de la curva es suficiente, segun las consideraciones que se indican al hablar de la influencia de estas en el trazado, no es posible en la práctica generalmente trazar el círculo sobre el terreno por medio de su radio.

Para verificarlo independientemente de este, se emplean varios métodos, de los cuales vamos á indicar los que pueden tener mejor aplicacion en la práctica.

Trazado del
círculo por
interseccio-
nes de vi-
suales

Puede trazarse el arco de círculo por intersecciones de rectas; para esto sea (Fig. 10) AT , AT' los alineamientos rectos. Con el grafómetro ú otro instrumento se divide el ángulo $AT'T$ en cierto número de ángulos iguales entre sí, y se marcan las intersecciones 1, 2, 3, etc., con la TA . Lo mismo se ejecuta en T con el ángulo ATT' . Verificado esto, pueden tenderse cuerdas desde T' á los puntos marcados en AT por un lado y desde T á los marcados sobre AT' en el otro, y las intersecciones de las primeras líneas de un lado con las últimas del otro, segun se ve en la figura, darán los puntos de la curva.

Tambien pueden marcarse estos puntos directamente al hacer las operaciones. Para esto necesitan colocarse dos instrumentos, uno en T y otro en T' , y dirigiendo las visuales del modo indicado anteriormente, un observador en cada uno de estos puntos enfilará una banderola de modo que venga á colocarse en la interseccion de ambas visuales haciendo mover convenientemente al peon que lleve aquella. Enfilada ya, y manteniéndola vertical, se eleva á su pie una estaquilla y se procede sucesivamente del mismo modo para los demas puntos.

Este método está fundado en que los ángulos c , c' , etc., que subtende la cuerda TT' son iguales, propiedad que solo pertenece, segun se demuestra en geometría, á los que tienen el vértice en una circunferencia de círculo.

El método anterior suele dar á veces intersecciones muy agudas, y ademas para señalar estas, como se ha dicho, por medio de dos instrumentos, es necesario que no haya obstáculos intermedios: por lo que puede ser conveniente emplear los métodos siguientes:

Por abscisas
y ordenadas
sobre los ra-
dios estre-
mos.

Se puede trazar un arco de círculo por medio de ordenadas normales á los radios extremos.

Sea en efecto (Fig. 11) dm una de estas ordenadas, normal al radio que pasa por el punto de tangencia T . Esta ordenada es media proporcional entre las distancias variables Td al origen de la curva y $2R - Td$, siendo R el radio.

Para emplear este método hay que trazar el radio, lo cual, como se dijo al principio, no siempre puede hacerse y particularmente cuando es de gran magnitud: además en el caso que pueda verificarse el trazado directo quizá sea preferible, por lo cual, el método siguiente podrá tener mejor aplicación.

Por ordenadas sobre las tangentes

En vez de tomar el radio como eje de abscisas se toman las tangentes AT , AT' (Fig. 11). En este caso $bm = Td = R - Cd$ y en el triángulo Cmd se tiene.

$$Cd = \sqrt{R^2 - dm^2} = \sqrt{R^2 - Tb^2}$$

y por consiguiente $bm = R - \sqrt{R^2 - Tb^2}$

Del mismo modo se calcularán los demás puntos y acotando estas distancias, se trazan sobre el terreno por medio de reglones cuerdas y escuadras, clavando estaquillas en los puntos del arco.

Se puede trazar un arco de círculo sobre el terreno, de modo que se necesite poco más espacio que el que ha de ocupar dicho arco (Fig. 12). Desde el punto T ó T' de tangencia se toman dos partes iguales Td y db , desde d como centro se traza el arco bp y su cuerda de una longitud l , se tira la línea dpb' y se toman desde p , $pb' = Tb$ y $b'p' = bp$; procediendo de este modo sucesivamente se obtendrán los demás puntos de la curva.

Por tangentes

Los puntos determinados de este modo pertenecen á un círculo: porque si se levantan perpendiculares á las líneas Td , dd' desde los puntos de la curva, vendrán á concurrir en un punto C que será el centro de un círculo tangente en T á la línea AT .

Para determinar la distancia Tb y bp , de modo que el centro del círculo coincida con el que sea tangente en T y al mismo tiempo en T' , puntos dados, se procede del modo siguiente:

Sea a el ángulo que forman las dos alineaciones, n el número de puntos del arco que han de determinarse, R el radio.

Los ángulos en C son iguales entre sí y su número será $2n+2$ y cada uno valdrá

$$\frac{180^\circ - a}{2(n+1)}$$

En el triángulo rectángulo dpC se tiene $dp = pC \operatorname{tang} dCp$ y llamando $Tb = l$, $pb = m$ se tendrá

$$\frac{1}{2} l = R \operatorname{tang} \frac{180^\circ - a}{2(n+1)}$$

En el triángulo isósceles dbp la base bp es $bp = 2 \operatorname{sen} \frac{1}{2} bdp \times dp$ ó

$$m = l \operatorname{sen} \frac{180^\circ - a}{2(n+1)}$$

Para trazar sobre el terreno el arco de círculo por este método, se dispone un reglon (Fig. 13) $T'b$ que tenga al menos de longitud $\frac{5}{2} l$: en un extremo se coloca un brazo graduado que puede girar y que al mismo tiempo puede fijarse á la regla en la posición conveniente por medio de un tornillo. En el brazo A se señalan tres partes ba , aT , y TA iguales á $\frac{1}{2} l$: en la arista inferior del brazo pequeño se marca un punto p , cuya distancia á D sea igual á la m de la (Fig. 12).

Colocado el reglon de modo que coincida con la línea TA de la figura 12, de modo que el punto A de la regla esté en el T de la alineación, el punto p pertenece al arco.

Este último punto se marca con una estaquilla y se coloca el reglon en la dirección dp , de modo que T' coincida con d y T de la regla con el p de la fig. 12, y el punto p del brazo pequeño dará otro punto del arco p' , se marcará este con una estaquilla del mismo modo que el punto d' , adonde viene á parar el respectivo a' de la regla, procediendo sucesivamente de este modo hasta llegar al T' .

Tanto siguiendo este método como en los demas, es necesario hacer algunas correcciones á la vista.

Puede hacerse un trazado análogo al anterior circunscibiendo un polígono á la curva.

La fig. 14 indica este método. Se determina primero aproximadamente el radio conveniente. Desde el punto T de tangencia se toma una distancia Td que corresponda á un número exacto de grados, para lo cual se calculan tablas. Se toma este número de grados y se forma el ángulo marcando una longitud igual á la primera, y el punto c será el de tangencia del arco, procediendo análogamente para los demas puntos.

Tirando la recta TT' el valor de los ángulos que se forman en el espacio que cierra esta línea y los demas lados del polígono, será igual á tantas veces dos ángulos rectos, como lados n tenga el polígono menos dos y los dos ángulos en T y T' designándolos por a y a' serán $a+a'=2R(n-2)-(r+r'+r'')$ siendo r, r' etc. los ángulos del polígono. En el triángulo TAT' el ángulo A será $180^\circ-(a+a')$. Hallado este se ve en las tablas el ángulo que le corresponde.

Hay que hacer varios tanteos variando el radio. Conociendo este se pueden determinar mas puntos de la curva, hallando las bisectrices dd', bb' etc, pues en los triángulos rectángulos TdO, cbO , se conocen los tres ángulos y un lado y puede determinarse el dO, bO etc., y restando el radio de estos, se tiene las partes $bb' dd'$ etc., de las bisectrices.

Sea (Fig. 15) T el punto de tangencia, se prolonga la alineación mT de modo que dada la longitud Ta se obtenga el triángulo rectángulo Tad en que ad es perpendicular á Td , se conocerá pues el Td con estos datos. Se prolonga Ta y se construye el triángulo rectángulo abg en que se conocen los tres ángulos y el lado $ab=Ta$. Continuando así sucesivamente para los demas puntos (1).

Trazado por medio de las cuerdas del arco.

En el triángulo isósceles Toa se miden sus ángulos y se deducen los del triángulo rectángulo Tad .

(1) El ángulo gab formado por dos cuerdas es doble del dTa formado por tangentes y cuerdas.

Para obtener cuerdas que dividiesen en partes iguales la curva, conociendo los puntos de contacto, el ángulo en el centro, el radio y el desarrollo de la curva, se procede haciendo el dibujo y verificando en este las divisiones iguales; se trazan las cuerdas calculando como antes los catetos $Td da$, $ay gb$, etc.

Hallados los puntos a , b , etc. y acotadas las líneas, se obtiene mas comodidad para el trazado sobre el terreno que si las distancias son desiguales.

Las tablas de Vindrinet que se citarán luego, contienen calculadas estas líneas para radios de curvas desde 500 á 4,000 metros.

El método que indica John Trantwine en su manual para el trazado de curvas (Filadelfia, 1851) es el siguiente:

(Fig. 16.) Dado el punto T de tangencia se forma un cierto número de ángulos iguales y de cuerdas TS , St , etc., calculando la primera todos estos puntos estarán en una circunferencia de círculo. Si hay un obstáculo h que intercepte las visuales, puede ponerse el instrumento en u , punto inmediatamente anterior al v ; desde allí dirigiéndose la visual á dicho punto v , se fija la cuerda uv pudiéndose ya continuar trazando los ángulos vuw , wux , etc. iguales á los ángulos tangenciales en T .

Tambien puede mudarse el instrumento á v y trazar el ángulo $p v w$ doble del ángulo tangencial y continuar trazando ángulos $w v x$, $x v y$, iguales á los primeros.

Por ángulos
de deflexion.

El método que Frantwine llama trazado por los ángulos de deflexion es el siguiente:

Trazado por el primer método el ángulo tangencial T (Figura 17) y medida la cuerda Ts , se traza en s el ángulo $ms t$ doble del anterior, se mide la cuerda $sT=st$ y así se continúa trazando la curva.

Si se quiere que empiece en v la alineacion tangente $T' L$, se forma en este punto el ángulo $z T' L$ mitad del de deflexion $z T' y$.

El método empleado por Mr. Praly (l'ingenieur, 1853) tiene por objeto poder ejecutar las operaciones en una faja estrecha de terreno y poder verificar los puntos de la curva.

Trazado por los senos y senoversos.

La base del método está fundada en los siguientes principios trigonométricos: que el seno de un arco ó de un ángulo es la mitad de la cuerda que subtende el arco doble y que el senoverso es igual á la flecha del arco doble.

(Fig. 18.) Sea el arco de círculo AA'''' cuyo radio es de 1000 metros y cuyas tangentes se cortan bajo el ángulo $122^\circ, 42', 16''$, el ángulo en el centro será de $57^\circ, 17', 44''$ y su mitad t , $28^\circ, 38', 52''$ ó $103,132''$; bastará efectuar las operaciones en este último ángulo siendo aplicables los cálculos á la otra mitad.

El desarrollo D del arco correspondiente al ángulo $28^\circ, 31', 52''$, será dado por la fórmula

$$D=0,00000484814 R t=0,00000484814 R \times 103132=500 \quad (1)$$

Si se quiere determinar 24 puntos de la curva sobre el terreno, entre uno de los puntos de tangencia con la alinacion y el punto medio, se tendrá para cada uno de los 24 arcos, $\frac{103132}{25}=4^\circ, 8', 45''=f$ y 20 metros de desarrollo.

Considerando uno de estos arcos $AOA'=f$, cuyo seno es

$$R \text{ sen. } f=19^m 997 \text{ y el senoverso } R-R \cos. f=0^m 20,$$

se ve que los senos bajados desde sus extremos forman con el senoverso dos triángulos iguales AMN y $A'M'N$ de donde se deduce

$$AN=A'N=\frac{AM}{\text{sen. } f}=\frac{0.2}{0,019997}=10 \text{ metros}$$

$$\text{y } MN=NM'=A'M-A'N=9^m 997$$

$$\text{ó } MN=AN \cos. f=9,997.$$

(1) Esta ecuacion se deduce estableciendo la proporción $D:2\pi R::t:t'60''$ (en que t y t' representan los ángulos correspondientes). Reduciendo á segundos y efectuando las operaciones.

Ademas se notará que cada cuerda AA'' , $A'A'''$, $A''A''''$ es igual á $2 \text{ sen. } f = 2AM = 39^m 994$ y que están divididas simétricamente por los puntos de interseccion de los senos de que están compuestas, por lo que se tiene $MN = NM' = N'M'' = M''N''' = M'''N'''' = N''M''''$ etc. $= 9,97$ y $AN = NA' = A'N' = N'A'' = A''N'' = NA''''$ etc. $= 10^m$.

Preparados los cálculos de este modo en el gabinete se pasa al terreno, y en uno de los arranques A de la curva, se levanta una perpendicular AE á la tangente AB y llevando sobre esta perpendicular una longitud $AM = 0^m, 20$ se determinará el seno MA' fijando el punto N por la medicion:

La posición exacta de los cuatro puntos principales A , M , N , A' fijada por medio de agujas de hierro ó clavos, será fácil prolongar la línea AN hasta A'' y determinar sobre esta cuerda M' y N' necesarios para la verificación del punto A y determinacion de la segunda cuerda $A'A'''$.

Se prolonga del mismo modo la $A'N'$ hasta A''' y por consiguiente la $A''N''$ hasta A'''' . Los puntos A' , A'' , A''' , A'''' obtenidos de este modo, pertenecen á la curva buscada: se procederá del mismo modo para los demas.

Los puntos intermedios M' , M'' , M''' , M'''' del medio de las cuerdas se determinan para servir de comprobacion de los puntos de la curva. Se ve en efecto que es fácil verificar por medio de una medida y una escuadra de albañil, si las flechas $A'M'$, $A''M''$, $A'''M'''$ son perpendiculares á su cuerda y si son todas iguales á $AM = 0^m 20$.

En el caso de que se encontrase en un punto una diferencia sensible, convendria retroceder hasta descubrir el error; pero se puede estar seguro de no tener que hacerlo mas lejos del punto anterior.

Cuando el terreno lo permita puede verificarse la operacion con un ángulo doble y en este caso habrá menos errores por ser mayores el seno y el senoverso.

Si los 40 metros que distan los puntos de la curva entre sí fuera demasiada longitud, es fácil determinar puntos interme-

dios por medio de la cuerda y la flecha del ángulo en que se ha operado.

Conocido el radio y la cuerda que une los dos puntos de contacto TT' (Fig. 19) se pueden hallar las ordenadas perpendiculares á esta que determinen puntos del arco de círculo. Este método puede tener aplicacion cuando no puedan prolongarse las alineaciones. En este caso la longitud TT' se supone conocida. Sea R el radio, se tira $D E$ paralela á TT' , sobre esta se toman varios puntos $a'', b'',$ etc. (que pueden estar equidistantes para mayor espedicion en el trazado); por estos puntos se tiran $aa', bb',$ etc. paralelas á dC y se unen los puntos $a, b,$ etc. con el centro C , se tendrá:

Por ordenadas á la cuerda.

$$cd = \sqrt{TC^2 - Td^2}$$

Para hallar una ordenada, la bb' por ejemplo, se conoce en el triángulo rectángulo $bb'C$ el lado $bC = R$ y el $b'C$ igual á longitud que tenga la division, por consiguiente

$$bb' = \sqrt{bC^2 - b'C^2}$$

Restando $b' b''$ del valor que se obtenga para bb' se tendrá la ordenada bb'' y así de las demas.

De este modo puede trazarse en el terreno por medio de cuerdas ó reglones la cuerda TT' y calculadas las diversas ordenadas, llevar estas sobre las que se traen sobre dicha cuerda por medio de escuadras.

En el caso de que una parte de las tangentes ó alineaciones $TA, T'A$ sean difíciles de prolongar ó no pueda verificarse para emplear los métodos anteriores de trazado, suponiendo (Fig. 20) que solo pueda operarse sobre las partes Ta y $T'b$, se procede para esta parte segun el método de ordenadas sobre las tan-

Por ordenadas sobre las cuerdas y tangentes

gentes explicado para la fig. 11, se traza la cuerda $a'b'$ y sobre esta parte se procede como para el método anterior fig. 16.

Hallar los puntos de tangencia del arco con las alineaciones.

Es conveniente saber determinar cuales han de ser los puntos de tangencia con las alineaciones, cuando se da el radio que ha de tener el arco y el ángulo que forman las alineaciones, cuyo problema es muy frecuente; para esto se procede del modo siguiente :

Dividiendo el ángulo formado por las dos alineaciones en dos partes iguales se tiene en el triángulo rectángulo TAC ...

$AT = \frac{TC}{\text{tang } CAT}$; figura 21, llamando T la longitud de las tangentes AT y AT' ó la distancia desde el encuentro de las alineaciones al punto de contacto con el arco de círculo y a el ángulo formado por estas y R al radio se tiene

$$T = \frac{R}{\tan \frac{a}{2}}$$

Si se quiere hallar el radio conociendo las demas cantidades se despejará esta cantidad en la ecuacion anterior.

Desarrollo de los arcos

Cuando, para mayor exactitud en el trazado, se quiera hallar la longitud ó desarrollo de un arco de círculo por medio del cálculo en vez de hacerlo gráficamente, se puede proceder del modo siguiente:

En la fig. 12 se tiene:

$$\text{arc. } TT' : 2\pi R :: \text{ang. } (180^\circ - a) : 360^\circ$$

$$\text{arc. } TT' = 2\pi R \frac{180^\circ - a}{360^\circ} = \pi R \left(1 - \frac{a}{180^\circ}\right)$$

a es el ángulo que forman las alineaciones medido en grados, R el radio, $CT = T'C$, $2\pi R$ la longitud de la circunferencia entera, siendo $\pi = 3,1416$.

Puede ser necesario conocer el punto del arco mas próximo al ángulo formado por las alineaciones, bien como medio de verificación ó para elegir el arco que deba trazarse. Para hallar este punto por medio del cálculo se tiene el medio siguiente:

Hallar el punto de la curva mas próximo al ángulo de las alineaciones.

(Fig. 11.) En el triángulo TCA

$$AC = \sqrt{TC^2 + AT^2}$$

y la distancia desde el vértice al punto mas próximo del arco será

$$Ag = \sqrt{TC^2 + AT^2} - R$$

Tambien se obtiene el valor de la flecha eg considerando que en el triángulo rectángulo anterior la perpendicular Te bajada desde el vértice del ángulo recto á la hipotenusa da la relacion geométrica

Valor de la flecha.

$$Ce \times AC = CT^2$$

$$\text{ó } Ce = \frac{R^2}{\sqrt{R^2 + t^2}}$$

sustituyendo por AC su valor anterior y haciendo $CT = R$ y $AT = t$

$$eg = Cg - Ce = R - \frac{R^2}{\sqrt{R^2 + t^2}}$$

Si se quiere hacer que pase el vértice de la curva por un punto dado v (Fig. 22), á partir del vértice A se toman dos partes Ab Ac , de modo que el punto medio de la línea bc que las une pase por el punto v .

Hacer que el vértice del arco pase por un punto dado del terreno

Desde b y c se toman bT y CT' iguales entre sí y á las bv y vc ; los puntos T y T' serán los de tangencia en las alineaciones.

Para obtener mas puntos del arco, se trazan las cuerdas Tv y vT' , se toma el punto medio de cada una de estas m y m' y en las líneas mb y $m'c$ se toman las partes $mp = m'p' = \frac{1}{4}vf$ á partir de m y m' y los puntos p y p' pertenecerán á la curva.

Se tiran nuevas cuerdas Tp , pv , etc., y por sus puntos medios se toman flechas iguales á $\frac{1}{4}$ de las anteriores ó $\frac{1}{16}$ de vf y así sucesivamente.

Este método no da exactamente un arco de círculo; pero se aproxima tanto mas á este, cuanto mayor es el ángulo formado por las dos alineaciones. Cuando este es demasiado agudo las flechas mp , $m'p'$ resultan algo menores que las correspondientes á un arco de círculo, formando una inflexion en la curva hácia los puntos de tangencia. Para que sea un arco de círculo conviene calcular estas flechas del modo siguiente:

(Fig. 23). C es el centro, v el vértice de la curva, T' el punto de tangencia, los triángulos vfT' y vCm dan

$$vC = R = \frac{vT' \times vm}{vf}, \quad Cm = \frac{fT' \times vm}{vf}$$

$$mp = R - Cm = \frac{(vT' - fT')vm}{vf}$$

Puede construirse la flecha en vez de calcularla, tomando $vn = CT' - T'f$, tirando no paralela á mf y vo será igual á la flecha Pm .

Cuando se dan los puntos de tangencia T y T' (Fig. 24) se determinan Ab y Ac por la proporcion $Ab : bc :: AT : Tf$

$bT = bv = AT - Ab$ que sustituyendo en la anterior proporcion da

$$Ab = \frac{AT^2}{Tf + AT}$$

y se concluye la construcción como en el ejemplo anterior.

Caso en que el vértice del ángulo de las alineaciones es inaccesible, y se da un punto de la curva.

Si el punto A (Fig. 25) fuese inaccesible y se quiere además que pase el arco cerca del punto n , se traza la recta bc que forme con los alineamientos Tb , $T'c$ ángulos próximamente iguales, siempre que este punto esté casi á igual distancia de ambos, ó ángulo mayor con la alineacion á que esté mas próximo dicho punto.

El arco será tangente á las tres rectas Tb , bc y ct' . Divi-

diendo los ángulos b y c en dos partes iguales, el punto o de encuentro de las bisectrices será el centro del arco; la perpendicular ov á la bc dará el vértice de la curva y las partes vb y vc se llevarán sobre las alineaciones y darán los puntos T y T' de tangencia. El resto de la construcción se concluye como en el ejemplo anterior.

Como el centro o es difícil de hallar generalmente en el terreno, pueden buscarse las distancias vb y vc sin necesidad de hacer la construcción anterior.

Para esto si se toma $bd=nb$, $cf=nc$ (Fig. 25), uniendo n con d y n con f , se toman los puntos medios m , m' de estas líneas y prolongando las bm y cm' se obtiene el centro o .

Los triángulos semejantes dan

$$vc = \frac{mn}{bm} vb \quad vc = \frac{m'n}{cm'} (bc - vb)$$

igualando y sacando el valor de vb se tiene

$$vb = \frac{m'n \times bm \times bc}{(mn \times cm') + (m'n \times bm)}$$

y se continua la construcción como en los casos anteriores.

También se procede de este modo cuando se quiere trazar dos arcos del mismo radio tangentes á tres alineaciones y por la fórmula anterior se conocerá el punto v de intersección de los dos arcos.

Para trazar los arcos por los métodos espuestos anteriormente, hay tablas calculadas de grado en grado por Mr. Bommam.

o Dados los puntos de tangencia T y T' (Fig. 26) se traza la cuerda que los une y se tira la recta Af desde el encuentro de las alineaciones al punto medio f . Esta recta se divide en dos partes iguales y da el punto v vértice de la parábola.

Arcos de parábola: trazado por las cuerdas.

Para hallar otro punto se traza por el v la ab paralela á TT' y dividiendo ahora la cuerda Tv en dos partes iguales, se tira la ac y su punto medio d pertenece á la parábola. Para hallar otro punto se tirará por d una paralela á Tv procediendo como anteriormente.

Se demuestra que los puntos hallados pertenecen á una parábola porque siendo TA y $T'A$ tangentes á la curva, Af que divide en dos partes iguales la doble ordenada TT' , será un diámetro de la curva y v uno de sus puntos.

Por intersecciones de visuales.

Se puede trazar un arco de parábola por un método análogo al indicado para el arco de círculo por medio de intersecciones de rectas

Dadas las tangentes TA y $T'A$ (Fig. 27), se dividen en partes iguales y se unen cada uno de los puntos de division, incluidos T y T' , contando desde T' á A con los opuestos contando desde A á T y los puntos de encuentro de las líneas de union pertenecen á la parábola

Para evitar la incertidumbre que resulta en los puntos hallados, cuando las intersecciones son muy agudas, pueden calcularse las distancias de los puntos de la curva al origen de una de las rectas en que están situadas.

Para esto supongamos (Fig. 28) que M es el punto de interseccion de dos rectas trazadas por el método anterior y cuyos puntos de division son n y $n+1$ y se trata de hallar PM en funcion de la línea total PP' .

Se tirará PE paralela á QQ' y se tiene

$$PM : P'M :: Q'E : P'Q'$$

$$AQ : AQ' :: PQ : Q'E, AQ' \times PQ = AQ \times Q'E.$$

Multiplicando en la primera proporción el primer término de la segunda relacion por $AQ' \times PQ$ y el segundo por $AQ \times Q'E$, si a y a' son los valores de las divisiones d ó $PQ = a$, $P'Q' = a'$

$$AQ = (d-n)a, AQ' = (n+1)a'.$$

Sustituyendo estos valores en las proporciones anteriores, se obtiene:

$$PM : P'M :: (n+1)aa' : (d-n)aa' :: n+1 : d-n.$$

$$PM : PM + P'M \text{ ó } PP' :: n+1 : m+1.$$

$$PM = \frac{n+1}{m+1} PP'$$

Para fijar el punto M en el terreno se traza la línea PP' , se mide exactamente y se calcula por la fórmula anterior la parte PM . Si el número de divisiones fuese 9, por ejemplo, se tomará sobre la recta 11 los $\frac{2}{10}$, sobre la 22 los $\frac{5}{10}$, sobre la 33 los $\frac{4}{10}$, etc., lo cual daría puntos de la curva.

Cuando las dos partes AT y AT' de las alineaciones ó distancias al punto de contacto son iguales, puede emplearse indiferentemente el arco de círculo ó el de parábola. Se demuestra por el cálculo que la parábola tangente en T y T' se aproxima mas al vértice A que el arco de círculo tangente en los mismos puntos, cuando se construye este por medio de las cuerdas y las rectas tiradas por sus puntos medios segun se esplicó (Fig. 26).

Cuando el trazado de la parábola se hace por el método de intersecciones de la fig 27, las parábolas son distintas segun el número de divisiones que se hagan en AT y AT' . El vértice v de la figura 26 está en este caso mas bajo que el punto medio de Af y se aproxima tanto mas á él, cuanto mayor sea el número de divisiones, llegando á confundirse cuando es infinito.

Si el número de divisiones de las tangentes es dos, que es el menor posible, el vértice de la parábola está á los $\frac{2}{5}$ de la línea que une el vértice de las alineaciones con el punto medio de la cuerda.

El valor de Av (Fig 25.) está dado por la espresion

$$Av = \frac{Af}{2} \times \frac{n+2}{n+1},$$

siendo n el número de divisiones de las tangentes; lo cual hace ver que para determinar la amplitud que ha de tener la curva hay que dar ademas de las tangentes ó alineaciones el número de divisiones.

Cuando no pueden emplearse los métodos espuestos para el trazado de curvas, por los obstáculos que se presentan, como

Curvas arbitrarías

sucede en pais de montaña, se emplean los métodos de tanteo que vamos á indicar

Por cuerdas

(Fig. 29) Se toma desde el punto T de tangencia en la alineacion TA una longitud Ta de tres metros por ejemplo. Desde T con un radio Ta se describe un arco ab , y se tira la cuerda ab , la cual se toma aproximadamente como parezca convenir, para la amplitud de la curva. Se traza la línea Tb , que se prolonga otros tres metros para proceder del mismo modo al extremo a' . La cuerda $a'b'$ se tomará mayor ó menor que ab , segun haya de tener mas ó menos curvatura el arco.

Generalmente hay que hacer varios tanteos para fijar esta curva, pero tanto en estos casos como en los demas se traza en un papel en gran escala, acotando las líneas que se han de tomar en el terreno.

Curvas de
doble vuel-
ta.

(Fig. 50.) Cuando haya que trazar curvas de union en vueltas dobles, se procede para cada parte TAT' , $T'A'T''$ por los métodos esplicados que mas convenga seguir, segun la abertura de los ángulos y la facilidad que presente el terreno para efectuarlo; pero como estos casos tienen lugar en los paises quebrados, habrá que emplear aquellos en que se necesita menos espacio para operar.

Indicacion
de las tablas
calculadas
para el tra-
zado de cur-
vas.

Para abreviar las operaciones del trazado de curvas hay algunas tablas calculadas que pueden ser útiles, y de las cuales indicaremos aquellas de que tenemos noticia.

Las de Chevallot, edicion de 1850, contienen nociones de trigonometría y sus aplicaciones: tablas con las relaciones entre los arcos y el radio, y tablas para el trazado por abscisas y ordenadas tomadas sobre la tangente, ó cuerdas calculadas para arcos de 5' en 5'.

Las de Prus, edicion de 1846, contienen cuatro tablas: la primera con las longitudes de las tangentes, secantes, semi-cuerdas y arcos de curvas circulares de 100 metros de radio: la segunda para las abscisas y ordenadas de $1/4$ de circunferen-

cia del mismo radio: la tercera elementos principales de las parábolas construidas sobre las tangentes: la cuarta las abscisas y ordenadas de las parábolas cuyo parámetro es la unidad.

Las tablas primera y tercera están calculadas de minuto en minuto, desde 70° á 80° : las segunda y cuarta de decímetro en decímetro desde 0 á 100 metros. El primero y último decímetro está dividido en centímetros, y el primero y último de estos en milímetros. Se toma por eje de abscisas la bisectriz del ángulo formado por las dos alineaciones y el origen en el vértice de la curva.

El empleo de estas tablas presenta algunas dificultades en la práctica.

En las publicadas por Bisson están tomadas las tangentes ó alineaciones por eje de abscisas, lo cual hace menos dificultoso el empleo en la práctica; pero solo toma las abscisas de 10 en 10 metros.

En el tratado de Vindrinet, *Guía práctico para el trazado de caminos de hierro*, hay nociones prácticas de nivelacion y levantamiento de planos y varios métodos para el trazado de curvas, de los cuales hemos extraído los principales en este escrito. Además contiene tablas para el trazado de arcos de círculo, conociendo el ángulo de las tangentes para radios de 500 á 4,000 metros: tablas para el trazado por abscisas y ordenadas sobre las tangentes para los mismos radios y, en fin, para el trazado por medio de las cuerdas.

Las táblas de Combiér publicadas en 1856 contiene calculados para las curvas circulares y los ángulos comprendidos entre 2° y 180 , de 2 en 2 minutos en la hipótesis de que la tangente sea de 100 metros. 1.º el radio. 2.º el desarrollo de la curva entre los dos puntos de contacto. 3.º la cuerda. 4.º la distancia desde el vértice del ángulo al medio de la curva. 5.º la flecha del arco. 6.º la cuerda de la mitad del arco. 7.º la flecha de la mitad del arco. 8.º la cuerda del cuarto del arco. 9.º la flecha del cuarto del arco. Se dá la instruccion para hallar prácticamenté los diferentes datos.

El tratado de Jaquet sobre el trazado general de las curvas

circulares elípticas y parabólicas en los caminos de hierro carreteras, etc., contiene el método de verificarlo por la tangente y la cuerda con los cálculos aproximados hasta tres decimales, esponiendo la teoría, construcción y uso de las tablas, muchas aplicaciones de estas y problemas. En la primera tabla se incluyen la tangentes, bisectrices y desarrollos de las curvas circulares; en la segunda las abscisas y ordenadas de las curvas de la primera tabla; en la tercera, las abscisas y ordenadas de un cuarto de circunferencia de 100 metros de radio, en la cuarta las abscisas y ordenadas de una parábola cuyo parámetro es igual á 10,000 metros.

También se han publicado recientemente en Francia las tablas ciclográficas de Potier. Las tablas de *Borde* además de contener las superficies de perfiles transversales para vía de 5 á 10 metros de ancho con los intermedios de 0^m,10 en 0^m,10 calculados para una cota roja de perfil longitudinal desde 0^m,02 de altura hasta 20 metros, contiene además tablas para el cálculo de las curvas por medio de la tangente para los radios desde 100 á 5,000 metros de 25 en 25 metros.

Las tablas de superficies para el cálculo de los desmontes y terraplenes publicados por Huges tiene también tablas para el trazado de curvas.

Perfiles.

Del mismo modo que al tratar del levantamiento del plano de la carretera, solo haremos en esta parte, relativa al trazado de perfiles, algunas indicaciones sobre los instrumentos y operaciones que con ellos se ejecutan.

Niveles de
aire.

Los instrumentos que se emplean son: el nivel de aire de anteojo, el de pendiente ó eclímetro, el de agua, el de albañil y el de aire pequeño ó de bolsillo para perfiles transversales.

Hay algunas diferencias en los niveles de aire relativamente á su construcción. El de Lenoir se diferencia del de Egault en que el eje de rotación, en vez de ponerse vertical por medio de

una rosca que actúa sobre el platillo; de cuyo centro se eleva á ángulo recto, se le da la posición conveniente por medio de tornillos laterales que actúan sobre él mismo. Sin embargo, el nivel mas especialmente conocido por de Lenoir, y que para distinguirlo del anterior se llama nivel-círculo, tiene un platillo circular fijado en su centro sobre una columna apoyada en tres brazos, en cada uno de los cuales hay una rosca de corrección.

Cuando el platillo superior se apoya directamente sobre un pie con tres tornillos, tiene mas estabilidad que los que tienen dos tornillos con dos resortes; pero estos son mas fáciles de manejar.

Debe cuidarse de hacer las correcciones convenientes para que las nivelaciones sean exactas. Debe verificarse que el eje de figura y el eje óptico del anteojo sean paralelos al platillo horizontal.

Lo primero se obtiene despues de nivelado el platillo, dirigiendo una visual á un punto fijo, haciendo describir 180° á todo el instrumento, volviendo á colocar solamente el anteojo en la posición primitiva y viendo si el objeto que se observó primero coincide con la visual. Si no se verifica esto, es señal de que la generatriz inferior del anteojo no está horizontal, y para hacer la corrección, se hace subir ó bajar el apoyo del anteojo.

Para colocar el eje óptico paralelo al platillo horizontal ó al eje de figura del cilindro exterior del anteojo, se dirige la visual á un punto lejano fijo, y despues de nivelado el platillo, se hace girar el anteojo solo 180° al rededor de su eje; dirigiendo nuevamente la visual, si el objeto se ve por la parte superior ó inferior del hilo horizontal del objetivo, se corrige por medio del tornillo correspondiente la mitad de la diferencia. El hilo vertical se centra por un medio análogo dirigiendo la visual á una línea vertical.

Tambien hay que asegurarse de que está bien horizontal el hilo, para lo cual tiene los tornillos correspondientes.

No es posible muchas veces hacer que las distancias de las niveladas al verificar las operaciones, sean las mismas que

aquellas que sirvieron para centrar el anteojo; por consiguiente la operacion no será exacta. Cuando las diferencias sean pequeñas no resultan errores sensibles, y en el trazado de carreteras tendrá esto poca influencia; sin embargo, puede emplearse un método para nivelar por medio del cual, aun cuando el anteojo esté descentrado y aun en el caso de que la burbuja de aire y el eje de figura no estuviesen paralelos al platillo, hubiese la exactitud necesaria; se procede del modo siguiente:

Después de poner horizontal el platillo se hacen cuatro niveladas correspondientes á cuatro posiciones del anteojo, en las cuales el hilo esté horizontal. Supongamos que p sea el punto adonde se dirige la visual primera (Fig. 51), y p' después de haber hecho girar el anteojo al rededor de su eje 180° ; el hilo horizontal se habrá colocado sucesivamente á igual distancia por la parte superior é inferior al eje de figura del anteojo, y la cota media Tm sería la que debiera resultar, si el instrumento hubiera estado bien centrado.

Cambiando el anteojo extremo por extremo, es decir que el objetivo se coloque en la posición que tenía el ocular, para lo cual se levanta de sus apoyos, se vuelve después á la posición primitiva haciendo girar todo el aparato 180° . Se cuidará que la retícula quede horizontal después de este giro y que esté bien nivelado el instrumento cada vez que se dirija la visual.

En las nuevas posiciones del nivel se repetirán las operaciones anteriores y darán los puntos q , q' y el punto medio m' .

En las dobles niveladas efectuadas, el eje óptico y el de figura se han colocado sucesivamente en dos posiciones simétricas con relación á la posición normal NM y la cota TM es el término medio ó

$$TM = \frac{Tp + Tp' + Tq + Tq'}{4}$$

$$\text{pero } TM = \frac{Tp + Tq'}{2} = \frac{Tq + Tp'}{2}$$

por lo que bastan dos operaciones de las cuatro, es decir, la primera y cuarta ó la segunda y tercera, y por consiguiente se reducen á que después de dirigir la visual en una posición cual-

quiera del nivel, se dirija una segunda despues de haber vuelto el anteojo extremo por extremo levantándole de sus apoyos y hecho girar al instrumento 180° para colocar nuevamente el ocular del lado primitivo. El término medio de los dos resultados de la cota.

A pesar de que el alcance del anteojo del nivel es generalmente considerable, no por eso deben hacerse niveladas á grandes distancias. Están limitadas estas por la movilidad de la burbuja de aire del nivel, que depende del radio de curvatura longitudinal del tubo de este.

Distancia de las niveladas ó golpes de nivel.

El radio indicado se hace generalmente de 15 metros, de modo que en este caso sí se comete un error de 0,00025 en apreciar la posición de la burbuja relativamente á las líneas señaladas en el tubo y se supone que 0,002 sea el que se comete en la diferencia efectiva de nivel, lo que no es exagerado, comparando abb' y orr' (Fig. 32) se tendrá

$$X = 15 \frac{0,002}{0,00025} = 120 \text{ metros}$$

para la distancia á que podrán darse las niveladas, x representa el ocular, ab' el radio de curvatura del tubo del nivel, $b b'$ la diferencia ó error de apreciación en la burbuja, rr' el error de nivelación y x la distancia buscada.

Esta distancia podrá ser mas ó menos considerable segun la perfección del nivel y la práctica del que nivela. En general se toman 100 metros como límite.

Es conveniente, tanto en este como en los demas instrumentos que se emplean en el levantamiento de planos y nivelaciones, que un mismo individuo sea el que los maneje, pues acostumbrándose á ellos conoce sus defectos con facilidad y se hacen con mucha mas rapidez las operaciones.

Una de las precauciones que no debe descuidarse al emplear el nivel de agua, es hacer salir bien el aire de los tubos. En invierno para evitar que se hiele el agua se mezcla con aguardiente ó espíritu de vino.

Nivel de agua.

La distancia media, admitida como máxima para las niveladas con este instrumento, es de 25 metros, para que los errores sean de poca consideracion.

El nivel de agua se emplea en los trazados como auxiliar del de aire, bien sea para detalles de nivelaciones intermedias entre las ejecutadas con el nivel de aire, bien para los perfiles transversales.

Eclímetro

Uno de los instrumentos mas útiles para reconocimientos y anteproyectos es el nivel de pendiente, llamado tambien eclímetro ó clinómetro. Su principal aplicacion es en los paises montañosos en los cuales, necesitándose saber si el desarrollo será posible con una pendiente dada, se pueden hacer los tanteos convenientes por medio de este nivel.

Para hacer estos tanteos con una pendiente dada, se coloca el bastidor de la alidada mayor en la señal que marca la pendiente adoptada, cuando se emplean los eclímetros de esta clase. En los de círculo vertical graduado, se coloca la alidada en los grados que marcan la pendiente.

Se pone la tablilla de la mira ó su graduacion á la altura de la retícula ó agujero por donde se dirige la visual, aproximándola á este. Se hace colocar la mira á la distancia en que coincida la visual con la línea de la tablilla ó graduacion de la mira que se acaba de fijar, y el punto en que esto se verifique, estará con el que ocupe el instrumento, en la pendiente dada.

Si se quiere saber cuanto habrá que desmontar ó terraplenar siguiendo una pendiente dada, se marca esta en el instrumento y se coloca la mira, cuya tablilla ó graduacion se ha fijado como se indicó en el caso anterior; en el que se quiera averiguar. Se subirá ó bajará la tablilla hasta que coincida la visual, ó se verá la graduacion que se obtiene con esta, y la diferencia en mas ó en menos con la altura anterior, será la que tendrá el terraplen ó el desmonte.

Con un buen eclímetro se obtienen las pendientes con uno ó dos milímetros de error solamente.

Es conveniente, cuando se emplean los eclímetros de círculo

vertical graduado, tener calculadas las pendientes que corresponden espresadas en fracciones de metros ó tanto por ciento al número de grados y minutos que se obtengan, pues la primera relación es la que se emplea para designar dichas pendientes; á continuacion ponemos algunas de estas reducciones que pueden ser útiles. El cálculo es sencillo, pues se sabe que la diferencia de altura de un extremo á otro ó la inclinacion de la pendiente por unidad, es la tangente del ángulo que forma esta pendiente con la horizontal; por ejemplo, si es de $0^m,005$ por metro se buscará el logaritmo de 5 que es 0,69897 y el logaritmo tangente que le corresponde es el de $2^{\circ},52'$.

Con el objeto de abreviar las operaciones se tienen calculadas tablas de pendientes en tanto por ciento ó por metro equivalente á grados, minutos, etc. A continuacion se insertan tablas de esta clase espresadas de minuto en minuto hasta 26° y de grado en grado desde 26° á 45° . La estension espresada es mayor que la que se necesita en las reducciones que pueden ocurrir generalmente al reducir pendientes longitudinales pero podrá ser útil en la reduccion de perfiles transversales.

TABLA de reduccion de grados á pendientes de minuto en minuto.

GRADOS	MINUTOS	TANGENTES		GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	
		6	PENDIENTE POR 100.			6	PENDIENTE POR 100.
0	0	0,0000000			31	0,0090178	
	1	0,0002909			32	0,0095087	
	2	0,0005818			33	0,0099996	
	3	0,0008727			34	0,0098905	
	4	0,0011636			35	0,0101814	
	5	0,0014544			36	0,0104724	
	6	0,0017453			37	0,0107633	
	7	0,0020362			38	0,0110542	
	8	0,0023271			39	0,0113451	
	9	0,0026180			40	0,0116361	
	10	0,0029089			41	0,0119270	
	11	0,0031998			42	0,0122179	
	12	0,0034907			43	0,0125088	
	13	0,0037816			44	0,0127998	
	14	0,0040725			45	0,0130907	
	15	0,0043633			46	0,0133817	
	16	0,0046542			47	0,0136726	
	17	0,0049451			48	0,0139635	
	18	0,0052360			49	0,0142545	
	19	0,0055269			50	0,0145454	
	20	0,0058178			51	0,0148364	
	21	0,0061087			52	0,0151273	
	22	0,0063996			53	0,0154183	
	23	0,0066905			54	0,0157093	
	24	0,0069814			55	0,0160002	
	25	0,0072723			56	0,0162912	
	26	0,0075632			57	0,0165821	
	27	0,0078541			58	0,0168731	
	28	0,0081450			59	0,0171641	
	29	0,0084360			1	0,0174551	
30	0,0087269						

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES	GRADOS	MINUTOS	TANGENTES
		0 PENDIENTE POR 100.			0 PENDIENTE POR 100.
	1	0,0177460		31	0,0264770
	2	0,0180370		32	0,0267681
	3	0,0183280		33	0,0270592
	4	0,0186190		34	0,0273503
	5	0,0189100		35	0,0276414
	6	0,0192010		36	0,0279325
	7	0,0194920		37	0,0282236
	8	0,0197830		38	0,0285148
	9	0,0200740		39	0,0288059
	10	0,0203650		40	0,0290970
	11	0,0206560		41	0,0293882
	12	0,0209470		42	0,0296793
	13	0,0212380		43	0,0299705
	14	0,0215291		44	0,0302616
	15	0,0218201		45	0,0305528
	16	0,0221111		46	0,0308439
	17	0,0224021		47	0,0311351
	18	0,0226932		48	0,0314263
	19	0,0229842		49	0,0317174
	20	0,0232753		50	0,0320086
	21	0,0235663		51	0,0322998
	22	0,0238574		52	0,0325910
	23	0,0241484		53	0,0328822
	24	0,0244395		54	0,0331734
	25	0,0247305		55	0,0334646
	26	0,0250216		56	0,0337558
	27	0,0253127		57	0,0340471
	28	0,0256038		58	0,0343383
	29	0,0258948		59	0,0346295
	30	0,0261859			

GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	GRADOS	MINUTOS	TANGENTES
		6 PENDIENTE POR 100			6 PENDIENTE POR 100
2	0	0,0349208	31	0,0459524	
	1	0,0352120	32	0,0442438	
	2	0,0355033	33	0,0445353	
	3	0,0357945	34	0,0448268	
	4	0,0360858	35	0,0451182	
	5	0,0363771	36	0,0454077	
	6	0,0366683	37	0,0457012	
	7	0,0369596	38	0,0459927	
	8	0,0372509	39	0,0462842	
	9	0,0375422	40	0,0465757	
	10	0,0378335	41	0,0468673	
	11	0,0381248	42	0,0471588	
	12	0,0384161	43	0,0474503	
	13	0,0387074	44	0,0477419	
	14	0,0389988	45	0,0480334	
	15	0,0392901	46	0,0483250	
	16	0,0395814	47	0,0486166	
	17	0,0398728	48	0,0489082	
	18	0,0401641	49	0,0491997	
	19	0,0404555	50	0,0494913	
	20	0,0407469	51	0,0497829	
	21	0,0410383	52	0,0500746	
	22	0,0413296	53	0,0503662	
	23	0,0416210	54	0,0506578	
	24	0,0419124	55	0,0509495	
	25	0,0422038	56	0,0512411	
	26	0,0424952	57	0,0515328	
	27	0,0427866	58	0,0518244	
	28	0,0430781	59	0,0521161	
	29	0,0433695			
	30	0,0436609			

		TANGENIES			TANGENTES
		6			6
GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.	GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.
3	0	0,0524078		31	0,0614546
	1	0,0526995		32	0,0617466
	2	0,0529912		33	0,0620386
	3	0,0532829		34	0,0623306
	4	0,0535746		35	0,0626226
	5	0,0538663		36	0,0629147
	6	0,0541581		37	0,0632067
	7	0,0544498		38	0,0634988
	8	0,0547416		39	0,0637908
	9	0,0550333		40	0,0640829
	10	0,0553251		41	0,0643750
	11	0,0556169		42	0,0646671
	12	0,0559087		43	0,0649592
	13	0,0562005		44	0,0652515
	14	0,0564923		45	0,0655435
	15	0,0567841		46	0,0658356
	16	0,0570759		47	0,0661278
	17	0,0573678		48	0,0664199
	18	0,0576596		49	0,0667121
	19	0,0579515		50	0,0670043
	20	0,0582434		51	0,0672965
	21	0,0585352		52	0,0675887
	22	0,0588271		53	0,0678809
	23	0,0591190		54	0,0681732
	24	0,0594109		55	0,0684654
	25	0,0597029		56	0,0687577
	26	0,0599948		57	0,0690499
	27	0,0602867		58	0,0693422
	28	0,0605787		59	0,0696345
	29	0,0608706			
30	0,0611626				

		TANGENTES			TANGENTES
		ó			ó
GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.	GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.
4	0	0,0699268		31	0,0789944
	1	0,0702191		32	0,0792871
	2	0,0705115		33	0,0795798
	3	0,0708038		34	0,0798726
	4	0,0710961		35	0,0801653
	5	0,0713885		36	0,0804581
	6	0,0716809		37	0,0807509
	7	0,0719733		38	0,0810437
	8	0,0722657		39	0,0813365
	9	0,0725581		40	0,0816293
	10	0,0728505		41	0,0819221
	11	0,0731430		42	0,0822150
	12	0,0734354		43	0,0825078
	13	0,0737279		44	0,0828007
	14	0,0740203		45	0,0830936
	15	0,0743128		46	0,0833865
	16	0,0746053		47	0,0836794
	17	0,0748979		48	0,0839723
	18	0,0751904		49	0,0842653
	19	0,0754829		50	0,0845583
	20	0,0757755		51	0,0848512
	21	0,0760680		52	0,0851442
	22	0,0763606		53	0,0854372
	23	0,0766532		54	0,0857302
	24	0,0769458		55	0,0860233
	25	0,0772384		56	0,0863163
	26	0,0775311		57	0,0866094
	27	0,0778237		58	0,0869025
	28	0,0781164		59	0,0871956
	29	0,0784090			
30	0,0787017				

		TANGENTES			TANGENTES
		6			6
GRADOS	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.	GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.
5	0	0,0874887		31	0,0965826
	1	0,0877818		32	0,0968763
	2	0,0880749		33	0,0971699
	3	0,0883681		34	0,0974635
	4	0,0886612		35	0,0977572
	5	0,0889544		36	0,0980509
	6	0,0892476		37	0,0983446
	7	0,0895408		38	0,0986383
	8	0,0898341		39	0,0989320
	9	0,0901273		40	0,0992257
	10	0,0904206		41	0,0995195
	11	0,0907138		42	0,0998133
	12	0,0910071		43	0,1001071
	13	0,0913004		44	0,1004009
	14	0,0915938		45	0,1006947
	15	0,0918871		46	0,1009947
	16	0,0921804		47	0,1012824
	17	0,0924738		48	0,1015763
	18	0,0927672		49	0,1018702
	19	0,0930606		50	0,1021641
	20	0,0933554		51	0,1024580
	21	0,0936474		52	0,1027520
	22	0,0939409		53	0,1030460
	23	0,0942344		54	0,1033400
	24	0,0945278		55	0,1036340
	25	0,0948213		56	0,1039280
	26	0,0951148		57	0,1042220
	27	0,0954084		58	0,1045160
	28	0,0957019		59	0,1048104
	29	0,0959955			
30	0,0962890				

		TANGENTES				TANGENTES		
		6				6		
GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.		GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.		
6	0	0,1051042			51	0,1142303		
	1	0,1055983			52	0,1145250		
	2	0,1056924			53	0,1148197		
		3	0,1059866			54	0,1151144	
		4	0,1062808			55	0,1154091	
		5	0,1065750			56	0,1157039	
		6	0,1068692			57	0,1159987	
		7	0,1071634			58	0,1162935	
		8	0,1074576			59	0,1165883	
		9	0,1077519			40	0,1168831	
		10	0,1080462			41	0,1171780	
		11	0,1083405			42	0,1174729	
		12	0,1086348			43	0,1177678	
		13	0,1089291			44	0,1180628	
		14	0,1092234			45	0,1183578	
		15	0,1095178			46	0,1186528	
		16	0,1098122			47	0,1189478	
		17	0,1101066			48	0,1192428	
		18	0,1104010			49	0,1195378	
		19	0,1106954			50	0,1198328	
		20	0,1109899			51	0,1201279	
		21	0,1112844			52	0,1204230	
		22	0,1115789			53	0,1207181	
		23	0,1118734			54	0,1210132	
		24	0,1121679			55	0,1213084	
		25	0,1124625			56	0,1216036	
		26	0,1127571			57	0,1218988	
		27	0,1130517			58	0,1221940	
		28	0,1133463			59	0,1224893	
		29	0,1136409					
		30	0,1139356					

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENIES		GRADOS.	MINUTOS.	TANGENIES	
		0	PENDIENTE POR 100			0	PENDIENTE POR 100
7	0	0,1227846		31	0,1319484		
	1	0,1230799		32	0,1322444		
	2	0,1233752		33	0,1325404		
	3	0,1236705		34	0,1328364		
	4	0,1239658		35	0,1331324		
	5	0,1242612		36	0,1334285		
	6	0,1245566		37	0,1337246		
	7	0,1248520		38	0,1340207		
	8	0,1251474		39	0,1343168		
	9	0,1254429		40	0,1346129		
	10	0,1257384		41	0,1349091		
	11	0,1260339		42	0,1352053		
	12	0,1263294		43	0,1355015		
	13	0,1266249		44	0,1357977		
	14	0,1269205		45	0,1360940		
	15	0,1272161		46	0,1363903		
	16	0,1275117		47	0,1366866		
	17	0,1278073		48	0,1369829		
	18	0,1281029		49	0,1372793		
	19	0,1283986		50	0,1375757		
	20	0,1286943		51	0,1378721		
	21	0,1289900		52	0,1381685		
	22	0,1292857		53	0,1384650		
	23	0,1295815		54	0,1387615		
	24	0,1298773		55	0,1390580		
	25	0,1301731		56	0,1393545		
	26	0,1304689		57	0,1396510		
	27	0,1307648		58	0,1399476		
	28	0,1310607		59	0,1402442		
	29	0,1313566					
	30	0,1316525					

		TANGENTES 6			TANGENTES 6
GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.	GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.
8	0	0,1405408		31	0,1497484
	1	0,1408374		32	0,1500458
	2	0,1411341		33	0,1503433
	3	0,1414308		34	0,1506408
	4	0,1417275		35	0,1509383
	5	0,1420243		36	0,1512358
	6	0,1423211		37	0,1515333
	7	0,1426179		38	0,1518309
	8	0,1429147		39	0,1521285
	9	0,1432115		40	0,1524261
	10	0,1435084		41	0,1527238
	11	0,1438053		42	0,1530215
	12	0,1441022		43	0,1533192
	13	0,1443991		44	0,1536189
	14	0,1446961		45	0,1539147
	15	0,1449931		46	0,1542125
	16	0,1452901		47	0,1545103
	17	0,1455871		48	0,1548082
	18	0,1458842		49	0,1551061
	19	0,1461813		50	0,1554040
	20	0,1464784		51	0,1557019
	21	0,1467755		52	0,1559998
	22	0,1470727		53	0,1562978
	23	0,1473699		54	0,1565958
	24	0,1476671		55	0,1568938
	25	0,1479644		56	0,1571919
	26	0,1482617		57	0,1574900
	27	0,1485590		58	0,1577881
	28	0,1488563		59	0,1580862
	29	0,1491536			
	30	0,1494510			

		IANGENIES			IANGENIES
		6			6
GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.	GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.
9	0	0,1585844		31	0,1676416
	1	0,1586826		32	0,1679407
	2	0,1589808		33	0,1682398
	3	0,1592791		34	0,1685389
	4	0,1595774		35	0,1688381
	5	0,1598757		36	0,1691373
	6	0,1601740		37	0,1694365
	7	0,1604724		38	0,1697358
	8	0,1607708		39	0,1700351
	9	0,1610692		40	0,1703344
	10	0,1613677		41	0,1706337
	11	0,1616662		42	0,1709331
	12	0,1619647		43	0,1712325
	13	0,1622632		44	0,1715319
	14	0,1625617		45	0,1718314
	15	0,1628603		46	0,1721309
	16	0,1631589		47	0,1724304
	17	0,1634576		48	0,1727300
	18	0,1637565		49	0,1730296
	19	0,1640550		50	0,1733292
	20	0,1643537		51	0,1736288
	21	0,1646525		52	0,1739285
	22	0,1649513		53	0,1742282
	23	0,1652501		54	0,1745279
	24	0,1655489		55	0,1748277
	25	0,1658478		56	0,1751275
	26	0,1661467		57	0,1754273
	27	0,1664456		58	0,1757272
	28	0,1667446		59	0,1760271
	29	0,1670436			
	30	0,1673426			

GRADOS	MINUTOS	TANGENCIAS		GRADOS	MINUTOS	TANGENCIAS	
		6				6	
		PENDIENTE POR 100				PENDIENTE POR 100.	
10	0	0,1763270		31	0,1856599		
	1	0,1766269		32	0,1859408		
	2	0,1769269		33	0,1862418		
	3	0,1772269		34	0,1865428		
	4	0,1775269		35	0,1868438		
	5	0,1778270		36	0,1871449		
	6	0,1781271		37	0,1874460		
	7	0,1784272		38	0,1877471		
	8	0,1787274		39	0,1880483		
	9	0,1790276		40	0,1883495		
	10	0,1793278		41	0,1886507		
	11	0,1796281		42	0,1889520		
	12	0,1799284		43	0,1892533		
	13	0,1802287		44	0,1895546		
	14	0,1805291		45	0,1898559		
	15	0,1808295		46	0,1901575		
	16	0,1811299		47	0,1904587		
	17	0,1814303		48	0,1907602		
	18	0,1817308		49	0,1910617		
	19	0,1820313		50	0,1913632		
	20	0,1823318		51	0,1916648		
	21	0,1826324		52	0,1919664		
	22	0,1829330		53	0,1922680		
	23	0,1832336		54	0,1925696		
	24	0,1835343		55	0,1928713		
	25	0,1838350		56	0,1931730		
	26	0,1841357		57	0,1934748		
	27	0,1844365		58	0,1937766		
	28	0,1847373		59	0,1940784		
	29	0,1850381					
30	0,1853390						

GRADOS.	MINUTOS	I ANGENIES		GRADOS.	MINUTOS	I ANGENIES	
		6	PENDIENTE POR 100.			6	PENDIENTE POR 100.
11	0	0,1945803		31		0,2037552	
	1	0,1946822		32		0,2040582	
	2	0,1949841		33		0,2043612	
	3	0,1952861		34		0,2046643	
	4	0,1955881		35		0,2049674	
	5	0,1958901		36		0,2052705	
	6	0,1961922		37		0,2055737	
	7	0,1964943		38		0,2058769	
	8	0,1967964		39		0,2061801	
	9	0,1970986		40		0,2064834	
	10	0,1974008		41		0,2067867	
	11	0,1977030		42		0,2070900	
	12	0,1980053		43		0,2073934	
	13	0,1983076		44		0,2076968	
	14	0,1986100		45		0,2080003	
	15	0,1989124		46		0,2083038	
	16	0,1992148		47		0,2086073	
	17	0,1995172		48		0,2089109	
	18	0,1998197		49		0,2092145	
	19	0,2001222		50		0,2095181	
	20	0,2004248		51		0,2098218	
	21	0,2007274		52		0,2101255	
	22	0,2010300		53		0,2104293	
	23	0,2013327		54		0,2107331	
	24	0,2016354		55		0,2110369	
	25	0,2019381		56		0,2113407	
	26	0,2022409		57		0,2116446	
	27	0,2025437		58		0,2119485	
	28	0,2028465		59		0,2122525	
	29	0,2031494					
30	0,2034523						

GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	GRADOS	MINUTOS	TANGENTES
		ó PENDIENTE POR 100.			ó PENDIENTE POR 100.
12	0	0,2125565		31	0,2219999
	1	0,2128606		32	0,2223051
	2	0,2131647		33	0,2226104
	3	0,2134688		34	0,2229157
	4	0,2137730		35	0,2232211
	5	0,2140772		36	0,2235265
	6	0,2143814		37	0,2238319
	7	0,2146857		38	0,2241374
	8	0,2149900		39	0,2244429
	9	0,2152944		40	0,2247485
	10	0,2155988		41	0,2250541
	11	0,2159032		42	0,2253597
	12	0,2162077		43	0,2256654
	13	0,2165122		44	0,2259711
	14	0,2168167		45	0,2262769
	15	0,2171213		46	0,2265827
	16	0,2174259		47	0,2268885
	17	0,2177306		48	0,2271944
	18	0,2180353		49	0,2275003
	19	0,2183400		50	0,2278063
	20	0,2186448		51	0,2281123
	21	0,2189496		52	0,2284183
	22	0,2192544		53	0,2287244
	23	0,2195593		54	0,2290305
	24	0,2198642		55	0,2293367
	25	0,2201692		56	0,2296429
	26	0,2204742		57	0,2299492
	27	0,2207793		58	0,2302555
	28	0,2210844		59	0,2305618
	29	0,2213895			
	30	0,2216947			

		LANGENIES 6			LANGENIES 6
GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100	GRADOS	MINUTOS	PENDIENTE POR 100
13	0	0,2308682		31	0,2403864
	1	0,2311746		32	0,2406941
	2	0,2314811		33	0,2410019
	3	0,2317876		34	0,2413097
	4	0,2320941		35	0,2416176
	5	0,2324007		36	0,2419255
	6	0,2327073		37	0,2422334
	7	0,2330140		38	0,2425414
	8	0,2333207		39	0,2428494
	9	0,2336274		40	0,2431575
	10	0,2339342		41	0,2434656
	11	0,2342410		42	0,2437737
	12	0,2345479		43	0,2440819
	13	0,2348548		44	0,2443901
	14	0,2351617		45	0,2446984
	15	0,2354687		46	0,2450067
	16	0,2357758		47	0,2453151
	17	0,2360829		48	0,2456235
	18	0,2363900		49	0,2459320
	19	0,2366972		50	0,2462405
	20	0,2370044		51	0,2465491
	21	0,2373116		52	0,2468577
	22	0,2376189		53	0,2471663
	23	0,2379262		54	0,2474750
	24	0,2382336		55	0,2477837
	25	0,2385410		56	0,2480925
	26	0,2388485		57	0,2484013
	27	0,2391560		58	0,2487102
	28	0,2394635		59	0,2490191
	29	0,2397711			
30	0,2400787				

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES		GRADOS.	MINUTOS	TANGENTES	
		°				°	
		PENDIENTE POR 100.				PENDIENTE POR 100.	
14	0	0,2495280		31	0,2589280		
	1	0,2496370		32	0,2592384		
	2	0,2499460		33	0,2595488		
	3	0,2502551		34	0,2598593		
	4	0,2505642		35	0,2601699		
	5	0,2508734		36	0,2604805		
	6	0,2511826		37	0,2607911		
	7	0,2514919		38	0,2611018		
	8	0,2518012		39	0,2614126		
	9	0,2521106		40	0,2617234		
	10	0,2524200		41	0,2620342		
	11	0,2527294		42	0,2623451		
	12	0,2530389		43	0,2626560		
	13	0,2533484		44	0,2629670		
	14	0,2536580		45	0,2632780		
	15	0,2539676		46	0,2635891		
	16	0,2542773		47	0,2639002		
	17	0,2545870		48	0,2642114		
	18	0,2548968		49	0,2645226		
	19	0,2552066		50	0,2648339		
	20	0,2555165		51	0,2651452		
	21	0,2558264		52	0,2654566		
	22	0,2561363		53	0,2657680		
	23	0,2564463		54	0,2660794		
	24	0,2567563		55	0,2663909		
	25	0,2570664		56	0,2667025		
	26	0,2573766		57	0,2670141		
	27	0,2576868		58	0,2673257		
	28	0,2579970		59	0,2676374		
	29	0,2583073					
30	0,2586176						

GRADOS.	MINUTOS	TANGENTES		GRADOS	MINUTOS.	TANGENTES	
		6				6	
		PENDIENTE POR 100				PENDIENTE POR 100.	
15	1	0,2682610		31	0,2776578		
	2	0,2685728		32	0,2779512		
	3	0,2688847		33	0,2782646		
	4	0,2691967		34	0,2785780		
	5	0,2695087		35	0,2788915		
	6	0,2698207		36	0,2792050		
	7	0,2701328		37	0,2795186		
	8	0,2704449		38	0,2798322		
	9	0,2707571		39	0,2801459		
	10	0,2710693		40	0,2804597		
	11	0,2713816		41	0,2807735		
	12	0,2716940		42	0,2810873		
	13	0,2720064		43	0,2814012		
	14	0,2723188		44	0,2817152		
	15	0,2726313		45	0,2820292		
	16	0,2729438		46	0,2823432		
	17	0,2732564		47	0,2826573		
	18	0,2735690		48	0,2829715		
	19	0,2738817		49	0,2832857		
	20	0,2741944		50	0,2835999		
	21	0,2745072		51	0,2839142		
	22	0,2748201		52	0,2842286		
	23	0,2751330		53	0,2845430		
	24	0,2754459		54	0,2848575		
	25	0,2757589		55	0,2851720		
	26	0,2760719		56	0,2854866		
	27	0,2763850		57	0,2858012		
	28	0,2766981		58	0,2861159		
	29	0,2770113		59	0,2864306		
	30	0,2773245					

IANGENIES			IANGENIES		
6			6		
GRADOS.	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.	GRADOS.	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.
16	1	0,2870602	31	0,2965299	
	2	0,2873751	32	0,2968464	
	3	0,2876900	33	0,2971630	
	4	0,2880050	34	0,2974796	
	5	0,2883201	35	0,2977962	
	6	0,2886352	36	0,2981129	
	7	0,2889503	37	0,2984297	
	8	0,2892655	38	0,2987465	
	9	0,2895808	39	0,2990634	
	10	0,2898961	40	0,2993803	
	11	0,2902114	41	0,2996973	
	12	0,2905268	42	0,3000144	
	13	0,2908423	43	0,3003315	
	14	0,2911578	44	0,3006486	
	15	0,2914734	45	0,3009658	
	16	0,2917890	46	0,3012831	
	17	0,2921047	47	0,3016004	
	18	0,2924205	48	0,3019178	
	19	0,2927363	49	0,3022352	
	20	0,2930521	50	0,3025527	
	21	0,2933680	51	0,3028703	
	22	0,2936839	52	0,3031879	
	23	0,2939999	53	0,3035055	
	24	0,2943160	54	0,3038232	
	25	0,2946321	55	0,3041410	
	26	0,2949483	56	0,3044588	
	27	0,2952645	57	0,3047767	
	28	0,2955808	58	0,3050946	
	29	0,2958971	59	0,3054126	
	30	0,2962135			

GRADOS	MINUTOS	IANGENIES		GRADOS	MINUTOS	IANGENIES	
		6	PENDIENTE POR 100.			6	PENDIENTE POR 100.
17	1	0,3060488		31	0,3156186		
	2	0,3065669		32	0,3159385		
	3	0,3066851		33	0,3162585		
	4	0,3070054		34	0,3165785		
	5	0,3075218		35	0,3168986		
	6	0,3076402		36	0,3172187		
	7	0,3079586		37	0,3175389		
	8	0,3082771		38	0,3178591		
	9	0,3085957		39	0,3181794		
	10	0,3089143		40	0,3184998		
	11	0,3092350		41	0,3188202		
	12	0,3095517		42	0,3191407		
	13	0,3098705		43	0,3194613		
	14	0,3101893		44	0,3197819		
	15	0,3105082		45	0,3201025		
	16	0,3108272		46	0,3204232		
	17	0,3111462		47	0,3207440		
	18	0,3114653		48	0,3210649		
	19	0,3117844		49	0,3213858		
	20	0,3121056		50	0,3217067		
	21	0,3124229		51	0,3220277		
	22	0,3127422		52	0,3223488		
	23	0,3130616		53	0,3226700		
	24	0,3133810		54	0,3229912		
	25	0,3137005		55	0,3233125		
	26	0,3140200		56	0,3236338		
	27	0,3143396		57	0,3239552		
	28	0,3146593		58	0,3242766		
	29	0,3149790		59	0,3245981		
	30	0,3152988					

TANGENTES			TANGENTES		
6			6		
GRADOS.	MINUTOS.	PENDIENTE POR 100.	GRADOS.	MINUTOS	PENDIENTE POR 100.
18	1	0,3252413		31	0,3349188
	2	0,3255650		32	0,3352424
	3	0,3258848		33	0,3355660
	4	0,3262066		34	0,3358897
	5	0,3265285		35	0,3362154
	6	0,3268504		36	0,3365372
	7	0,3271724		37	0,3368611
	8	0,3274944		38	0,3371850
	9	0,3278165		39	0,3375090
	10	0,3281387		40	0,3378330
	11	0,3284610		41	0,3381571
	12	0,3287833		42	0,3384813
	13	0,3291056		43	0,3388056
	14	0,3294280		44	0,3391299
	15	0,3297505		45	0,3394543
	16	0,3300731		46	0,3397787
	17	0,3303957		47	0,3401032
	18	0,3307184		48	0,3404278
	19	0,3310411		49	0,3407524
	20	0,3313639		50	0,3410771
	21	0,3316868		51	0,3414019
	22	0,3320097		52	0,3417267
	23	0,3323327		53	0,3420516
	24	0,3326557		54	0,3423765
	25	0,3329788		55	0,3427015
	26	0,3333020		56	0,3430266
	27	0,3336252		57	0,3433518
	28	0,3339485		58	0,3436770
	29	0,3342719		59	0,3440023
	30	0,3345953			

GRADOS	MINUTOS	TANGENIES	GRADOS	MINUTOS	TANGENIES
		6			6
		PENDIENTE POR 100.			PENDIENTE POR 100.
19	1	0,3446530	31	0,3544460	
	2	0,3449785	32	0,3547735	
	3	0,3453040	33	0,3551010	
	4	0,3456296	34	0,3554286	
	5	0,3459553	35	0,3557563	
	6	0,3462810	36	0,3560840	
	7	0,3466068	37	0,3564118	
	8	0,3469327	38	0,3567397	
	9	0,3472586	39	0,3570676	
	10	0,3475846	40	0,3573956	
	11	0,3479107	41	0,3577237	
	12	0,3482368	42	0,3580518	
	13	0,3485630	43	0,3583800	
	14	0,3488893	44	0,3587083	
	15	0,3492156	45	0,3590367	
	16	0,3495420	46	0,3593651	
	17	0,3498685	47	0,3596936	
	18	0,3501950	48	0,3600222	
	19	0,3505216	49	0,3603508	
	20	0,3508483	50	0,3606795	
	21	0,3511750	51	0,3610083	
	22	0,3515018	52	0,3613371	
	23	0,3518887	53	0,3616660	
	24	0,3521556	54	0,3619950	
	25	0,3524826	55	0,3623240	
	26	0,3528097	56	0,3626531	
	27	0,3531368	57	0,3629823	
	28	0,3534640	58	0,3633115	
	29	0,3537913	59	0,3636408	
	30	0,3541186			

GRADOS.	MINUTOS	TANGENTES		GRADOS.	MINUTOS	TANGENTES	
		6				6	
		PENDIENTE POR 100.				PENDIENTE POR 100	
20	0	0,5642997		31	0,3742163		
	1	0,5646292		32	0,3745479		
	2	0,5649588		33	0,3748797		
	3	0,5652885		34	0,3752115		
	4	0,5656182		35	0,3755434		
	5	0,5659480		36	0,3758753		
	6	0,5662779		37	0,3762073		
	7	0,5666079		38	0,3765394		
	8	0,5669379		39	0,3768716		
	9	0,5672680		40	0,3772038		
	10	0,5675982		41	0,3775361		
	11	0,5679284		42	0,3778685		
	12	0,5682587		43	0,3782010		
	13	0,5685891		44	0,3785335		
	14	0,5689195		45	0,3788661		
	15	0,5692500		46	0,3791988		
	16	0,5695806		47	0,3795316		
	17	0,5699113		48	0,3798644		
	18	0,3702420		49	0,3801973		
	19	0,3705728		50	0,3805303		
	20	0,3709037		51	0,3808633		
	21	0,3712346		52	0,3811964		
	22	0,3715656		53	0,3815296		
	23	0,3718967		54	0,3818629		
	24	0,3722278		55	0,3821962		
	25	0,3725590		56	0,3825296		
	26	0,3728903		57	0,3828631		
	27	0,3732217		58	0,3831967		
	28	0,3735532		59	0,3835303		
	29	0,3738847					
30							

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES		GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	
		ó	PENDIENTE POR 100.			ó	PENDIENTE POR 100.
21	1	0,5841978		51	0,3942466		
	2	0,5845517		52	0,3945827		
	3	0,5848656		53	0,3949189		
	4	0,5851996		54	0,3952552		
	5	0,5855537		55	0,3955916		
	6	0,5858679		56	0,3959280		
	7	0,5862021		57	0,3962645		
	8	0,5865564		58	0,3966011		
	9	0,5868708		59	0,3969378		
	10	0,5872053		40	0,3972746		
	11	0,5875398		41	0,3976114		
	12	0,5878744		42	0,3979485		
	13	0,5882091		43	0,3982855		
	14	0,5885439		44	0,3986224		
	15	0,5888787		45	0,3989596		
	16	0,5892136		46	0,3992968		
	17	0,5895486		47	0,3996341		
	18	0,5898857		48	0,3999715		
	19	0,5902189		49	0,4003089		
	20	0,5905541		50	0,4006465		
	21	0,5908894		51	0,4009841		
	22	0,5912248		52	0,4013218		
	23	0,5915602		53	0,4016596		
	24	0,5918957		54	0,4019975		
	25	0,5922313		55	0,4023354		
	26	0,5925670		56	0,4026734		
	27	0,5929028		57	0,4030115		
	28	0,5932586		58	0,4033497		
	29	0,5935745		59	0,4036879		
	30	0,5939105					

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES	GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES
		0 PENDIENTE POR 100.			0 PENDIENTE POR 100.
22	1	0,4043646		31	0,4145544
	2	0,4047031		32	0,4148953
	3	0,4050417		33	0,4152363
	4	0,4053804		34	0,4155774
	5	0,4057191		35	0,4159186
	6	0,4060579		36	0,4162599
	7	0,4063968		37	0,4166012
	8	0,4067358		38	0,4169426
	9	0,4070748		39	0,4172841
	10	0,4074139		40	0,4176257
	11	0,4077531		41	0,4179674
	12	0,4080924		42	0,4183091
	13	0,4084318		43	0,4186509
	14	0,4087713		44	0,4189928
	15	0,4091108		45	0,4193348
	16	0,4094504		46	0,4196769
	17	0,4097901		47	0,4200191
	18	0,4101229		48	0,4203613
	19	0,4104697		49	0,4207036
	20	0,4108097		50	0,4210460
	21	0,4111497		51	0,4213885
	22	0,4114898		52	0,4217311
	23	0,4118300		53	0,4220738
	24	0,4121703		54	0,4224166
	25	0,4125106		55	0,4227594
	26	0,4128510		56	0,4231023
	27	0,4131915		57	0,4234453
	28	0,4135321		58	0,4237884
	29	0,4138728		59	0,4241316
	30	0,4142136			

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENIES		GRADOS.	MINUTOS.	TANGENIES	
		6	PENDIENTE POR 100.			6	PENDIENTE POR 100.
25	1	0,4248182		31	0,4351583		
	2	0,4251616		32	0,4355043		
	3	0,4255051		33	0,4358504		
	4	0,4258487		34	0,4361966		
	5	0,4261924		35	0,4365429		
	6	0,4265362		36	0,4368893		
	7	0,4268800		37	0,4372358		
	8	0,4272239		38	0,4375823		
	9	0,4275679		39	0,4379289		
	10	0,4279120		40	0,4382756		
	11	0,4282562		41	0,4386224		
	12	0,4286005 *		42	0,4389693		
	13	0,4289449		43	0,4393163		
	14	0,4292894		44	0,4396634		
	15	0,4296339		45	0,4400106		
	16	0,4299785		46	0,4403578		
	17	0,4303232		47	0,4407051		
	18	0,4306680		48	0,4410525		
	19	0,4310129		49	0,4414000		
	20	0,4313579		50	0,4417476		
	21	0,4317030		51	0,4420953		
	22	0,4320481		52	0,4424431		
	23	0,4323933		53	0,4427910		
	24	0,4327386		54	0,4431390		
	25	0,4330840		55	0,4434871		
	26	0,4334295		56	0,4438353		
	27	0,4337751		57	0,4441835		
	28	0,4341208		58	0,4445318		
	29	0,4344666		59	0,4448802		
	30	0,4348124					

GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES		GRADOS.	MINUTOS.	TANGENTES	
		6				6	
		PENDIENTE POR 100.				PENDIENTE POR 100.	
24	1	0,4455775		31	0,4560777		
	2	0,4459260		32	0,4564291		
	3	0,4462748		33	0,4567806		
	4	0,4466237		34	0,4571322		
	5	0,4469727		35	0,4574839		
	6	0,4473217		36	0,4578357		
	7	0,4476708		37	0,4581876		
	8	0,4480200		38	0,4585396		
	9	0,4483693		39	0,4588917		
	10	0,4487187		40	0,4592439		
	11	0,4490682		41	0,4595962		
	12	0,4494178		42	0,4599486		
	13	0,4497675		43	0,4603011		
	14	0,4501173		44	0,4606537		
	15	0,4504672		45	0,4610064		
	16	0,4508172		46	0,4613591		
	17	0,4511673		47	0,4617119		
	18	0,4515174		48	0,4620648		
	19	0,4518673		49	0,4624178		
	20	0,4522179		50	0,4627709		
	21	0,4525683		51	0,4631242		
	22	0,4529188		52	0,4634776		
	23	0,4532694		53	0,4638311		
	24	0,4536201		54	0,4641846		
	25	0,4539709		55	0,4645382		
	26	0,4543218		56	0,4648919		
	27	0,4546728		57	0,4652457		
	28	0,4550239		58	0,4655996		
	29	0,4553751		59	0,4659536		
	30	0,4557264					

GRADOS	MINUTOS	TANGENIES		GRADOS	MINUTOS	TANGENIES	
		6	PENDIENTE POR 100.			6	PENDIENTE POR 100.
25	1	0,4666619		31	0,4773526		
	2	0,4670162		32	0,4776899		
	3	0,4673706		33	0,4780472		
	4	0,4677251		34	0,4784046		
	5	0,4680797		35	0,4787621		
	6	0,4684343		36	0,4791197		
	7	0,4687890		37	0,4794774		
	8	0,4691438		38	0,4798352		
	9	0,4694988		39	0,4801932		
	10	0,4698539		40	0,4805512		
	11	0,4702090		41	0,4809093		
	12	0,4705643		42	0,4812675		
	13	0,4709196		43	0,4816258		
	14	0,4712751		44	0,4819842		
	15	0,4716306		45	0,4823427		
	16	0,4719863		46	0,4827014		
	17	0,4723420		47	0,4830601		
	18	0,4726978		48	0,4834189		
	19	0,4730538		49	0,4837778		
	20	0,4734098		50	0,4841368		
	21	0,4737659		51	0,4844959		
	22	0,4741222		52	0,4848552		
	23	0,4744785		53	0,4852145		
	24	0,4748349		54	0,4855739		
	25	0,4751914		55	0,4859334		
	26	0,4755481		56	0,4862931		
	27	0,4759048		57	0,4866528		
	28	0,4762616		58	0,4870126		
	29	0,4766185		59	0,4873726		
	30	0,4769755					

GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	GRADOS	MINUTOS	TANGENTES
		δ PENDIENTE POR 100.			δ PENDIENTE POR 100.
26	1	0,4880927	51	0,4989449	
	2	0,4884550	52	0,4993082	
	3	0,4888133	53	0,4996717	
	4	0,4891757	54	0,5000352	
	5	0,4895343	55	0,5003989	
	6	0,4898949	56	0,5007627	
	7	0,4902557	57	0,5011266	
	8	0,4906166	58	0,5014906	
	9	0,4909775	59	0,5018547	
	10	0,4913386	40	0,5022189	
	11	0,4916997	41	0,5025832	
	12	0,4920610	42	0,5029476	
	13	0,4924224	43	0,5033121	
	14	0,4927838	44	0,5036767	
	15	0,4931454	45	0,5040415	
	16	0,4935071	46	0,5044063	
	17	0,4938689	47	0,5047713	
	18	0,4942308	48	0,5051363	
	19	0,4945928	49	0,5055015	
	20	0,4949549	50	0,5058668	
	21	0,4953171	51	0,5062322	
	22	0,4956794	52	0,5065977	
	23	0,4960418	53	0,5069633	
	24	0,4964043	54	0,5073290	
	25	0,4967669	55	0,5076948	
	26	0,4971297	56	0,5080607	
	27	0,4974925	57	0,5084267	
	28	0,4978554	58	0,5087928	
	29	0,4982185	59	0,5091591	
	30	0,4985816	60	0,5095254	

TABLA DE $\frac{1}{2}$ EN $\frac{1}{2}$ GRADO.

GRADOS	MINUTOS	TANGENTES	GRADOS	MINUTOS	TANGENTES
		ó PENDIENTE POR 100.			ó PENDIENTE POR 100.
27	30	0,5205670	36	30	0,7399611
28		0,5317094	37		0,7535540
28	30	0,5429557	37	30	0,7673270
29		0,5545090	38		0,7812856
29	30	0,5657728	38	30	0,7954359
30		0,5773503	39		0,8097840
30	30	0,5890450	39	30	0,8245364
31		0,6008606	40		0,8390996
31	30	0,6128008	40	30	0,8540807
32		0,6248694	41		0,8692868
32	30	0,6370703	41	30	0,8847253
33		0,6494076	42		0,9004041
33	30	0,6618856	42	30	0,9163312
34		0,6745085	43		0,9325151
34	30	0,6872810	43	30	0,9489646
35		0,7002075	44		0,9656888
35	30	0,7132931	44	30	0,9826973
36		0,7265426	45		1,0000000

No.	Name	Age	Sex	Religion	Profession	Remarks
1	John Doe	35	M	Christian	Teacher	
2	Jane Smith	28	F	Buddhist	Homemaker	
3	Robert Johnson	42	M	Muslim	Engineer	
4	Maria Garcia	30	F	Hindu	Doctor	
5	David Lee	25	M	Jewish	Student	
6	Anna White	40	F	Sikh	Businesswoman	
7	Michael Brown	38	M	Christian	Lawyer	
8	Sarah Green	22	F	Buddhist	Artist	
9	James Black	50	M	Muslim	Retired	
10	Emily King	33	F	Hindu	Writer	
11	Christopher Hill	27	M	Jewish	Scientist	
12	Ashley Young	31	F	Sikh	Teacher	
13	Benjamin Clark	45	M	Christian	Farmer	
14	Olivia Lewis	29	F	Buddhist	Designer	
15	Lucas Walker	36	M	Muslim	Engineer	
16	Sophia Hall	24	F	Hindu	Student	
17	Isaac Allen	48	M	Jewish	Businessman	
18	Grace King	37	F	Sikh	Homemaker	
19	Samuel Wright	55	M	Christian	Retired	
20	Chloe Scott	26	F	Buddhist	Artist	
21	Jonathan Adams	41	M	Muslim	Engineer	
22	Madison Baker	34	F	Hindu	Teacher	
23	Christopher Evans	28	M	Jewish	Student	
24	Isabella Green	39	F	Sikh	Businesswoman	
25	Matthew King	44	M	Christian	Farmer	
26	Abigail Lewis	32	F	Buddhist	Designer	
27	Christopher Walker	47	M	Muslim	Engineer	
28	Victoria Hall	25	F	Hindu	Student	
29	Isaac Allen	52	M	Jewish	Businessman	
30	Grace King	36	F	Sikh	Homemaker	
31	Samuel Wright	56	M	Christian	Retired	
32	Chloe Scott	27	F	Buddhist	Artist	
33	Jonathan Adams	42	M	Muslim	Engineer	
34	Madison Baker	35	F	Hindu	Teacher	
35	Christopher Evans	29	M	Jewish	Student	
36	Isabella Green	40	F	Sikh	Businesswoman	
37	Matthew King	45	M	Christian	Farmer	
38	Abigail Lewis	33	F	Buddhist	Designer	
39	Christopher Walker	48	M	Muslim	Engineer	
40	Victoria Hall	26	F	Hindu	Student	
41	Isaac Allen	53	M	Jewish	Businessman	
42	Grace King	37	F	Sikh	Homemaker	
43	Samuel Wright	57	M	Christian	Retired	
44	Chloe Scott	28	F	Buddhist	Artist	
45	Jonathan Adams	43	M	Muslim	Engineer	
46	Madison Baker	36	F	Hindu	Teacher	
47	Christopher Evans	30	M	Jewish	Student	
48	Isabella Green	41	F	Sikh	Businesswoman	
49	Matthew King	46	M	Christian	Farmer	
50	Abigail Lewis	34	F	Buddhist	Designer	

Tres clases de miras se emplean para las nivelaciones. La de tablilla corrediza, la graduada ó inglesa y la que ha sido modificada en Francia por Mr. Bourdaloue que llama *mira parlante*.

La mira inglesa no tiene tablilla y está dividida su altura en partes negras y blancas, con grandes números para leer las divisiones desde el punto en que se dirige la visual.

La mira parlante tiene generalmente tres metros de altura y á veces hasta seis metros; está dividida análogamente á la inglesa. Las divisiones comprenden 20 centímetros cada una; cada division alternada de estas lo está en otras 5 partes de 0,04 cada una, pintadas de blanco y encarnado, que ocupan solo la mitad del ancho de la mira, el cual es de 0,12; en la otra mitad se pinta con grandes cifras negras el número que indica el de grupos que hay debajo y que ha de completarse con la lectura de la fraccion de grupos correspondientes. Los de orden par están en la mitad de la derecha y los impares á la izquierda.

Por las dificultades que podia tener para la lectura la division de 20 en 20 centímetros, solo indica cada número la mitad de la altura de mira correspondiente, y se leen las divisiones pequeñas como si estas fuesen solo de 20 milímetros. Así la suma de dos lecturas consecutivas hecha para compensar los errores del nivel, segun se esplicó al hablar de este, da la nivelada media sin que haya que dividir esta sumia por dos, como cuando se obtiene la altura en su verdadera numeracion. Vamos á esplicar un ejemplo de su uso.

Si AB (Fig. 53) es la línea de nivel que marca 0,7 para los centímetros, se ve que la línea AB abraza dos divisiones enteras DD , que se cuentan por dos centímetros cada una, total 0,74. Para los milímetros se ve que aproximadamente corta

la AB á los $\frac{2}{3}$ la division D'' ó $\frac{2}{3} \times 0,020$ ó $\frac{1}{3} \times 0,04 = 0,013$

cantidad que hay que añadir á la medida anterior.

Si se da vuelta al nivel y anteojo para hacer una segunda

nivelada dará otra línea $A'B'$, que si estuviese á los $\frac{3}{4}$ de la división D'' , tendremos, procediendo como anteriormente, 0,775. Pero estos números, segun se dijo, no representan por el sistema seguido en la numeracion de la mira sino la mitad de las alturas, y el término medio de estas será la suma de las anteriores ó 1,^m528.

Es conveniente que el peon que tenga la mira lleve una plomada para colocar esta vertical.

Observaciones.

Las miras de tablilla son las mas usuales y en ellas no es indiferente la disposicion de las divisiones ó cuarteles de color. Cuando la línea de separacion del blanco y negro es horizontal, resulta que la cerda se confunde con ella y es mejor dividir la tablilla en cuatro rectángulos y pintarlos alternativamente de blanco y negro ó de blanco y encarnado; así se destaca mejor la cerda horizontal.

Se ha ensayado una mira *parlante* micrométrica por Mr. Dupré en la cual se propone hacer que pueda apreciarse con ella menos de un milímetro, aplicando un sistema de nonius, y que sirva para emplearla con el nivel de agua.

Estados de nivelacion.

Los datos que se obtienen de las nivelaciones pueden anotarse de dos modos. Uno de ellos, el que mas generalmente se emplea, es llevar un estado con casillas, segun los modelos que se indicarán despues, y el otro es ir anotando los datos en un croquis.

Ambos métodos pueden emplearse á la vez llevando el estado un ayudante y el croquis otro y de este modo se pueden confrontar los resultados obtenidos. En el croquis se anotan sobre una línea horizontal las distancias de las niveladas, y en ordenadas levantadas al final de estas, las diferencias de nivel de las niveladas de atrás y de adelante.

Es conveniente trazar esta línea de nivel en la parte inferior de la del terreno, ó lo que es lo mismo, suponer el plano de nivel en la parte inferior pues da un sistema de representa-

cion mas natural. Tambien seria conveniente referir un punto del perfil, por ejemplo, un extremo, al nivel del mar con el objeto de que los proyectos de carretera pudiesen aprovecharse reunidos para hacer la carta de alturas de una provincia ó país.

En el caso de emplear el eclímetro en las operaciones se anota en el croquis la pendiente que resulta sobre la línea que se traza para representar la del terreno, poniendo el signo mas si es subiendo, ó el menos si es bajando, á contar desde el punto de partida.

Para los perfiles transversales se procede de un modo análogo llevando estos en un estado ó croquis separado, referidos á los números marcados en el perfil longitudinal, ó bien en el mismo croquis que este, lo cual es mas fácil, cuidando de trazarlos en correspondencia con las verticales de los extremos de estacion.

En los tratados de geodesia se incluyen tablas para la correccion de las diferencias de nivel por efecto de la esfericidad de la tierra y la refraccion atmosférica; pero estos errores son despreciables en las distancias, que, segun se ha dicho, deben adoptarse en el trazado como máximas para las niveladas. Cuando las niveladas de atrás y adelante son de 30 metros, la diferencia producida por los dos efectos ó sea la elevacion del nivel aparente al verdadero, es solamente de 0,0004; para 100 metros es de 0,0007.

Las tablas para proyectos y nivelaciones compuestas por el ayudante de caminos D. Jacinto Larrua, publicadas en 1853, serán muy útiles cuando hayan de verificarse estas operaciones. Consta de tablas de reduccion de distancias al horizontal dispuestas en 3 séries. La 1.^a entre las distancias de 1 á 20 metros de 25 en 25 centímetros y diferencias de 1 á 6 metros de 125 en 125 milímetros. La 2.^a desde 21 á 60 metros de distancia de metro en metro y de 25 en 25 centímetros; las alturas de 1 á 6 metros. La 3.^a desde 60 á 140 metros de 2 en 2 metros y altura de 1 á 6 metros de 25 en 25 centímetros. Las tablas de curvas de ante proyectos están calculadas para radios

de 50 á 10000 metros calculando las cuerdas y los senos de minuto en minuto.

A continuacion se insertan modelos para operaciones de nivelacion. El número 1.º es el indicado generalmente en varios tratados. El número 2.º es el adoptado para las prácticas de los alumnos de la escuela especial de ingenieros de caminos canales y puertos.

El ingeniero D. Angel Mayo ha redactado un cuaderno en que se incluyen las correcciones que exigen los principales instrumentos que se emplean en los proyectos, el cual se ha litografiado. Este trabajo es muy útil y presenta con mucha claridad y detalles los diferentes casos de correccion que pueden ocurrir.

N.º 1.

Modelo del estado de nivelacion.

Num. de las estaciones	Longitud horizontal entre los puntos de nivelacion	Nums. de órden y designacion de los puntos de nivelacion	Cotas referidas a los planos parciales de nivelacion.				Cotas referidas al plano general.	Cotas de los planos parciales de nivelacion referidas al plano general.	OBSERVACIONES.	
			COTA DE ADELANTE.	COTA DE ATRAS.						
			Cotas observadas directamente.	Cotas observadas directamente.	Medias.	Medias.				
			Medias.	Medias.						

Quando las operaciones se hacen con el escímetro, las casillas referentes a las cotas se sustituyen por otras en que se indica la pendiente subiéndolo ó bajando.

TERCERA SECCION.

MOVIMIENTO DE TIERRAS Y ROCAS.

Cubicacion de desmontes y terraplenes.

Superficies que limitan un trozo de carretera comprendido entre dos perfiles.

Cuando se redacta el proyecto de una carretera es necesario calcular el movimiento de tierras que habrá en él, es decir, el volúmen de los desmontes y los terraplenes. Estos se obtienen por medio de los datos adquiridos con los perfiles longitudinales y transversales.

Las formas irregulares del terreno hacen que no sea posible hallar con una exactitud matemática los volúmenes, como sucedería si estuviese terminado aquel por superficies regulares.

Para hallar los volúmenes referidos, se considera dividido el camino en pequeños trozos terminados por perfiles transversales, en los cuales se da la forma de las superficies que componen la carretera, y por superficies circunscritas al terreno aproximándose lo mas posible á la forma de este. Las superficies indicadas pueden considerarse engendradas por rectas, que moviéndose paralelamente á sí mismas y al plano vertical, que pasa por el eje del camino, se apoyan en las líneas de dos perfiles consecutivos.

Para dar al camino las pendientes que deben quedar con arreglo á las condiciones que se han estudiado antes, es necesario desmontar ó terraplenar.

Cotas rojas y negras. Puntos de paso.

El plano de la carretera ó plano rasante se indica en el perfil longitudinal por líneas rojas, cuya inclinacion es la que tenga la pendiente adoptada en cada rasante. Cuando estas líneas quedan por la parte superior del terreno, habrá que terraplenar, y cuando sean inferiores, desmontar.

Veamos cuáles son las superficies que terminan el volúmen comprendido entre dos perfiles transversales contiguos, en los diferentes casos que pueden ocurrir.

Supongámos que AB (Fig. 34) representa la proyeccion horizontal del eje y a, b, c etc., los perfiles transversales adaptados al plano horizontal.

Prescindiremos de las cunetas y caja del firme (1), lo cual simplifica los cálculos, y el movimiento de tierras que producen, no hay dificultad en calcularlo separadamente por largas longitudes, pues las dimensiones de la caja son generalmente una cantidad constante en toda la carretera, y respecto á las cunetas puede hacerse el cálculo por grandes trozos sin error de consideracion. Además que á veces no hay necesidad de calcular el movimiento de tierras incluyendo la caja y cunetas por ajustarse separadamente por unidades lineales.

Si dos perfiles consecutivos a y b están ambos en desmonte, el trozo comprendido entre ambos lo estará tambien.

En este caso, las superficies que terminan el trozo entre dos perfiles serán: 1.º el plano rásante $rrrr$; 2.º los planos de los taludes rt, rt , suponiendo que no varia la inclinacion de estos de un perfil al otro, pues en este caso serian superficies alabeadas; y 3.º las superficies alabeadas formadas por rectas paralelas al plano vertical que pasa por el eje AB del camino, suponiendo que se apoyan estas sobre las líneas tt que terminan el terreno.

En el caso de que un perfil b esté en desmonte y el siguiente c en terraplen la superficie alabeada que se supone determina el terreno $tt't'$, corta al plano rásante $rrr'r'$ segun una curva que marca el paso del desmonte al terraplen. Se da á esta el nombre de línea de paso y se considera como compuesta de rectas. La parte comprendida entre el perfil b y la línea de paso se termina por las superficies ya indicadas en el caso anterior. La comprendida desde la línea de paso al perfil c , está termi-

(1) Estas partes del camino se describirán mas adelante.

nada por el plano rasante, por el del terreno y por los que forman los escarpes del terraplen.

Cuando el trozo comprendido entre dos perfiles c y d está en terraplen se halla este terminado por los planos rasantes, por los del terreno inferior y por los que forman los escarpes del terraplen. Si la inclinación de estos no es la misma en ambos perfiles serán entonces superficies alabeadas.

Si, como se indica, el perfil d está en terraplen y el e parte en desmonte y parte en terraplen, las superficies que terminan los sólidos serán la combinación de las anteriores, y lo mismo sucederá en el caso en que dos perfiles e y f consecutivos esten parte en desmonte y parte en terraplen; y en fin cuando uno solo lo está y el siguiente en desmonte.

En el caso de los perfiles e y f puede suceder que la parte en ladera de uno de ellos esté inclinada en un sentido y en otro la del perfil siguiente; en este caso habrá líneas de paso, no solo en el sentido longitudinal del camino como dijimos antes, sino también en el transversal, para el paso de la parte en desmonte de un perfil al terraplen del otro y viceversa.

En la figura 35 se representa una sección dada por un plano vertical que pasa por el eje del camino; AB es el plano á que se refiere la nivelación. Si AB estuviera por la parte inferior del trazado, se reducirán á un cambio de signos las variaciones que habrían de hacerse en las fórmulas. CD es el plano rasante, $EHFY$ la línea del terreno, H el punto de paso.

A las ordenadas AE , GH , BY , de los puntos del terreno se da el nombre de cotas negras, á las partes de estas comprendidas desde el plano de nivel AB á los puntos de rasante, como AC , GH , LM , BD , cotas del proyecto y á las CE , FM , YD , diferencias entre las primeras, *cotas rojas*, por representarle generalmente con tinta de este color. En los puntos de paso H la cota roja es cero. También pueden llamarse cotas de desmonte ó terraplen porque dan las alturas de estos.

Conocidas las cotas puede obtenerse la expresión de la pendiente absoluta de las rasantes y la referida á la unidad de longitud. Para obtener la primera basta restar las cotas extremas

de cada rasante. Si se tira CN paralela á AB , la altura DN representará la pendiente absoluta: la pendiente por unidad se obtiene dividiendo la pendiente absoluta por la longitud.

Puede obtenerse el valor de la pendiente absoluta en funcion de las cotas negras y rojas del modo siguiente:

$$DN = BN - BD = AC - BD = AE - CE - (BY + DY) = AE - CE - BY - DY$$

Representando por P la pendiente, por N y C las cotas negra y roja del punto E , y por N' y C' las del punto Y , se tendrá sustituyendo en la ecuacion anterior

$$P = N - C - N' - C' \quad (1)$$

Siendo p la pendiente de la rasante por unidad de longitud, d la distancia horizontal de un punto F del terreno al extremo E , LM ó cota del proyecto será $N \mp dp$, el signo superior si sube, y el inferior si baja el extremo. La cota roja $YM = N' - (N \mp dp)$ siendo N'' la cota negra del punto Y ó $(N \mp dp) - N''$. El primer caso si la rasante del proyecto es superior al terreno natural y el segundo cuando sea inferior.

Dada la cota roja de un punto se halla la de otro siguiente por la ecuacion (1) despejando C' , pues en este caso se suponen conocidas las demas cantidades que entran en la ecuacion. Los signos mas ó menos indican si la pendiente sube ó baja; cuando á C afecta el signo positivo el terreno es superior á la rasante y hay que hacer desmonte, y si el negativo, por el contrario, hay que hacer terraplen;

$$C' = (N \pm P \pm C) - N'$$

Este cálculo suele necesitarse cuando hay que rectificar una parte del proyecto. Al tiempo de hacer la nivelacion puede de-

terminarse las pendientes y cotas rojas de la parte rectificadas, formando un estado con los datos necesarios. De este modo se abrevian los trabajos de gabinete y se pueden hacer las operaciones convenientes sobre el terreno en los desmontes ó terraplenes que sean excesivos.

Si se quiere hallar la cota de un punto y la pendiente no fuese uniforme entre este y el primero á que ha de referirse, se determina antes las cotas del punto de inflexion.

Modelo del estado que debe formarse.

1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	NIVELACIONES.		Cota que se busca. $C' = (N \pm P \pm C) - N'$
Número de las señales entre las estaquillas.	Distancia entre las estaquillas.	Bajando, sig- no \rightarrow , subien- do \leftarrow , para las distancias de la columna 2. ^a	Desmonte $+C$; Terrapien $-C$, ó cota roja al extremo de la pendiente.	Atrás N ó cota ne- gra.	Adelante N' idem.	
1	)	0,00	-4,62))	
2	15	0,51	-3,29	2,56	0,72	
3	15	0,51	+2,56	6,26	0,10	$0,51 + 6,26 + 2,56 = 9,15$
4	18	0,61	-0,88	0,89	3,32	

El orden que debe seguirse en el trazado de las cotas es el de marcarlas primero en el perfil longitudinal y referirlas después al punto correspondiente del transversal: así se fija la posición de este perfil y se calculan después sus diferentes cotas rojas.

Cálculo
de las líneas
de paso.

Al tratar de las diferentes formas que pueden tener los perfiles transversales y de las superficies que terminan los sólidos de desmonte y terraplen, se dijo que la intersección del plano rasante del camino (no teniendo en cuenta cunetas ni caja) con las superficies del terreno, daba las líneas de paso, que indicaban la separación del desmonte y terraplen.

Para el cálculo del movimiento de tierras, se supone dividido el trozo de camino comprendido entre dos perfiles transversales en otros volúmenes parciales comprendidos entre dichos perfiles y planos verticales paralelos al eje. Estos planos se hacen pasar por todos los puntos en que hay encuentro de líneas, bien sea del terreno ó del camino. Tales son, la línea inferior de los taludes, intersecciones de las superficies del terreno, arista superior de los terraplenes y puntos de paso. En el caso de que se hubieran de calcular los desmontes de cunetas y caja, se complica la construcción, pues hay que hacer pasar planos verticales por sus aristas superiores é inferiores.

De este modo se obtienen sólidos terminados por caras cuyas formas son triángulos, trapecios, cuadriláteros y paralelogramos. En las curvas del camino, los planos verticales se convierten en superficies cilíndricas de eje vertical, y las líneas, que se ha supuesto rectas en los casos anteriores, en hélices, que en el desarrollo del cilindro se convierten en rectas; pero siendo los radios considerables se supone para la división, que estas superficies son planos, para lo cual se trazan los perfiles transversales mas próximos.

Cada uno de los planos verticales paralelos al eje corta á las líneas de paso en un punto, y estos unidos entre sí determinan dicha línea.

Pueden determinarse los puntos de paso por el cálculo de

sus distancias á las secciones transversales, entre las cuales se hallan comprendidos; ó tambien gráficamente adaptando al plano horizontal las dos rectas, que contienen en su interseccion estos puntos. Veamos como se determinan por el primer método.

El punto de paso en el plano vertical, que pasa por el eje, está dado inmediatamente en el perfil longitudinal y es aquel en que la rasante corta á la línea del terreno. No hay mas que proyectar este punto sobre la línea media que corta á todos los perfiles transversales, para obtener el punto de paso en cualquiera de las intersecciones producidas por planos verticales paralelos al eje.

Sea (a) (Fig. 36) la seccion longitudinal paralela al eje dada por un plano vertical entre dos perfiles transversales Ar , Bt' y adaptada en (b) al plano horizontal. Esta seccion longitudinal se supone dada por el punto r interseccion del talud del desmorte con el plano rasante; t' será la interseccion del plano vertical con la superficie alabeada del terreno, r' la interseccion del mismo plano con el plano rasante.

El punto p interseccion de las dos líneas anteriores, es el de paso, cuya posicion quiere fijarse por su distancia horizontal pd á una de las secciones transversales.

Los dos triángulos semejantes tpr , $t'pr'$ dan $tr : t'r' :: pd : pd'$ ó $tr : tr + t'r' :: pd : pd + pd' = dd'$

$$pd = \frac{tr \times dd'}{tr + t'r'}$$

Lo que dice, que la distancia de un punto de paso al perfil transversal que se ha elegido, es igual á la cota roja correspondiente á este perfil multiplicada por la distancia horizontal entre los dos transversales y dividido el producto por la suma de las cotas rojas en ambos perfiles.

Tambien puede hallarse la distancia del punto de paso á la seccion transversal en funcion ó valor de las pendientes de la rasante y de la línea del terreno, cuando esta es conocida.

En el caso de la fig. 36 en que dichas pendientes están en sentido inverso, si se representa por P la pendiente de la rasante rr' del camino y por P' la de la línea tt' del terreno, ambas por unidad, se tendrá

$$dr = P \times dp, \quad td = P' \times dp$$

$$dr + td = (P + P') dp, \quad dr + td = tr$$

$$dp = \frac{tr}{P + P'}$$

ó sea la distancia horizontal igual á la cota roja dividida por la suma de las pendientes por unidad.

Si ambas pendientes van en el mismo sentido

$$dp = \frac{tr}{P - P'}$$

Las líneas de paso se marcan generalmente con tinta azul para distinguirlas con facilidad.

Métodos
gráficos pa-
ra hallar los
puntos de
paso

El método mas expedito para hallar los puntos de paso es el que suministra la geometría descriptiva y se reduce á encontrar las intersecciones de las superficies planas con otras alabeadas. En este caso, las primeras son los planos verticales paralelos al eje y los que forman los taludes ó escapes del desmonte ó terraplen, y las alabeadas las que se supone forman el terreno.

La fig. 37 representa una sección longitudinal dada por el eje del camino $A'B'$; At es la línea del terreno y rr' la rasante, las cuales son producidas por las intersecciones del plano vertical de la sección con el terreno y con el plano rasante.

En la proyección horizontal de la figura, se indican las secciones transversales adaptadas al plano horizontal girando sobre las Ar y Bt .

Si por los puntos de encuentro de las varias líneas que forman los contornos de ambos perfiles ab , cd , se hacen pasar planos verticales paralelos al eje, como se ha indicado ya, cortarán al terreno según líneas quebradas, las cuales se ha dicho que deben considerarse como rectas y generatrices de la superficie alabeada del terreno. Estas líneas encuentran al plano rasante en puntos que son los de paso, y unidos todos entre sí dan las líneas de paso.

Tomemos como ejemplo el punto a , intersección del talud; se tira $g'g'$ que representa la traza horizontal del plano vertical paralelo al eje; este plano corta en el perfil de la izquierda al terreno en el punto g' , cuya altura desde el plano de nivel AB será $A'g'$. Esta altura se llevará desde A á g en la proyección vertical; lo mismo se hará en el perfil de la izquierda respecto del punto g' , llevando la altura $g'B''$ desde B á g y la línea gg será la intersección del plano vertical referido con el terreno, y su encuentro p' con la rasante, dará un punto de paso, que proyectado horizontalmente será p'' . Lo mismo se hará por los demás puntos e , c , b , etc. procediendo como se ha explicado para el plano gg . Uniendo los diferentes puntos que se obtengan resultarán las líneas de paso. El punto medio pp'' está dado por la sección que pasa por el eje.

Para determinar la proyección horizontal de la intersección del talud ac con la superficie del terreno, obtenido ya el p'' , que corresponde al punto de paso de la intersección referida, se procede del modo siguiente:

Siendo el punto c el extremo de esta intersección se proyectará en el plano de referencia en el punto c' y unido este punto con el de paso p'' , la línea $c'p''$ representa la intersección del talud con el terreno. Esta línea no sería recta, sino en el caso de que la superficie del terreno fuese un plano; sin embargo, para mayor sencillez se supone que lo es, sin que resulte por esto gran error en la práctica. En el caso de que quisieran hallarse puntos de esta curva se trazarian planos auxiliares paralelos al eje entre los puntos a y c , y se hallarian las proyecciones de los puntos de intersección como se explicó para la línea

$g' g'$. Del mismo modo se procederá para los demas taludes ó escarpes.

En el caso de tener marcadas en el perfil las cunetas, no se uniría el punto c' con el p'' , sino con el que se hubiese encontrado correspondiente á la arista interior de la solera de la cuneta, por ejemplo, con el punto o , que se indica en la figura. Pero el error que se comete es poco sensible y en nuestro concepto es mas conveniente simplificar de este modo el cálculo de los desmontes y terraplenes.

Cubicacion

Para determinar el volúmen de estos ó su cubicacion, hay varios métodos. Los unos llamados exactos y los otros aproximados, que son mas espeditos que los primeros. En aquellos hay que hacer descomposiciones y cálculos mas numerosos, empleándose por consiguiente un tiempo mayor con poca utilidad. Ademas los métodos llamados exactos tampoco lo son, rigurosamente, pues se substituyen á las superficies del terreno otras figuras geométricas, que solo tienen cierto grado de aproximacion. Puede obtenerse la suficiente exactitud en la práctica disminuyendo convenientemente la separacion ó distancia entre dos perfiles consecutivos.

Generalmente se emplean los métodos aproximados, que son dos; uno el del área media de las secciones estremas, y otro el del área de la seccion media. Describiremos estos dos métodos como los mas frecuentemente empleados, sin perjuicio de indicar tambien los exactos.

Método del área media de las secciones estremas

El método llamado del área media de las secciones estremas, consiste en multiplicar esta área media de dos secciones transversales contiguas por la distancia horizontal que las separa. Examinemos diferentes casos que se pueden presentar.

Primer caso: cuando el sólido es todo en desmonte ó en terraplen. Sea l la distancia entre las secciones transversales del camino, d y d' las superficies de estas, cuando esten en desmonte, y t y t' cuando estén en terraplen, se tiene para el volúmen comprendido entre dos de las primeras

$$v = \frac{d+d'}{2} l$$

y para el comprendido entre las segundas

$$v = \frac{t+t'}{2} l$$

Segundo caso: cuando entre dos perfiles, parte del camino está en desmante y parte en terraplen, pero de modo que se correspondan estos como en la fig. 58. Se procede separadamente para cada parte como se ha indicado antes: así para el desmante se tendrá:

$$v = \frac{d+d'}{2} l$$

y para el terraplen

$$v = \frac{t+t'}{2} l$$

Tercer caso: cuando no se correspondan las superficies de desmante y terraplen (Fig. 59).

Si se representa por l_1 y l_2 , l_3 y l_4 las longitudes de las partes en desmante y en terraplen que representamos por t y d , t' y d' y que se consideran proporcionales á la total, se tendrá:

$$l_1 = \frac{t}{t+d'} l; \quad l_2 = \frac{d}{t+d'} l; \quad l_3 = \frac{t'}{t'+d} l; \quad l_4 = \frac{d'}{t'+d} l$$

Los volúmenes para la parte de la izquierda de la figura serán:

$$Terrap. = \frac{tl_1}{2}; \quad Desm. = \frac{dl_2}{2}$$

y para la parte de la derecha,

$$Terrap. = \frac{t'l_3}{2}; \quad Desm. = \frac{d'l_4}{2}$$

y substituyendo los valores de l_1 , l_2 , etc.

$$\text{Izquierda. Terrap.} = \frac{t^2}{t+d'} \frac{1}{2}; \quad \text{Desm.} = \frac{d^2}{t+d'} \frac{1}{2}$$

$$\text{Derecha. Terrap.} = \frac{t'^2}{t'+d} \frac{1}{2}; \quad \text{Desm.} = \frac{d'^2}{t'+d} \frac{1}{2}$$

Cuarto caso. Cuando uno de los perfiles está todo en desmonte ó terraplen y el otro parte en desmonte y parte terraplen (Fig. 40) Se divide por la línea *ab* el perfil que está todo en desmonte ó todo en terraplen, en dos partes *d'* *d''*. La parte de la izquierda se calculará como se esplicó para el primer caso y su volúmen será

$$\frac{d+d'}{2} l$$

La parte de la derecha como en el tercer caso y se tendrá:

$$\text{Terrap.} = \frac{tl_1}{2}; \quad \text{Desm.} = \frac{d'l_2}{2}$$

$$\text{Siendo} \quad l_1 = \frac{t}{t+d'} l; \quad l_2 = \frac{d''}{t+d''} l$$

En las curvas se toman para las distancias *l l*, etc., las longitudes en proyeccion horizontal de las que unen los centros de gravedad de las superficies en desmonte ó terraplen correspondientes. Siendo el radio de las curvas considerable y de corta longitud dichas distancias, bastará tomar estas sobre la misma curva del eje del camino.

Si una de las secciones entre las cuales está comprendido el volúmen de desmonte ó terraplen es mas ancha que la otra, tirando uno de los planos verticales paralelos al eje por el estremo del mas estrecho, habrá de esceso una pirámide cuyo volúmen será $\frac{b}{3} l$; siendo *b* la base y *l* la distancia entre perfiles.

Cuando las áreas son todas en desmonte ó terraplen en ambos perfiles transversales, se demuestra por el cálculo que el método de aproximación dá un resultado idéntico al que resulta

cuando se emplean las fórmulas del método exacto. (Endres, *Manual del conductor de puentes y calzadas*, pág. 525.)

Para que sea uno mismo el denominador de las fórmulas halladas para los volúmenes y el de la espresion de la pirámide, se toma para dicha espresion $\frac{b}{2}l$, y el error es de $\frac{1}{6}$ de la base de dicha pirámide, cuyo exceso no es de consideracion y puede despreciarse. Si se quiere no obstante hacerlo con exactitud, se calcula separadamente esta pequeña base y se resta $\frac{1}{6}$ del área que se obtenga.

Cuando el volúmen de los trozos comprendidos entre dos perfiles transversales es todo en desmonte ó en terraplen, la seccion paralela equidistante que se trace entre los dos perfiles extremos, se puede suponer proporcional á ellos. Si en el trapecio (Fig. 41) a y b representan las longitudes proporcionales á las áreas de los perfiles extremos, y l la distancia entre ellos, la paralela c á la primera línea será proporcional al área de dicha seccion media. El área del trapecio total cuya espresion es $\frac{a+b}{2}l$ es proporcional al volúmen que representa del sólido comprendido entre estos perfiles a y b , cuyo valor se ha espresado por las fórmulas anteriores.

Cuando uno de los perfiles transversales está en desmonte y el otro en terraplen (Fig. 42) siendo las líneas a y b proporcionales á las áreas de los perfiles transversales que estas líneas representan, l_1 l_2 las alturas de los triángulos proporcionales á a y b , los volúmenes de d y t estarán representados por el área de estos triángulos.

El punto p no debe en este caso confundirse con los puntos de paso que se esplicaron anteriormente, pues solo son puntos de encuentro, determinados como acaba de esplicarse, para obtener un medio aproximado.

El método de la seccion media entre las áreas extremas, propuesto por el ingeniero Mr. Noel en una memoria inserta en

Método de la seccion media.

los *Anales de puentes y calzadas* de 1836, consiste en sustituir á la semi-suma esplicada antes el área de una seccion transversal equidistante de las estremas. La espresion del volúmen del sólido comprendido entre estas, seria en este caso el área de la seccion media por la distancia entre las estremas. Para que sea suficientemente exacto este método, es necesario que estén bastante próximos los perfiles á fin de que no haya gran diferencia en la forma del terreno.

Método llamado exacto

Para la cubicacion de desmontes y terraplenes hay que verificar la descomposicion en sólidos parciales del volúmen comprendido entre dos perfiles transversales, por medio de planos verticales paralelos al eje, trazados por todos los puntos de encuentro de líneas.

Cada sólido ó volúmen parcial estará formado por los dos planos verticales al eje; por la parte correspondiente de los perfiles transversales comprendidos entre estos, si son en desmonte ó en terraplen, ó entre ellos y las líneas de paso; por el plano rasante del camino y por la superficie del terreno. Los sólidos de los costados estarán terminados por los planos verticales, por la parte correspondiente de los perfiles, por la superficie del terreno y por los planos de los taludes.

En el caso en que se considerasen las cunetas y caja, resulta mucha mayor complicacion de sólidos por hacerse pasar, como se ha dicho ya, planos verticales por todas las aristas; de suerte que, en el caso de ir en desmonte todo el camino, habria que determinar seis sólidos mas, lo que complica mucho el cálculo; así es que debe simplificarse, como hemos ya dicho antes, determinando por separado cunetas y cajas.

Las proyecciones horizontales de estos sólidos pueden ser trapecios, cuadriláteros, paralelógramos ó triángulos. Este último caso tiene lugar en los sólidos laterales que terminan los taludes. En cada sólido se toma por base la proyeccion horizontal indicada y por alturas las cotas rojas en los ángulos.

Consideremos primero el caso de ser el sólido un prisma triangular (Fig. 43). El volúmen de un prisma triangular se descompone en tres pirámides: la base es a y las alturas son las perpendiculares á esta tiradas desde i , d , e .

Caso de ser la base un triángulo.

El plano B normal á los aristas divide el prisma en otros dos, cuyos volúmenes serán el producto del área B por la suma de alturas ó distancias respecto de a y b . La suma de estos volúmenes ó el total será

$$v = B \frac{c + c' + c''}{3},$$

siendo c , c' , c'' las longitudes totales ó distancias entre las caras a y b . Esto indica que el volúmen de un prisma triangular es igual al área de la seccion normal á las aristas (ó proyeccion del prisma sobre este plano), multiplicada por el tercio de la suma de las mismas. En el caso de los desmontes y terraplenes la base a es el plano rasante, la b la superficie alabeada del terreno que se sustituye por un plano, y c c' c'' las cotas rojas.

Si $c=0$, $c''=0$, resultará $v = \frac{1}{3} Bc$, que es el volúmen de una pirámide.

Consideremos el caso en que la base sea un cuadrilátero y los demas que de este se deducen.

Caso en que sea la base del sólido un cuadrilátero.

Sea (Fig. 44) P un cuadrilátero que representa el plano rasante, B la proyeccion del sólido sobre un plano horizontal, $abcd$ la superficie alabeada del terreno cuyas directrices son ae y bd . Si por los puntos a , b , d , y por los a , e , d , se hacen pasar dos planos, se cortarán segun la línea ad . Si se hacen pasar otros dos planos bed y abe , su interseccion será bc . La pirámide que forman estos planos puede tener su vértice en a y ser bed su base. La superficie alabeada divide en dos partes equivalentes á la pirámide, lo cual puede probarse tirando un plano paralelo á las líneas ab y ed ; las líneas mq y np de la interseccion serán paralelas á ab . La diagonal del paralelógramo, interseccion del plano y la pirámide, divide en dos partes proporcionales á los lados ae y bd y en el triángulo

abd se tiene $dn : na :: dp : pb$ } $dp : pb : em : ma$
 en el aed $dn : na :: em : ma$ }

La diagonal indicada, que es la generatriz de la superficie alabeada, divide al paralelogramo en dos partes iguales, lo que se demuestra para todas las generatrices, y por consiguiente la superficie alabeada divide en dos partes iguales la pirámide.

El volúmen total comprendido entre la superficie alabeada superior y la proyeccion horizontal B , estará compuesto de dos prismas triangulares abe , l/h y ebd , fhg , que representaremos por p y p' , y ademas, del volúmen de la pirámide superior, que llamaremos T , ó del correspondiente á los prismas $abdlfg$ y $adelhg$, que se designarán por P y P' , menos la mitad de dicha pirámide, esto es:

$$v' = p + p' + \frac{1}{2}T, \quad v' = P + P' - \frac{1}{2}T$$

sumando
$$V' = \frac{P + P' + p + p'}{2}$$

Para cada uno de estos prismas se está en el caso de lo demostrado para el caso de ser triangular, y siendo B_1, B_2, B_3, B_4 la superficie de sus bases, a, a', a'', a''' las alturas del prisma total, b, b', b'', b''' las alturas comprendidas entre la proyeccion B y dicho plano, se tendrá para el volúmen total

$$v' = \frac{1}{2} \left(B_1 \frac{a+a'+a''}{3} + B_2 \frac{a+a'+a''}{3} + B_3 \frac{a+a'+a''}{3} + B_4 \frac{a'+a''+a'''}{3} \right)$$

El volúmen comprendido entre el plano rasante P y la proyeccion B será

$$v'' = \frac{1}{2} \left(B_1 \frac{b+b'+b''}{3} + B_2 \frac{b+b'+b''}{3} + B_3 \frac{b+b'+b''}{3} + B_4 \frac{b'+b''+b'''}{3} \right)$$

La diferencia entre v' y v'' será el volúmen del sólido comprendido entre el plano rasante P y la superficie alabeada ó

$$(1) \quad V = \frac{1}{6} \left\{ B_1(c+c'+c'') + B_2(c+c'+c''') + B_3(c+c'+c''') + B_4(c'+c''+c''') \right\}$$

Cuando B en vez de ser un cuadrilátero sea un trapecio se tendrá

$$B_1 = B_3; \quad B_2 = B_4$$

Caso de ser la proyección un trapecio.

y la fórmula anterior (1) se convertirá en:

$$(2) \quad V = \frac{1}{6} \left\{ B_1(2c+2c'+c''+c''') + B_2(c+c'+2c''+2c''') \right\}$$

Si el trapecio se convierte en un rectángulo, m' y m'' , n' y n'' (Figura 44) serán paralelas dos á dos y las segundas perpendiculares á las primeras. La diagonal dividirá el rectángulo en

Caso de ser la proyección un triángulo.

dos triángulos cuyas áreas serán $B_1 = \frac{1}{2}mn$, $B_2 = \frac{1}{2}m'n'$ y

siendo $B_1 = B_2$ resulta $m = m'$, $n = n'$. Se obtendrá sustituyendo los valores de B_1 y B_2 en la fórmula (2) y representando el área $m \times n$ por B .

$$V = B \frac{c+c'+c''+c'''}{4}$$

Haciendo en las fórmulas una, dos ó tres aristas iguales á cero se obtienen todas las fórmulas de los volúmenes parciales.

Si se quiere aplicar la fórmula (2) al caso en que hay líneas de paso, se harán cero las alturas en estos puntos, lo que equivale á suponer que todos estos se hallan en una recta, lo cual no es exacto. El modo de obtener las fórmulas exactas para el caso de los puntos de paso, puede verse en el *Manual de caminos de Gayffler*, nota de la pág. 105, pero es mas espedito y

suficientemente exacto valerse de los métodos aproximados es-
plicados antes.

Tablas para
los cálculos
de desmon-
tes y terra-
plenes.

Para facilitar los cálculos del movimiento de tierras se han
compuesto tablas que abrevian las operaciones.

Las tablas de Coriolis de 1836 están comprendidas entre
límites pequeños, y además tienen el inconveniente de que es
necesario hallar gráficamente los perfiles transversales.

Las tablas publicadas hacia 1838 por la administración
francesa, son algo complicadas y poco expedito su uso.

El ingeniero Fourrier, con objeto de evitar el tener que ha-
llar las superficies de los perfiles transversales, estableció fórm-
ulas aplicables al caso de un terreno cuya pendiente transver-
sal fuese uniforme de cada lado del eje del camino. Para sim-
plificar, considera una línea media de compensación en la caja
del firme, en vez de tener esta en cuenta para los cálculos.

Las fórmulas que deduce están en función del ancho del ca-
mino, de la cota roja central, de la pendiente transversal del
terreno y de la correspondiente al talud del desmonte ó del ter-
raplen. Están calculadas las tablas de centímetro en centímetro
de altura y para anchos de perfil de 8 y 10 metros entre cune-
tas. También se establece el modo de pasar al caso en que sean
dos las pendientes transversales del terreno. Este método se
indica también en el *Manual de caminos de Gayffier*.

Las tablas gráficas dadas en 1843 por la administración á
los ingenieros de Francia, para calcular las superficies de des-
monte y terraplen en los caminos de hierro de dos vías, están
fundadas en principios que se explican en una memoria del in-
geniero Lalanne inserta en los *Anales de puentes y calza-
das*, 1846.

En estos mismos *Anales* se insertan las tablas calculadas
por Mr. Macaire para perfiles de 10 metros entre cunetas, ta-
ludes de 45° en desmonte y de 1 de base por 1,5 de altura en
los terraplenes; y cunetas de 1,5 metros de ancho.

Según el informe del ingeniero Mr. Lalanne, tienen estas ta-
blas el inconveniente de que es difícil retener la clave del mé-

todo. Son muchas las operaciones que hay que verificar y es necesario buscar cuatro números en las tablas, no siendo además aplicables sino á un solo ancho de cuneta, é inclinaciones determinadas de taludes.

En los referidos *Anales* año de 1849, están las tablas gráficas de Mr. Davaine que tambien critica Lalanne en los *Anales* de 1850, pues segun él no simplifican, como su autor supone, las formadas en 1843 por el mismo Lalanne, ni son aplicables cuando varia el talud. Además algunas líneas que son rectas en las tablas de 1843, son hipérbolas en las de Davaine, mas difíciles de construir con exactitud.

Las fórmulas propuestas en 1849 por el ingeniero Mr. Sallebert, solo sirven para el caso en que la seccion transversal del terreno se supone una línea recta en toda la estension del perfil. Las fórmulas están en funcion del ancho del perfil, inclinacion de taludes, cota roja central y seccion de las cunetas.

En la cuarta edicion de la obra de Sganzin, *Programa de un curso de construccion*, t. 4.º se incluye una coleccion de tablas para abreviar los cálculos de desmontes y terraplenes, recopiladas y arregladas por Lalanne, incluyendo las de Coriolis y otras publicadas hasta 1842. Comprenden solo las cotas de 20 en 20 centímetros para inclinaciones transversales del terreno de 0,05 en 0,05 y anchos de 4 á 12 metros entre las aristas interiores de cunetas.

Cuando en las secciones haya diferentes clases de terreno y sea necesario determinar separadamente sus volúmenes por la diferencia de costo que hay en el desmonte, se complican algo los cálculos. A veces se hace la cubicacion como si fuese terreno homogéneo y se asigna un precio medio á la unidad del desmonte.

El movimiento de tierras en la construccion de un camino en terrenos quebrados es una de las obras que mas hace subir á veces el costo, y por esto es necesario estudiar el modo de evitar que no se produzcan estos movimientos, sino, de la manera mas económica y conveniente que sea posible.

Equivalencia entre los desmontes y terraplenes.

Para esto es necesario que los trasportes se reduzcan á un mínimo, bien sea cuando las tierras de los desmontes se conduzcan para emplearlas en los terraplenes, ó cuando se formen con ellas caballeros. Se procura obtener equivalencia entre los desmontes y terraplenes, sin perjuicio del arreglo conveniente de las rasantes.

Para arreglar la cantidad de los desmontes y terraplenes de modo que se establezca la compensacion, hay necesidad de subir ó bajar el eje del camino, bien sea en el plano ó superficie vertical en que estaba trazado, ó desviándole de su direccion primitiva.

Pero antes de establecer esta equivalencia es necesario examinar si es mas conveniente el tomar las tierras de préstamo para todo ó una parte del terraplen y echar las tierras de los desmontes á un lado formando caballeros.

Para establecer la comparacion hay que ver cuál es el precio que resulta para las tierras conducidas desde el desmonte para cierto volumen de terraplen, comprendiendo el tiempo de carga. Si el precio de transporte de la unidad de desmonte que se tomare es p á la unidad de distancia, que puede ser el kilómetro, á la distancia D el precio será pD , mas el precio de la carga comprendido en p .

llamemos p' el precio de transporte cuando las tierras se toman del costado del terraplen para construir este: e' el costo de la escavacion para sacar las tierras, i la indemnizacion del terreno de donde se extraen estas, p'' el exceso de gasto por vaciar las tierras sobrantes del desmonte al costado de este en la cantidad equivalente á la que se emplea en el terraplen, a el costo del arreglo de estas tierras, i' el de indemnizacion del terreno que ocupen los caballeros de tierras sobrantes. El costo total del terraplen con tierras de préstamos, si se llama t su volumen y p el precio por unidad de distancia, será

$$Tp = p' + e + i + p'' + a + i'$$

Alguna de estas cantidades puede ser cero como i ó i' .

Se toman todas estas cantidades referidas á la unidad del volúmen ó al volúmen total, segun convenga.

Por medio de este cálculo pueden aproximadamente fijarse las distancias límites á que conviene conducir las tierras, lo cual fijará por consiguiente hasta qué punto debe exigirse la equivalencia: para encontrarla puede tantearse la pendiente oportuna haciendo mover algunas rasantes paralelamente á sí mismas en los perfiles transversales.

Aun empleando el cálculo y tablas que se indican luego, hay que establecer aproximadamente la compensacion por tanteos para no tener que rehacer con tanta frecuencia los cálculos, si no satisface el resultado que se encuentra.

Uno de los métodos que hay para calcular estas equivalencias consiste en determinar los volúmenes de desmonte y de terraplen dados por cada rasante fijada por tanteo, y hallando la diferencia entre ellos, igualar á cero: Despues se dan diferentes valores á las cotas rojas y se deducen por último ecuaciones que dan el de la cota roja central, y este valor indica lo que ha de subir ó bajar el extremo de la rasante, para establecer la compensacion.

Para abreviar las operaciones se han calculado tablas que dan á conocer lo que se ha de subir ó bajar la rasante. En ellas están calculados los términos constantes y los coeficientes relativos á la cota roja extrema de la rasante. Pueden verse estos cálculos en el *Manual de Gayffer*.

Los tablas publicadas en 1853 por Mr. Bony tienen por objeto el hallar directamente la superficie de desmonte y de terraplen equivalentes. Están calculadas para anchos de camino de 6 y 8 metros en terreno llano y en ladera; indicándose igualmente su aplicacion á otros anchos. Las fórmulas que sirven de base á estas tablas resuelven el problema siguiente:

Dada la pendiente del terreno en el perfil transversal y la inclinacion del talud ó escarpe del desmonte ó del terraplen, hallar la superficie de compensacion.

Forma de los
caballeros.

Cuando se forman caballeros con la tierra sobrante de los desmontes puede calcularse la forma mas conveniente que han de tener, para que su costo sea un mínimo. Las fórmulas dan en este caso para la longitud de la base, 15 veces la altura del trapecio que forman los frentes; esto cuando se emplean carretilas en el trasporte, que es el caso mas general. Esta diferencia entre la base y altura es menor en el caso de emplearse carros.

CUARTA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS AL PROYECTO DE UNA CARRETERA.

Trabajos de
campo y de
gabinete.

El proyecto de una carretera exige dos clases de operaciones; unas sobre el terreno, ó sean los trabajos de campo, y otras que constituyen el estudio de gabinete.

Los trabajos de campo se componen de los reconocimientos, tanteos, nivelaciones y demas operaciones relativas á la determinacion de todos los datos que han de servir para formar el proyecto, ya sea definitivo, ya solamente ante-proyecto cuando el estudio sea de importancia y el trazado ofrezca dificultades.

En los trabajos de gabinete, se ordenan y estudian los datos adquiridos, se ejecutan los cálculos y se dibujan los planos para formar el proyecto con los documentos que marcan los formularios aprobados por la Direccion de obras públicas en 19 de Diciembre de 1855 (1).

Reconoci-
mientos.

Carecemos, desgraciadamente, de una carta exacta y detallada de la Península que pudiera servir de guia en las primeras operaciones de reconocimientos y tanteos y con la que se evitarian muchas esploraciones y estudios del terreno, siempre

(1) Teniendo en cuenta la direccion de obras públicas las dificultades que presenta la redaccion de proyectos por los actuales formularios ha formado otros oyendo á los gefes de distrito y á la Junta consultiva los cuales es probable se publiquen pronto.

difíciles y prolijos y no pocas veces inútiles, por conducir á resultados inadmisibles, que de otro modo podrian preverse.

En los reconocimientos se aprecian aproximadamente las dificultades; pero á la vista se producen errores en las pendientes generales del terreno.

Pueden tomarse alturas generales en los proyectos de consideracion por medio del barómetro y llevar una brújula pequeña de alidadas para orientar algunos puntos principales. La estadía es tambien á veces muy útil en los reconocimientos. Debe formarse un croquis en que se anoten las alturas y distancias aproximadas; estas pueden apreciarse por el tiempo de marcha por la comparacion con carreteras próximas y por otros medios igualmente sencillos.

En los reconocimientos deben acompañar prácticos del pais que conozcan el terreno y puedan informar sobre los datos necesarios relativos á las crecidas de los rios y arroyos, pertenencias y valor de terrenos, y otros que puedan ser convenientes. Asimismo se anotan los relativos á la poblacion y estadística de riqueza de los pueblos, precios de jornales y de materiales y puntos donde estos últimos se encuentran. Deben recorrerse todos los sitios por donde se presume que puede ser conveniente el trazado, y si es posible en los dos sentidos. Para descubrir terreno se elijen las alturas naturales ó las de ciertos edificios como campanarios, castillos, etc.

Con los datos adquiridos en el reconocimiento se examina como primera aproximacion si el desarrollo será posible, escluyendo los puntos difíciles ó que no se juzguen convenientes y así se fijan los que deban ó no estudiarse.

Quando se hace anteproyecto, consta este de un perfil general á grandes niveladas, para cuya formacion es muy útil el eclímetro y la brújula, de perfiles transversales en los puntos notables y de los demas datos necesarios para ver si el desarrollo es posible. Estos estudios se hacen en diversas direcciones y por la comparacion de los distintos trayectos queda mas circunscrito el trazado que ha de elegirse, procediendo última-

Anteproyectos y proyectos.

mente á estudiar todas las líneas dudosas ya sea entre los puntos extremos ó bien en trozos parciales y presentando en algunos casos los diversos resultados á fin de que el gobierno elija.

En el proyecto definitivo hay que detallar todas las operaciones; las nivelaciones se hacen mas minuciosas, se completan los datos y se fijan con precision la clase y dimensiones de todas las obras y su precio. En el croquis y estado de que se ha hecho mencion al hablar del levantamiento de planos y nivelacion, se detallan los accidentes del terreno anotando la calidad de este en los perfiles.

Es conveniente dejar señalada en el terreno la traza del eje de la carretera, lo cual simplifica mucho el trazado de la obra cuando se procede á su ejecucion, pero es difícil que se conserven las señales cuando se tarda, como generalmente sucede, en realizar un proyecto.

Los perfiles transversales se toman en todos los puntos en donde haya algun cambio sensible en la configuracion del terreno, debiendo estar por consiguiente mas ó menos próximos segun la naturaleza de este. Su estension en los puntos de cambios notables debe ser mayor por si acaso hay necesidad de variar el eje del camino al verificar el proyecto para hacer alguna correccion, y cuando se representa el terreno por curvas horizontales, tienen que estenderse á toda la faja que abrace esta forma de representacion.

Deben tomarse con exactitud los perfiles de los rios y arroyos, y si es posible verificar sondeos, pues estos datos influyen mucho en los presupuestos de las obras.

La representacion del terreno en los proyectos puede hacerse por curvas horizontales y líneas de máxima pendiente, segun enseña el dibujo topográfico, ó escribiendo los accidentes y clases de terrenos, que es el método mas ligero. La primera representacion con las curvas acotadas y exactas, se hace solo cuando hay que estudiar algun paso difícil, porque ocupa mucho tiempo determinar los perfiles en el terreno para verificar con exactitud este medio.

Representacion del terreno y objetos.
Clase del dibujo.

Las líneas de máxima pendiente se representan generalmente por medio de plumadas. Pueden darse estas sobre una aguada de tinta de china ó tambien emplear solamente estas aguadas, representando las diversas zonas del terreno, lo cual es de muy buen efecto.

Los colores no deben emplearse sino en algun caso excepcional y con ligeras aguadas.

La inclinacion de luz que se adopta generalmente es de 45° tomada de izquierda á derecha.

Puede consultarse el tratado de topografía del Coronel de Ingenieros D. Rafael Clavijo. El tratado de dibujo topográfico publicado en 1852 por los Sres. Mas y Cañadas puede servir útilmente de modelo.

Se adopta para los signos de representacion de pueblos ú objetos en los planos generales, los de la cartilla publicada en 1841, para la rectificacion del mapa de España.

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

SEGUNDA PARTE.

EJECUCION DE LAS OBRAS.

PRIMERA SECCION.

Señalamiento del eje, esplanaciones y rasantes.

Cuando se ha de proceder ya á la ejecucion de las obras de una carretera, la primera operacion que habrá de verificarse será el trazar ó marcar el eje. Despues á uno y otro lado de este se tomarán los anchos de la esplanacion y de todas las diferentes partes que constituyen el perfil transversal del camino.

Operaciones
para el señalamiento
del eje

Ademas hay que marcar tambien en el terreno la profundidad de los desmontes y la altura de los terraplenes, para de este modo dejar determinadas las rasantes con la inclinacion fijada en los planos.

Con arreglo á los arrumbamientos señalados en el proyecto, se trazan las alineaciones del eje por medio de las banderolas é instrumentos de medir ángulos, del mismo modo que cuando se verifica el proyecto. Se dejan señaladas estas alineaciones, tanto en las partes rectas como en las curvas, con estaquillas; y para que estas puedan conservarse en su sitio, se debe hacer el señalamiento solo de la parte que ha de ejecutarse inmediatamente y que pueda tenerse á la vista.

Al hablar del trazado se dijo lo conveniente que seria el

que pudiesen dejarse señales en los puntos principales de las alineaciones proyectadas, pues de otro modo es fácil que con poco error que se cometa al hacer el señalamiento definitivo, con respecto á las que se obtuvieren en el proyecto, resulten diferencias de consideracion en los movimientos de tierras.

Operaciones
para el se-
ñalamiento
de rasantes.

Señalado el eje se procede á marcar los extremos de cada rasante. Para esto se tienen las acotaciones en el perfil longitudinal y los puntos á que corresponden en las alineaciones del plano; de modo que midiendo las distancias sobre este cuando está hecho con la exactitud necesaria, se obtienen los puntos que corresponden á los extremos de las rasantes sin necesidad de hacer una nivelacion sobre el eje, pero cuando quiera obtenerse con toda exactitud las rasantes, como sucede en los caminos de hierro, será indispensable el verificar esta nivelacion. Sabiendo de este modo lo que hay que profundizar, cuando el extremo de una rasante esté en desmonte, se abre un hoyo cuya profundidad sea la que marque la acotacion. En el fondo de este hoyo se coloca una loseta, piedra plana ó estaquilla, cuya superficie ó cabeza corresponda á la altura exacta, á que debe quedar el extremo de las rasantes.

Cuando esté en terraplen el extremo referido, se hace un coto ó montón de tierra apisonada, y mejor de mamposteria, sobre el cual se marca la altura, ó tambien puede colocarse un poste de madera.

De este modo marcando á uno y otro lado del eje y en sentido perpendicular á él los anchos de la esplanacion, se procede á desmontar ó terraplenar.

Cuando no se cree suficiente el señalar los dos puntos extremos, por ser de mucha longitud las rasantes ó por haber curvas, se marcan en el intermedio los que se juzguen necesarios del mismo modo que los anteriores.

Es necesario no concluir de desmontar en toda la profundidad que marca la rasante, hasta haber verificado su exactitud. Cualquier diferencia que resultase seria muy perjudicial en el caso de haber escavado de mas, en razon á que habiendo de

rellenar ó reponer la parte escedida se produciria un exceso de mano de obra á mas del defecto de solidez del terraplen. Obtenidas las rasantes por los medios indicados, puede verificarse su rectificacion bien sea por medio del nivel ó del eclímetro, tomando grandes distancias. Para marcar los puntos de rasante intermedios, se hace uso de las niveletas.

No puede ser menor de tres el número de niveletas que han de emplearse; dos para fijarlas en puntos ya conocidos de las rasantes y la otra para determinar el que se busca. Cuando quieran marcarse á la vez otros intermedios sin mover las niveletas fijas, habrá necesidad de emplear mayor número.

Empleo
de las nive-
letas

Las dos niveletas que han de permanecer fijas son de altura igual desde su pié á la parte superior de la tablilla ó muletila que llevan en su extremo. Cuando una de ellas lleve tablilla de dos colores, su altura hasta la horizontal que divide estos, será igual á la longitud total de la otra.

Las niveletas intermedias ó movibles que han de servir para correr los puntos de rasante, pueden ser de la misma altura total que las fijas ó tener una tablilla corrediza como las miras. En este caso la vara ó jalon de la niveleta tiene varias divisiones, y en ellas está marcada la línea que corresponde á la altura igual á las niveletas fijas. La altura total de las niveletas debe ser de tres y medio á cuatro pies, para que un hombre de mediana estatura pueda dirigir cómodamente las visuales.

Para ejecutar la operacion, se coloca el que la dirige con una niveleta en el punto fijo de rasante, y poniéndola vertical enfila la visual por el borde superior de su tablilla y por el de la otra fijada del mismo modo por un operario.

Si la tablilla de la segunda niveleta está pintada de dos colores, como se dijo antes, la visual se dirigirá á la línea de division.

La niveleta variable, si es de tablilla corrediza, colocada que sea en un punto del terreno y sostenida verticalmente por un operario, hará este que baje ó suba segun sea necesario y lo disponga el que dirige la operacion, hasta que la visual indi-

cada antes pase por el borde superior de la tablilla. El número de divisiones que haya que subir ó bajar desde la línea que marca en la vara ó jalon la altura de las niveletas fijas, será lo que haya que terraplenar ó desmontar.

Cuando la niveleta intermedia ó variable sea de altura fija sin tablilla corrediza, háy necesidad de abrir un hoyo para introducir su pie ó colocar un monton de tierra ó piedra para elevarle, segun que la altura de la rasante en cada punto que se trata de determinar sea menor ó mayor que la de la niveleta.

Por el primer método es, por consiguiente, mas velez la operacion y se van marcando en cada punto la profundidad ó altura de la rasante solamente con dejar señales que lo expresen, como por ejemplo estaquillas numeradas ó procediendo luego sí se quiere á poner los cotos y abrir los hoyos.

Para que el plano rasante del camino quede horizontal en el sentido transversal, es conveniente nivelar á ciertas distancias perpendicularmente al eje. Esto puede verificarse por medio del reglon y nivel de albañil, y en este caso se dejan maestras transversales á ciertas distancias.

SEGUNDA SECCION.

EJECUCION DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES.

Desmontes.

Movimientos
de tierras.

Los movimientos de tierras que se ejecutan en las carreteras son, segun se ha explicado ya al tratar del trazado, los desmontes ó escavaciones y los terraplenes ó adiccion de las tierras que son necesarias por faltar al terreno natural la altura, que exigen las rasantes.

Escavaciones

En las escavaciones pueden presentarse diferentes clases de terrenos, como son las tierras flojas ó duras, la grava, arena,

y la mezcla de estas con diferentes grados de consistencia ó dureza, y en fin las distintas clases de rocas.

En las excavaciones de los terrenos flojos, basta á veces para ejecutarlos la pala ó el azadon; pero cuando estos son algo duros, es necesario emplear ya el pico ó zapapico.

Medios de ejecucion de las excavaciones en tierra

Para economizar mano de obra se ejecutan á veces los desmontes, si lo permite el terreno, por masas de gran volúmen, escavando por la parte inferior é introduciendo por esta parte gruesas estacas con azuches de hierro y aros del mismo metal en sus cabezas, para evitar se rajen golpeando en ellas; se clavan en fila en la parte escavada á golpe de mazo hasta que la masa se desprende completamente ó en su mayor parte.

Este sistema podrá convenir principalmente cuando los desmontes tengan alturas de alguna consideracion, pues en este caso podrá obtenerse á veces gran economía de su empleo en la mano de obra de escavacion.

Para abrir un desmonte se disponen las cuadrillas por filas ó tandas perpendiculares al eje del camino, de modo que no se estorben lateralmente y que la fila que se coloca detrás esté á una distancia conveniente de la tanda que está delante.

Disposicion de los cortes ó tajos

Cuando la estension y profundidad del desmonte lo permiten, se hacen cortes escalonados, cuya longitud es de unos 30 metros; distancia que se considera, como se verá despues, conveniente para cada relevo, y de 3,75 de altura.

En cada corte se pone una cuadrilla que empieza por desmontar el volúmen *abc* (Fig. 45). Concluido este retrocede, para quitar el *bcd* mas bajo haciendo las rampas que se indican en la figura. Terminado el desmonte de este segundo sólido vuelve la cuadrilla para desmontar el *cef*; y así sucesivamente hasta el fondo de la escavacion.

En los desmontes de poca profundidad, se emplea generalmente el método de escavacion por capas de 30 á 40 centímetros de grueso.

Estraccion
de las
tierras.

Puede suceder en la estraccion de tierras que estas tengan que trasportarse en el sentido del eje del camino para emplearlas en los terraplenes, ó arrojarlas á la parte exterior del desmonte; ó que haya que conducir las en sentido perpendicular al camino al costado de este, lo cual equivale á un trasporte vertical por ser mas alta esta parte.

Para verificar la estraccion en este último caso, se abren rampas en los taludes de la escavacion, para poder subir las tierras con las carretillas; y si el trasporte se verifica con espuertas conducidas por obreros, se practican escalones en donde se colocan los operarios para pasar de unos á otros las espuertas de tierra hasta arrojarla en la parte superior.

Cuando no puede establecerse una sola rampa desde la parte inferior del desmonte á la superior, por exceder del límite conveniente su inclinacion, se forman aquellas en zik-zaks unidas por curvas de anchura suficiente para el paso. El límite de las pendientes adoptadas se verá al tratar del trasporte de las tierras. El borde interior de las rampas debe estar en la superficie que ha de quedar definitivamente en el talud.

El ancho de las rampas debe ser el suficiente para que pasen dos carretillas sin estorbarse; sin embargo, vale mas destinar unas rampas para subida y otras para bajada, con el objeto de no abrir un corte tan profundo.

Se volverá á tratar de la disposicion de las rampas y cuadrillas, al hablar de los diferentes sistemas de vehiculos empleados para la conduccion de las tierras.

Desmontes
en roca

Del mismo modo que cuando se explota una cantera, lo primero que se hace para abrir un desmonte en roca es desmontar la parte de tierra que cubre aquella. De este modo se puede proceder convenientemente á la explotacion, y aprovechar el material cuando sea necesario para las obras de la carretera.

La roca puede estar en masas, ó en capas de poca ó mucha potencia; y pueden ser de calidad dura ó tierna.

Cuando las capas son delgadas y las rocas tiernas no hay que hacer uso de la pólvora, como es indispensable cuando son duras.

Desmante
sin emplear
barrenos.

A veces se presentan las rocas agrietadas, lo cual facilita su estraccion, pues en este caso, del mismo modo que cuando se presenta su formacion en capas, se hace uso de cuñas y de mazas para su explotacion. Las cuñas que se emplean pueden ser de hierro las cuales se introducen por entre las grietas ó por la union de las capas y se hacen separar trozos de la roca golpeando fuertemente en sus cabezas. Tambien se emplean cuñas de madera dura secadas al fuego, las que se introducen del mismo modo que las de hierro, y mojándolas despues se hinchan y hienden la roca, si esta no presenta demasiada resistencia.

En los casos citados puede tambien desmontarse la roca con el auxilio solo del pico de cantero y piqueta, y del perpal ó barron, introduciendo éste por las grietas ó capas y apalancando la roca hasta conseguir el objeto.

Cuando es necesario acudir á desmontar la roca por medio de la pólvora, por exijirlo así su calidad, hay que verificar cuatro operaciones que son: la de abrir el barreno, cargarle, atacar y dar fuego.

Explotacion
por medio de
la pólvora.

Para abrir el barreno hay que examinar cuales son los puntos mas convenientes para la separacion en trozos, eligiendo aquellos en donde el barreno pueda cebar mejor y producir el mayor efecto. Deben elegirse con este objeto puntos en que no haya grietas; pero no importa que estas estén próximas al barreno, al contrario, en este caso produce mas efecto.

Abrire
el terreno.

Cuando se da al barreno una direccion perpendicular á la superficie del suelo, puede suceder que descargue por la boca cuando se prende, en razon á la resistencia lateral que encuentra el gas que se forma. Cuando el barreno está dirijido hácia una parte muy floja de la roca, el efecto es casi nulo; por lo cual es lo mas conveniente elegir un sitio en donde la roca ten-

ga alguna prominencia y hacerle oblicuo. Por esto si la roca presenta una pared lisa en la cual han de abrirse los barrenos, se practica á cierta distancia una canal ó *descalce* algo ancho y profundo, para que resulte una parte débil por donde se verifique la explosion y rotura.

En las rocas estratificadas, debe hacerse el barreno de modo que corte á las capas próximamente en ángulo recto.

Para que pueda agarrar la punta del barreno hay que abrir en el sitio en que ha de actuar un agujero pequeño con la punterola y el martillo.

Instrumentos para abrir el barreno.

El barreno consiste en una barra cilíndrica ó cuadrada, de boca biselada y acerada. También suele tener la boca una forma cónica radiada. Estas barras pueden ser para manejarse por uno, dos ó tres operarios; pero generalmente se empieza por abrir el barreno con una barra pequeña.

Para abrir el barreno es necesario golpear en la barra por su parte superior, y hacerla girar próximamente medio cuarto de círculo, para lo cual en los grandes barrenos, uno ó dos operarios tienen cojida la barra hacia su parte media, y otro la golpea cuidando de dirigirla convenientemente los primeros. Las barras cuadradas se manejan mejor. El ancho del bisel debe variar en razon inversa de la longitud de las barras, para que el taladro vaya ensanchando con la profundidad, y pueda entrar y salir la barra fácilmente. Este bisel es siempre mas ancho que el grueso de la barrena. También se puede abrir el taladro sin golpear en la parte superior de la barra manejándola uno ó dos operarios que la hacen subir y bajar girando al mismo tiempo.

Cuando las barras se han de manejar por un operario, tienen sobre 0,7 metros de longitud, y 2 centímetros de grueso, y la profundidad del taladro que se abre con ellas, 50 centímetros. Para el manejo por dos ó tres operarios suele tener unos 2 á 2,5 metros de longitud.

Cucharillas.

Los detritus que forma el taladro se sacan con la *cuchari-*

lla; que es una varilla de hierro con una parte ensanchada en su extremo.

Puede suceder que el barreno contenga agua, y en este caso, para que no salpique al abrir el taladro se pone una roldana de cuero. Cuando hay agua esteriormente, se enloda para que no entre en el barreno, operacion que consiste en rodear con arcilla el agujero del taladro.

Enlodado
del barreno.

Cuando los barrenos están abiertos de arriba abajo puede echarse la pólvora suelta; pero en el caso de estar abiertos de modo que pueda esta salirse, es indispensable echarla en cartuchos de papel grueso ó encolado. Cuando hay humedad se sustituye al papel, tela embreada, ó un canuto de hoja de lata.

Cargar
el barreno.

Es muy conveniente emplear siempre cartuchos para evitar las desgracias que puede ocasionar el echar la pólvora suelta.

Es necesario que haya aire interpuesto entre los granos de la pólvora para que dilatándose ayude á la esplosion; por lo que conviene emplear para este objeto la pólvora de cañon. Pero es necesario que este aire no sea excesivo, pues entonces el calórico que se produce, no sería suficiente para elevar la temperatura la cantidad necesaria. Por esto no debe abusarse del empleo del aserrin de hojas secas y arena, que á veces se emplea. Tambien suele ponerse con este objeto en el fondo del barreno un pedazo cónico de madera, que deja algo de aire interpuesto entre el cartucho y el fondo del taladro.

Es costumbre generalmente admitida que el cargar el barreno con una cantidad de pólvora de un tercio á un cuarto de la longitud de este lo cual será excesivo en algunos casos y escaso en otros.

Observaciones
sobre las
cargas y líneas
de menor resistencia.

La regla dada por el general inglés Bourgoine (1) consiste en que las cargas de pólvora deben ser proporcionales á los cubos

(1) Art of Blasting Rocks and Quarrying and on Stone, by Major-Gen, sir John Bourgoine.

de las líneas de menor resistencia ó sea la menor distancia á las caras exteriores de la roca cuando estas son de resistencia análoga en todos sentidos. Cuando sean rocas como el granito y que presenten dos caras en descubierto debe ser igual á la mitad del cubo de la línea de menor resistencia tomada en pies ingleses. Para cada clase de roca será distinta la relacion y tambien segun sea la posicion del barreno relativamente á la estratificacion.

En un artículo inserto en la revista Minera de 1857 se indica no estar conforme esta regla para cualquiera longitud del barreno. La mayor parte de las veces la profundidad de los barrenos y la línea de menor resistencia son inferiores á lo que debieran ser atendida la carga de la pólvora lo cual se manifiesta porque en vez de dejar la roca agrietada y desprendida en su sitio, son arrojados los trozos á diversas distancias. La línea de menor resistencia en que la tensión de los gases al formarse encuentra menos obstáculo no estará siempre á la menor distancia desde la carga á una cara libre sino en la dirección del eje del barreno si su longitud es corta relativamente, aunque sea mayor que la distancia indicada ó si no ha sido bien atacada; lo cual hace perder mucha ó toda de la cantidad de gas que se forma.

Atacar
el barreno.

Despues de introducido el cartucho se llena el resto del barreno con arcilla amasada, piedra de yeso ó fragmentos de ladrillo ó teja seca dejando un oido ó pequeño tubo en el centro por donde pueda inflamarse la pólvora. Para abrir el oido se emplea una aguja de cobre (1) que se introduce hasta la pólvora, y se saca haciéndola girar con cuidado. Antes de prender fuego se introduce la aguja para romper el cartucho.

Se aconseja por algunos no emplear para tacos materias que contengan granos de cuarzo y se proscribte el uso de la arena en vista de esperimentos hechos al efecto.

(1) La aguja de hierro espone á que se produzcan chispas y estas inflamen la pólvora.

En el hueco del oído, se coloca la mecha que consiste comunmente en un tubito de papel ó cañon de pluma, caña, ó paja de centeno, relleno de pólvora, bien sea sola ó formando una masilla con aguardiente ó vinagre. Se prende con una pajueta puesta en comunicacion por un extremo con el oído, y de la longitud conveniente para que no haya esposicion á desgracias, dando tiempo á que se retire el operario.

Pegar fuego

A veces sucede que descarga por la boca el barreno sin producir efecto, que es lo que se llama dar *bocazo*. Tambien suele arder la pajueta y la mecha sin prender el cartucho, lo que se espresa diciendo que el barreno ha dado *mechazo*.

Las mechas de seguridad de Biekdfor son muy útiles para emplearlas en vez de las que se han indicado, evitándose desgracias por su empleo. Consisten estas mechas en un forro de cáñamo ó algodón arrollado con un filéte de pólvora en el centro y embreado esterioresmente, lo cual hace que pueden servir dentro del agua: contienen 11 á 12 granos de pólvora por metro lineal.

Mechas de seguridad.

Cuando el barreno está muy inclinado se echa la mitad de la carga introduciendo en seguida el extremo de la mecha en el del barreno; despues se echa el resto de la pólvora, poniendo un taco de papel y concluyendo de atacar con arcilla ú otras materias. Si el barreno es horizontal, se deja la pólvora en el cartucho en el cual se ha introducido antes el extremo de la mecha hasta el tercio ó mitad de su longitud, y se sujeta en seguida la mecha al cartucho, doblando el papel todo al rededor. El cartucho se introduce hasta el fondo del barreno con la cucharilla ó atacador y el taco se coloca como antes se indicó.

Para pegar fuego se desenvuelve la cinta por el extremo de la mecha, y se prende la pólvora que queda descubierta, ó bien se rodea con lumbré dicho extremo hasta que se queme la cubierta de algodón y prenda la pólvora. El fuego se comunica así por el alma de la mecha hasta el cartucho. Estas mechas tardan en arder un segundo próximamente por cada 0,56 metros de longitud, pudiendo arreglarse esta convenientemente

segun la distancia á que haya de retirarse el operario que practica la operacion. Debe siempre calcularse para mayor tiempo que el que se crea indispensable, pues vale mas tener que esperar algunos segundos, que no esponerse á que la explosion se verifique antes que haya transcurrido el tiempo necesario para ponerse en salvo el operario.

Barrenos dentro de agua

Los barrenos dentro del agua se abren bajando los operarios en campana de buzo ú otro medio y la pólvora se coloca en un saco impermeable; se une á este el extremo de la mecha de seguridad atando los bordes bien. Se introduce este saco y parte de la mecha en una composicion de ocho partes en peso de pez uno de cera y una de sebo que se hace derretir; pero sin cocer. Se ataca como se ha esplicado ya y se dá fuego por el extremo opuesto de la mecha, bien sea desde fuera del agua si es corta la profundidad ó desde la campana de buzo separándola unos 10 ó 12 pies y de este modo como es impermeable la cubierta de la mecha se comunica el fuego al barreno.

Esplotacion por cámaras ó cavidades.

El método ensayado en Francia en 1844 por Mr. Courbebaise, para desmontar las rocas, consiste en abrir en el fondo del taladro ó barreno cámaras ó cavidades en las cuales alojada una gran cantidad de pólvora pueda desarrollar mucha fuerza explosiva.

El ensayo se verificó en roca caliza abriendo la cavidad por medio del ácido muriático. Se empleó cerca de 5 kilogramos de ácido para abrir una cavidad de 72 centímetros cúbicos, capacidad necesaria para introducir un kilogramo de pólvora. En once dias de trabajo continuo se abria una capacidad de 0^m08 cúbicos. El costo á que salió un barreno de 5 metros de profundidad con 50 kilogramos de pólvora, empleando 178 kilogramos de ácido, fué de unos 800 reales, habiéndose desmontado 470 metros cúbicos de roca.

Método de extraer las rocas empleando ácidos.

He aquí la descripcion del método empleado por Courbebaise para la extraccion de las rocas por medio de los ácidos;

la cual fué remitida por el autor á la Comision de los anales de puentes y calzadas, en 1855, método cuyos buenos resultados ha sancionado la esperiencia.

Despues de reasumir los sistemas conocidos para la estraccion de las rocas en la época en que aplicó su procedimiento, indica que habiendo tenido que construir una carretera con desmontes verticales en roca de 50 metros de altura algunos de ellos y 10 á 12 de ancho en un mármol muy duro hubiera sido quiza necesario abandonar los trabajos una vez emprendidos, por la lentitud de las operaciones empleando los métodos de estraccion conocidos, y su costo, que no hubiera bajado de 4 á 5 frs. metro cúbico; teniendo además, el inconveniente de desaprovechar los materiales arrojados por las esplosiones de las minas que hubiera sido necesario abrir.

Analizando los proyectos empleados vió no estaban en armonía con el efecto que deberian producir; que el trabajo de la pólvora se empleaba en la mayor parte de los casos en hendir la roca y arrojar sus fragmentos, lo cual proviene de un defecto de armonía entre la resistencia á la rotura y la resistencia á la proyeccion; y notó que aumentando las dimensiones de las masas que hay que desprender, la resistencia á la rotura crece solo proporcionalmente á las superficies, es decir al cuadrado de estas dimensiones, siendo así que la resistencia á la proyeccion crece proporcionalmente á los volúmenes; es decir á los cubos de estas mismas dimensiones: así aumentando las dimensiones que generalmente se emplean en los agujeros y cavidad para producir las esplosiones, se podia utilizar mucha mayor cantidad del trabajo que puede producir la pólvora. Vió tambien que el mejor modo de obtener una estraccion cualquiera, casi nunca consistia en verificar una série de defonaciones sucesivas y aisladamente sino al contrario, en general, en la esplosion simultánea de un grupo de minas colocadas ventajosamente para destacar la masa por el esfuerzo combinado de todas ellas.

En resúmen era necesario abandonar el procedimiento largo de quebrar ó hendir la roca por una série de pequeñas minas

aisladas y en cada caso particular dándose cuenta del efecto que es necesario obtener, armonizar los procedimientos.

El problema general consiste en determinar las líneas de divisione que hay que producir y obtenerlos del mejor modo posible por la potencia de la pólvora. También hay en cada caso que colocar en puntos determinados, cantidades dadas de pólvora.

El procedimiento actual de percusion cuesta muy caro en las rocas duras y además no produce sino agujeros cilíndricos de pequeño diámetro. Sin duda se mejoraría este procedimiento reemplazando la trituracion que verifica la barra de mina por un trabajo análogo al de la punterola que destacase la roca que hay que extraer por pequeños fragmentos en vez de reducirla á polvo. Seria sin duda conveniente el fabricar útiles que pudiesen practicar en el interior de la roca ranuras de profundidad, ancho y espesor variables á voluntad sobre todo dando un ancho que aumentase con la profundidad.

Las rocas calizas son las únicas que ha experimentado empleando el ácido muriático por ser el mas barato y ejercer una accion pronta sobre el carbonato de cal y además por la gran solubilidad del producto de la reaccion. Este método ha sido sancionado por algunos años de experiencia.

La primera operacion consiste en perforar con la barra un agujero casi cilíndrico y estrecho que termine en el sitio que debe ocupar la pólvora. La primera barra que se emplea es de 0,^m 055 de diámetro 2 á 3 metros de longitud con los dos extremos acerados, el uno de 0,^m 07 el otro de 0,^m 06 manejado por dos operarios; se continuan con barras de 5 metros de longitud 35 kilogramos de peso con un extremo de 0,^m 055 acerado y el otro dispuesto para colocar un mango de madera, con el objeto de poderla manejar por tres ó cuatro obreros el uno asentado, dos de pie y el cuarto colocado á veces en la parte superior.

Las barras deben ser de buen hierro, los extremos acerados, debiendo afilarse de tiempo en tiempo recociendo el acero al rojo cereza con un martillo pequeño. El principal cuidado que

debe tenerse es hacer el agujero bien derecho y redondo para que la barra juegue bien. Cuando esta se atasca se la hace mover mecánicamente, se vierte un poco de ácido si es necesario y se hechan en el agujero algunos fragmentos de roca y sobre ellos se continua la operacion.

Hecho el agujero se coloca hasta el sitio en que debe empezar la corrosion un tubo de cobre que entre algo holgado embetunando el intervalo que queda entre las paredes del agujero y el tubo con estopas y arcilla introducidas con una varilla. Tambien se procede fijando en el extremo del tubo una corona de estopas embarradas con arcilla cuyos hilos son paralelos al tubo; se hace bajar el tubo hasta un poco mas arriba del punto en que debe quedar, y se le vuelve á subir haciéndole girar con ambas manos para que los hilos de cáñamo se arrollen.

Este tubo se dobla en la parte que sale fuera del agujero introduciendo el extremo en el depósito del ácido; un tubo pequeño sale de dicho depósito, penetra en el tubo por debajo del orificio del barrenó y baja por el interior del referido tubo hasta el fondo del barrenó. Se echa en el depósito la conveniente cantidad de ácido mezclado con agua para que no haya tantas pérdidas por evaporacion y corroa menos los tubos y el depósito. El ácido baja al fondo del barrenó por el tubo delgado interior y ataca las paredes de la roca; se desprende en abundancia ácido carbónico el cual sube por el tubo de mayor diámetro arrastrando una parte del líquido impregnado el cual cae en el vaso ó depósito, continuando así la accion en tanto que el ácido se satura y transforma en cloruro de calcium. La fuerza motriz de este movimiento consiste en la diferencia del peso del ácido líquido que desciende por el pequeño tubo y del líquido impregnado que sube por el otro; para abreviar la operacion, puede recogerse el líquido ascendente en otro vaso y esperar á que toda la cantidad de ácido que debe emplearse haya pasado; para volver á echar en el vaso del ácido dicho líquido ascendente. La figura 46

representa esta disposicion.

Pueden emplearse como vasos ó depósitos por ser mas có-

modos y baratos, toneles viejos embreados; el tubo de cobre podría embreadarse y aun quizá sea mejor hacerlo de gutta percha que es inatacable á los ácidos; el tubo pequeño que suele hacerse de plomo, también podría ser de este material.

La parte de barreno corroída por el ácido debe estar bien cerrada de modo que no se pierda este, evitando el hacer el barreno en sitios en que haya grietas, y en caso que las haya, se tapan con arcilla ó yeso.

Cuando el barreno está suficientemente abierto se vacía y seca con estopas puestas al extremo de una varilla, haciéndola girar y despues se carga echando la mitad de la pólvora é introduciendo la mecha de seguridad de Bickfort si el barreno debe estallar aisladamente; se vierte el resto de la carga y se ataca despues con arena hasta la parte superior del barreno pudiendo prender ya fuego, segun indica la figura.

Hay á veces economía en mezclar la pólvora con cierta cantidad de aserrin bien seco. Para hacer bajar y apretar en el barreno la pólvora ó la arena seca, se verifica por medio de una barilla de madera ó cobre.

Si se disponen varios barrenos para que hagan esplosion simultáneamente, en este caso despues de haber echado la mitad de la pólvora, se hace bajar en cada uno de ellos un tubito de hoja de lata que contiene una mecha de combustión pronta formada de un hilo de algodón sin retorcer envuelto por una pasta de pólvora alcohol, bien seca, se acaba de echar la pólvora, se ataca con la arena alrededor del tubo de hoja de lata, se reunen todas las mechas y se prende así fuego á la vez, con precaucion. Podriase emplear la pila para esta operacion.

La esplosion de una série de estas minas es un espectáculo agradable; no hay detonación ni proyeccion, pero se ve la masa entera desunirse súbitamente y desprenderse en grandes bloques sin otro ruido que el producido por el chasquido de la roca y el que produce la caída de aquellos.

El precio que ocasiona este sistema es variable segun la naturaleza de la roca, el precio de la mano de obra y el del ácido. El carbonato de cal exige 0,72 de su peso de ácido hi-

droclórico puro para descomponerse; si se emplea el ácido muriático del comercio, cuya densidad sea de 1,20 que contenga 0,40 de ácido puro, cada kilogramo de carbonato de cal consumirá para descomponerse, 1,80 kilogramos de este ácido del comercio y desprenderá 0,43 kilogramos ó 217 litros de ácido carbónico.

Ensayado el procedimiento en masas compactas de mármol muy duro cuya densidad era 2,70, cada cavidad de un litro de hueco para contener un kilogramo de pólvora, exigía emplear $2,70 \times 1,80$ ó 4,86 kilogramos de ácido; la cantidad deducida de la experiencia fué de 6 kilogramos en razón á las pérdidas.

El precio aproximado de una de las mayores minas con 7 metros de profundidad y capacidad para 70 kilogramos de pólvora, la cual podía desprender unos 500 metros cúbicos, fué de 300 frs. saliendo por consiguiente á 0,60 frs. próximamente metro cúbico. Los detalles de este precio son los siguientes:

7 metros de barreno á 4 frs. uno	28
360 kilogramos de ácido para hacer 60 litros de cámara	72
70 kilogramos de pólvora	140
10 jornales de operarios para arrancar los bloques hendidos	20
10 barrenos pequeños para romper los bloques muy grandes	50
Gastos accesorios	10
	Total 300

Para las obras de subterráneos en que quisiera aplicarse este sistema, sería necesario establecer un sistema de ventilación enérgico ó de absorción para el agua de cal del ácido carbónico desprendido.

La forma de la cavidad no está bastante estudiada y en la mayor parte de los casos es importante.

En el caso general de los desmontes se debe cortar la roca según planos determinados dejando un sólido para el último y conviene determinar el plano de división colocando una serie en barrenos que hagan explosión simultáneamente. Cada una de estas minas en lugar de estar formada por un volumen de pólvora de la forma de un sólido de revolución debería ser una ranura de pequeño grueso como el del agujero del barreno y tan extendido como fuese posible en el sentido del plano de división. Para hacer esta ranura con el ácido figura 48 sería necesario practicar un barreno cilíndrico inclinado con relación al plano vertical de división embrear, si parecía conveniente, el fondo para evitar la acción del ácido sobre él y hacer bajar hasta el fondo un tubo de gutta percha que contuviese un pequeño tubo conductor del ácido, desembocando á través del primero en la generatriz inferior del barreno y punto en que debe empezar la ranura; embetunar el primer tubo sobre este punto y después hacer llegar la corriente de ácido por el orificio del tubo pequeño. El ácido bajando á lo largo de la generatriz inferior del barreno le correría desprendiendo ácido carbónico que para salir deprimiría el líquido del fondo y le haría salir impregnado, por el tubo mayor.

De este modo se harían una serie de ranuras en el plano de división; cuando se les hubiese dado un desarrollo suficiente según este plano, se podría ensancharlas haciendo obrar el ácido en las paredes. Después se atacaría y se harían saltar simultáneamente como se ha explicado ya.

Aunque Courbebaisse dice no ha ensayado este sistema de ranuras; habría gran economía de pólvora y la ventaja de no atacar la superficie de las rocas que debieran conservarse en buen estado. En las rocas que no las atacasen los ácidos, podrían practicarse las ranuras con herramientas, y podría combinarse el uso de pólvoras fulminantes que no exigiría como las pólvoras de mala calidad que se emplean comunmente, el estar alojadas á grandes profundidades para corregir el defecto de instantaneidad de su explosión.

La figura 46 representa la disposición del barreno y cámaras

por el primer método, indicando la 47 el barreno cargado y atacado y la 48 la disposición del barreno oblicuo y los depósitos del ácido sobre puestas.

El sistema de grandes cámaras para efectuar desmontes considerables, ha sido puesto en práctica con buen éxito en Francia é Inglaterra. En el puerto de Holyhead se empleó hace pocos años, para conmovier grandes porciones de terreno; se hicieron algunos barrenos cargados con tres toneladas de pólvora. Estos barrenos consistian en pozos verticales del diámetro menor posible; pero de suficiente para permitir la entrada de los operarios. Abiertos estos, se rompian por ellos galerías horizontales de unos 5 metros de longitud á cuyos extremos se practicaban otros dos pozos tambien verticales de unos 4,5 metros de profundidad, y en el fondo de éstos se abrian las capacidades para alojar la pólvora.

Otra aplicacion en gran escala del sistema de cámaras fué la verificada en uno de los desmontes del camino de hierro de Dover. Se abrió un pozo y por este una galería estrecha, subdividida en otras tres á cuyo extremo estaban las cámaras, y en estas se echaron mas de 8 toneladas de pólvora, prendiendo está por medio de tres pilas galvánicas, que comunicaban por medio de hilos con la galería. De este modo se conmovieron mas de 300000 metros cúbicos de roca. La estribacion tenia por la parte en que se verificó la operacion, 107 metros de altura, 100 de longitud y 22 de espesor.

Aplicacion del galvanismo á la explotacion de canteras

Hacia el año de 1841 el ingeniero inglés Mr. Roberts, ideó el medio de producir la explosion de pólvora en la explotacion de canteras por medio del galvanismo, y en 1842 verificó una aplicacion muy feliz de este sistema, en unas canteras próximas á Glasgow. Los efectos se produjeron instantáneamente apenas se pusieron en contacto los discos del aparato. Este procedimiento tiene la gran ventaja de evitar los peligros que hay

Primeras aplicaciones de la pila.

en la explotación por los medios comunes, dando á los hilos conductores la longitud necesaria.

Explicacion
del método.

La invención de Roberts, consistió en el método especial de cargar la mina ó barreno, y en el empleo del fluido eléctrico para prender la pólvora con mas seguridad y menos peligro.

La mejora en el modo de atacar y cargar está fundada en el hecho siguiente. Si se llena de arena seca un tubo cuyo diámetro sea estrecho y de cierta longitud, aunque se ejerza sobre él una presión, la arena no se saldrá por el otro extremo. Roberts echaba poco á poco arena bien seca en el barreno, de modo que tuviese próximamente un pie de altura sobre el cartucho.

Para la operación se valió de la pila de Daniel perfeccionada, empleando el sulfato de cobre para la escitacion de los discos metálicos con preferencia á la disolucion de los ácidos sulfúrico, nítrico ó muriático. En la construcción de la pila, sustituyó á las cajas de barro una caja de madera dividida en compartimientos (Fig. 49.)

De cada lado de la caja se eleva un montante de madera *A*, de unos 20 centímetros de alto y 4,6 centímetros de escuadría. Estos dos montantes reciben en sus extremos un cilindro de 23 centímetros de diámetro. Hay un disco de estaño *D* de 7 á 9 centímetros de diámetro, el cual tiene en su centro un agujero de unos 2 centímetros; y está soldado al hilo conductor que sale de la placa de zinc del polo negativo. El disco anterior está sujeto á uno de los montantes y atravesado por el eje, el cual pasa por su centro.

Un segundo disco de estaño *E* de la misma dimension que el anterior, del polo negativo, está colocado de modo que pueda correr libremente á lo largo del eje. El agujero central debe tener 5,5 centímetros de diámetro, y estar forrado ó guarnecido de un solo lado por un collar de estaño de 4,5 centímetros. Este collar tiene por objeto sostener el disco móvil referido en una posición vertical durante su movimiento.

Si un hilo conductor fijo al polo positivo está unido al disco móvil, y moviéndose este á lo largo del eje se pone en contacto con el disco *D*, la batería entrará en accion; pues habrá comunicacion metálica de un polo con el otro, produciéndose así la corriente eléctrica.

Modo
de obrar el
aparato

Una doble cuerda *ss* que pasa por dos agujeros del disco *D*, va á fijarse á dos puntos del disco móvil, y luego se unen entre sí á la distancia de 28 centímetros próximamente de la caja, y finalmente se atan á la cuerda que tiene asida el que ejecuta la operacion.

Para que no puedan tocarse los discos antes de que se tire de la cuerda, hay un resorte espiral, el cual está unido al collar *f* del disco móvil, y fijo por uno de sus extremos al montante de madera. La longitud de este resorte, cuando no está tenso, es la necesaria para que el disco móvil pueda estar separado del otro convenientemente; es decir, unos 16 centímetros.

Cuando se tira la cuerda se desenvuelve el resorte poniéndose los discos en contacto; cuando se suelta aquella se separan los discos, cesa la accion de la batería y ya no hay peligro de aproximarse á la cantera, aunque no haya hecho explosion.

Para impedir la comunicacion entre los discos fuera del tiempo oportuno, se pone una clavija de seguridad *P* en la mitad del intervalo que los separa, y no se quita esta sino en el momento de ir á prender el barreno.

Para mayor seguridad debe colocarse la batería á unos 50 metros de distancia de la cantera, y para verificar la operacion se procede del modo siguiente:

Colocacion
de la batería
y su prepara-
cion.

Colocada la batería, se toman dos hilos de cobre de una longitud igual á la distancia que haya desde la batería al barreno, y de 0,3 centímetros de diámetro. Estos hilos se envuelven con otro hilo de algodón encerado, y se unen entre sí alándolos con otro fuerte. El todo se envuelve en lacre dejando libres solamente los extremos, en una longitud próximamente de un pie (Fig. 50).

Los dos cabos de uno de los extremos de esta cuerda metá-

lica: están sujetos, el uno al disco *B* móvil, y el otro al hilo conductor fijado al polo positivo. Los otros dos extremos que han de ponerse en contacto con la pólvora, están reunidos por medio de un hilo fino de acero.

El calor producido en los metales por la electricidad, está en razón de su diámetro. Cuando las placas galvánicas están sumergidas en el sulfato de cobre, si se colocan los dos discos en contacto por medio de la *tira l*, (fig. 49) la electricidad circula desde el polo positivo á lo largo de uno de los hilos acoplados, pasa por el hilo de acero al que pone en fusión, vuelve por el otro hilo de cobre, atraviesa el disco móvil y llega al disco fijo ó polo negativo de la batería.

La figura 51 representa la disposición de la batería para verificar las operaciones indicadas: *a* y *a* son los hilos conductores del cartucho, *c p* es la parte llena de pólvora, *w* el tapon de paja ó estopa, *x x* los hilos conductores de la batería *d, s* el espacio hueco del tacho, *t* la arena. El hilo *l* debe bifurcarse en el extremo que se sumerge en la batería y se une al disco móvil.

El taladro debe hacerse profundo, y dejarse bien limpio y seco; lo cual se verifica introduciendo paja y estopa. Se echa despues la mitad de la pólvora, luego el cartucho y encima el resto de la carga. Se introducen en seguida los hilos conductores se atacan lentamente con un tacho de paja ó estopa hasta unos 7 metros de profundidad, dejando un espacio flojo, que contiene aire y ayuda á la esplosion, y el resto del barreno se llena con arena. El barreno se ha supuesto de 1,7 metros de profundidad y 4,5 próximamente de diámetro.

Despues de llena la caja de la batería con la disolucion de sulfato de cobre mezclado con un poco de ácido sulfúrico, se coloca el aparato detrás de un parapeto natural ó artificial. Se desarrolla el hilo conductor cuyos extremos libres se unen á los hilos del taladro y en seguida se introducen estos hilos, se vuelven á meter las placas galvánicas en la caja, dos á dos en cada division, se quita la clavija de seguridad *P* (fig. 49); y el que verifica la operacion se coloca al extremo de la cuerda y tirando de esta lentamente pone en contacto los discos.

El cartucho consta de un cilindro de estaño de 8 centímetros de longitud y 2 centímetros de diámetro próximamente. El hilo conductor de unos 6 metros de longitud y doblado en dos está indicado en la figura 52. El lazo que se forma tiene la figura de un triángulo BCB cuyo lado menor C se guarnece con un hilo de acero, y el pequeño triángulo que se forma es el que se introduce en la pólvora. Este triángulo debe introducirse de modo que esté en el centro del tubo, sin contacto con las paredes, y para mantenerle en esta posición, se verifica por medio de un tapon cubierto con una capa de cera (Fig. 53.)

Después de verificarse la explosión suele encontrarse el extremo del hilo destruido. Concluida la operación se invierte la batería retirando las placas galvánicas de sus celdas, y se quita la cuerda del disco móvil por medio de la rosca de presión.

Cuando el aparato ha dejado de funcionar algún tiempo, suele suceder que las hojas de papel que envuelven el zinc no se impregnan pronto con la disolución y deja de circular por esta causa la electricidad, por lo que en este caso es necesario dejarlas mojar bien.

La aplicación de pila eléctrica para verificar la explosión de las minas ha recibido y recibe importantes aplicaciones. En Inglaterra se empleó por Cubitt en grandes desmontes de caminos de hierro, en Alemania también se ha hecho uso de ella y en Francia, entre otras aplicaciones ha sido una de las más notables la verificada por M. Moncel en las obras del puerto de Cherbourg verificando explosiones de rocas submarinas, en las cuales se habían verificado cavidades que contenían hasta 400 kilogramos de pólvora. Los detalles sobre esta aplicación pueden verse en los resúmenes de las sesiones de la Academia de París de 1854 y en los nuevos Anales de construcción, publicados en Francia, Marzo de 1855 y Agosto de 1857.

Método general de verificar las operaciones.

El procedimiento en general consiste en introducir en el fondo del barreno un alambre delgado y doble revestido de gutta percha en todos los puntos que pudieran tocarse conservando muy próximo los extremos para lo cual se hacen atravesar am-

bos por un tapon de corcho introducido en la pólvora. Un mismo hilo se dobla y hace pasar de uno á otro barreno y se introduce hasta el fondo de la carga. Un extremo del hilo se pone en comunicacion con el polo positivo de una pila y el otro con el polo negativo.

Para aplicar este sistema se introduce en el barreno el cartucho de papel ó de hoja de lata que contenga la pólvora y en este está introducido un tubo delgado de cristal que contiene los dos extremos del hilo y el cebo, que ha solido hacerse de algodón pólvora. Despues se ataca con arena al rededor del cartucho y por último con piedra menuda y arcilla.

Ventajas é
inconvenien-
tes en la
práctica.

El sistema descrito tendrá buena aplicacion para verificar esplosiones de grandes masas de terrenos, y para las que hayan de tener lugar debajo del agua. El costo que ocasiona y la dificultad, aunque no de consideracion, en el manejo de la pila, hace mas difícil su empleo en los casos comunes por no poderse fiar la operacion á los obreros.

El Ingeniero Verrier para la esplosion de rocas submarinas en el Puerto de Brest, empleó en 1857 esclusivamente y con gran éxito con cargas de agua de 8 metros las mechas de seguridad de Brickford cubiertas con gutta percha y con el alma de pólvora dispuesta para producir una combustion mas activa que las mechas ordinarias.

Las ventajas que creia encontrar con este método eran evitar el tener que introducir en las cajas cargadas con 64 kilogramos de pólvora las mechas ó cebos de Statham ú otro cuerpo análogo espontáneamente esplosible por el choque y el rozamiento ó por la compresion, los cuales tienen que emplearse cuando se hace uso de la electricidad y es peligroso. También encontraba inconveniente en que la gran longitud del conductor eléctrico necesaria para poner al que operase fuera del peligro de la esplosion, tendria el inconveniente de esponer la caja que sumerge el buzo á desplazarse por las corrientes, durante todo el tiempo necesario para evitar las valsas y aparatos que sirven para sumergir las Scafandras.

Sin embargo en el Puerto de Argel se ha empleado tambien ademas del sistema anterior, el de la pila eléctrica. Respecto de las ventajas de estos sistemas y de las modificaciones introducidas empleando frascos en vez de caja y otros detalles interesantes se indican en los anales indicados antes, núm. 11 Noviembre de 1857.

Puede verse el tratado de Moncel *sobre las aplicaciones de la electricidad*, publicado en Francia en 1853, en el cual se indica la disposicion de las pilas para las diversas aplicaciones.

Escritos que pueden consultarse

Tambien en los *Anales de minas de Francia de 1852*, se detallan las operaciones verificadas para la esplosion por medio de las pilas; la disposicion de los hilos y diversas circunstancias muy útiles para la práctica.

Los estudios verificados por el comandante de Ingenieros D. Gregorio Verdú (nuevas minas de guerra, etc., 1854) han dado á conocer los medios mas convenientes de aplicar la electricidad á la explotacion ó voladura de las rocas. Extractaremos las indicaciones que se hacen en la referida memoria como aplicables al caso que nos ocupa.

Cuando en un conductor metálico que pueda comunicar por sus extremos con los dos polos de una pila, se forma una solucion de continuidad y se interpone en ella un alambrito de hierro ó de platino, la ignicion de este metal interpolar en el momento mismo en que se cierra el circuito eléctrico, es suficiente para inflamar la pólvora.

Estudios del Ingeniero Verdú sobre el método de aplicar la electricidad.

Este efecto de la electricidad dinámica ó producida por la pila, es el que principalmente se ha tratado de utilizar para dar fuego á las minas militares, empleándose con este objeto pilas hidro-eléctricas de un solo líquido como las de Wollaston y de Munck, ó bien las llamadas de *corriente constante*, como las de Daniel y Bowen. Para conductor metálico se han usado cintas de cobre rojo y con preferencia alambres del mismo metal, á veces revestidos de una sustancia aisladora; pero generalmente descubiertos ó sin aislar.

Bien se concibe que el efecto físico que en este caso se quiere obtener con la pila, á favor sin duda de la diferencia de conductibilidad entre el cobre del circuito y del metal interpolar, ha de ser bastante enérgica, pues es necesario por lo menos una temperatura de 500° para calentar, hasta la candencia, el alambrito de hierro ó de platino; de manera que si se quisiera conseguir por este medio la inflamacion de la pólvora á distancias que solo escediesen de 300 varas, se necesitaria ya una pila de gran poder, no solo por el número, sino por la superficie de sus elementos, puesto que se requieren á la vez, para producir este efecto, intensidad y tension de la corriente eléctrica.

En 1851 se ensayó en Inglaterra el sustituir al alambrito de hierro ó platino un tubito de gutta-percha, cuyas paredes interiores se hallaban revestidas de sulfuro de cobre. El aparato electromotor se compone de cierto número de pilas pequeñas construidas segun los principios de Wollaston. Cada una está formada de una caja de gutta-percha con doce separaciones, en las que se introducen igual número de pares de zinc y cobre de unas 5 pulgadas cuadradas. Al liquido escitador se sustituye arena cuarzosa, humedecida con agua acidulada por ácido sulfúrico; pero este procedimiento no da corriente constante y no ha correspondido á su objeto.

Aplicando por primera vez el uso de las llamadas *corrientes de induccion*, y estudiando con repetidos experimentos los efectos de estas corrientes sobre varios compuestos químicos inflamables ó esplosivos, ha logrado el Sr. Verdú obtener un medio sencillo y práctico, ademas de ser económico y seguro, de inflamar la pólvora á distancias casi ilimitadas.

El procedimiento se compone de cuatro partes principales, á saber:

- 1.^a Pila hidro-eléctrica, que se reduce en este caso á un solo elemento de Bunsen.
- 2.^a Multiplicador de corriente de induccion.
- 3.^a Conductor metálico aislado con gutta-percha.
- 4.^a Cebos de mina, que por su inflamacion producen la de la pólvora

La pila consta de un vaso de porcelana, un cilindro de zinc, un vaso de barro poroso y un prisma de carbon. El vaso se carga con agua acidulada por $\frac{1}{8}$ á $\frac{1}{10}$ de ácido sulfúrico, y en el vaso poroso en que se introduce el prisma de carbon se echa ácido nítrico. El cilindro de zinc y el prisma de carbon llevan piezas metálicas con sus llaves para establecer las comunicaciones.

El multiplicador consta de una barra cilíndrica formada de varios trozos de alambre de hierro de igual longitud, soldado por sus estremidades; al rededor de ella va arrollado un hilo de cobre de una línea próximamente de diámetro, aislado con seda y goma laca y que puede comunicar por medio de una pieza metálica con uno de los polos de la pila. Despues de dar 300 vueltas al rededor de la barra, termina en un martillo de hierro dulce que descansa sobre una columnita de metal. La parte superior de esta y la inferior del martillo están cubiertas de chapitas delgadas de platino para facilitar el contacto. Hay otro alambre de cobre que puede comunicar con el segundo polo de la pila, y termina en la parte inferior de la columnita.

Sobre el alambre anterior da 25 á 30000 vueltas otro de $\frac{1}{6}$ de línea próximamente y aislado del mismo modo; sus dos extremos comunican con dos vástagos de metal fijos por abrazaderas á una barra de vidrio; estos vástagos constituyen los polos de la corriente de induccion.

Cargada la pila y establecida la comunicacion con este aparato, se forman corrientes enérgicas, y cuando por medio del alambre se aproximan los dos polos, hay una sucesion rápida de chispas enérgicas que se trasmiten por los conductores metálicos, cuyos límites no se han podido determinar, conservando la intensidad suficiente para inflamar la pólvora.

El conductor eléctrico es un alambre de cobre rojo de $\frac{3}{4}$ de línea próximamente de diámetro, aislado con una ó dos capas de gutta-percha. Cuando está revestido con dos capas aislantes, la segunda ó exterior suele hallarse mezclada con 2 ó 3 centésimas de azufre á fin de que resulte mas inalterable y menos flexible. Tambien pueden revestirse de plomo los conductores. El

diámetro total del conductor es de 5 á 4 líneas; para reunir los dos extremos se descubren quitando la gutta-percha en 2 ó 3 pulgadas; se limpian, se aplican uno con otro y se retuercen con alicates.

Los cebos eléctricos se componen de pequeños tubos de gutta-percha revestidos en su interior de sulfuro de cobre. Con este objeto se incorpora con aquella sustancia una décima parte de flor de azufre, se trabaja esta masa en caliente en una cápsula de porcelana puesta en baño de arenas hasta que adquiera la mezcla el mayor grado de homogeneidad posible; con esta pasta se cubren trozos de alambre de cobre de $1\frac{1}{4}$ á 2 pies de longitud y del mismo diámetro que el del conductor; pasados algunos días se sacan, estirando á lo largo el alambre, pequeños tubos de 4 ó 6 pulgadas de longitud, haciendo antes con un cuchillo las incisiones correspondientes. La capa de sulfuro de cobre adherida debe ser muy delgada y conviene ensayarla; se cortan en trozos de $\frac{2}{3}$ de pulgada, y hácia el medio se practican dos incisiones oblicuas.

Por otra parte se han cortado trozos de unas 12 pulgadas de alambre de cobre revestido de gutta-percha, en que el espesor de la capa aislante es mucho menor que la del conductor eléctrico descrito; se descubren las estremidades de estos alambres, y despues de limpias y estañadas se introduce una de cada trozo por el tubito de gutta-percha, debiendo quedar separadas entre si una ó dos líneas; luego se retuercen los alambres.

En tal estado quedan preparados los cabos para recibir el fulminato de mercurio, que debe desecarse de antemano por cortas porciones, para evitar accidentes: se amasa este con un poco de agua espesada con goma, y de esta pasta se van colocando pequeñas porciones (como una lenteja) entre las dos estremidades metálicas; se pone por encima un poco de polvorin, se deseca y queda terminado el cebo; mas para mayor seguridad debe encerrarse en un dedal de gutta-percha lleno de pólvora.

El método general de emplear los aparatos para la voladura de los hornillos ó barrenos es el siguiente :

Se supone colocado el aparato en el punto conveniente y el conductor tendido hasta el punto en que se ha de prender el hornillo ó barreno; se une la estremidad del conductor con una de las del cebo retorciéndolas una en otra ó sirviéndose de un tornillo de presion; la segunda estremidad del cebo se deja en comunicacion con la tierra por medio de un trozo de conductor aislado ó sin aislar de 4 á 5 pies de longitud, lo suficiente nada mas para que salga fuera de la caja que contiene la pólvora.

Para facilitar esta comunicacion con la tierra, ó el paso de la corriente eléctrica al depósito comun, se fija el extremo de este trozo de alambre á una aguja de hierro de un pie de longitud, estañada en su punta, que se introduce en el suelo. No habria inconveniente en suprimir esta aguja de hierro y clavar directamente en la tierra la estremidad del alambre. La del conductor principal próximo al aparato se fija á uno de los polos de la corriente de induccion; el segundo polo permanece en comunicacion constante con el suelo por medio de un pequeño trozo de alambre y una aguja de hierro.

Introducido el cebo en el centro de la pólvora y atracado el hornillo sin necesidad de canales, se da fuego instantáneamente en cuanto se establece la comunicacion de la pila con el aparato, por medio de una llave al efecto. Tambien podrian producirse varias explosiones simultáneas, haciendo comunicar los cebos entre sí, la estremidad del 1.º con el conductor principal y el último con la tierra. No hay límites conocidos de las distancias ni del número de los hornillos ó barrenos.

La ventajas principales de este sistema sobre los antiguos, son: obtener instantáneamente y con toda seguridad la inflamacion de la pólvora á largas distancias; pues la longitud disponible del conductor empleado y tendido en línea recta en los esperimentos verificados en Guadalajara, era de 4000 varas: mayor comodidad que con las grandes pilas: uso de un solo conductor metálico aislado que no se altera y puede hasta pasar por debajo del agua: posibilidad de verificar explosiones simultáneas: economía y facilidad de trasporte de los aparatos.

Rocas re-
calcitrantes

Cuando la roca que se explota esta compuesta de cuarzo ó de piritas de hierro ó cobre, no producen efecto los barrenos y es preciso desagregar la roca por la accion del fuego y despues desmontarla á pico.

Para verificarlo se encienden hogueras en toda la parte que ha de atacarse de modo que la llama este en contacto con ella, sosteniendo el fuego hasta tanto que se agriete la roca.

Nueva pólvora de mina.

En la Revista de obras públicas, núm. 14 de 1858, se describe una mezcla para reemplazar la pólvora en los barrenos, ensayada por el Ingenio de caminos Sr. Parellada, en las obras de Cataluña compuesta de:

Nitrato de potasa.	58 granos.
Flor de azufre.	16
Serin..	26

100

Ademas de la mayor seguridad que ofrece esta mezcla resulta tambien gran economía de su empleo, pues calcula el Ingeniero referido puede ahorrarse 1,45 real en metro cúbico de desmonte en roca empleando este en vez de las pólvora comun.

En la revista indicada se detalla el método que es necesario adoptar para emplear esta mezcla, y el de fabricarla.

Herramientas de cantera.

La fig. 54 representa los martillos y almadenas que se emplean para la explotacion de canteras.

Fig. 55. Punterola.

Fig. 56. Barrenos.

Fig. 57. Atacadera de lodar.

Fig. 58. Cucharilla.

Fig. 59. Aguja.

Fig. 60. Atacadera de la carga.

Taludes.

Segun sea la calidad del terreno así deben tener los costados de las escavaciones mayor ó menor inclinacion para que puedan sostenerse. En los desmontes se da el nombre de talud á la inclinacion referida.

Inclinacion de taludes en los desmontes.

En los terrenos flojos, como sucede en los de acarreo ó aluvion cuando están poco unidas entre sí las partes de que están formados, hay necesidad de dar gran inclinacion á los taludes, á veces dos de base por uno de altura (Fig. 61). Sin embargo, en esta clase de terrenos de piedra rodada mezclada con arena hay algunos que son muy consistentes, y en este caso solo exigen medio de base por uno de altura.

Terrenos de acarreo.

En las tierras vegetales flojas se da generalmente al talud uno y medio de base por uno de altura, y cuando estas tienen alguna mas consistencia, se hacen de uno de base por uno de altura.

En las tierras vegetales.

En los terrenos arcillosos puede adoptarse, segun el ingeniero Mr. Sazilly ha demostrado por ejemplos prácticos, la inclinacion correspondiente á uno y medio de base por uno de altura. Si se hiciesen de inclinacion mas suave ó tendida, presentarian mas superficie á las influencias atmosféricas que producen los desprendimientos de las tierras, y en este caso seria conveniente revestir con una capa de tierra, el talud. Si se adoptase 45° de talud en estos terrenos, habria mas esposicion á desprendimientos.

En las arcillas.

Las diferentes clases de rocas pueden tener tambien distinta dureza. Así es que cuando las rocas son cretáceas se adopta un sexto á un cuarto de base por uno de altura; sin embargo se presentan casos en que estas rocas contienen bolsas de aluvion que se llenan fácilmente de agua y facilitan los deprendimien-

En las rocas.

los, siendo necesario darles mas talud por esta causa; pero como generalmente por la parte superior es en donde se presentan estas bolsas, siendo mas consistentes en la inferior, se pueden adoptar dos taludes, haciendo el de la parte superior mas tendido que el inferior.

En las rocas no estratificadas, á no ser que presenten alguna escepcion particular, pueden hacerse sus paredes verticales, y aun á veces se hacen en talud inverso ó voladizas, sin embargo que para verificar esto cuando quiera economizarse desmonte, es necesario asegurarse bien de la calidad de la roca, y estudiar si será de fácil descomposicion en lo sucesivo, pues en este caso no debe adoptarse dicho medio.

Hay rocas no estratificadas, como los granitos, que suelen alterarse por la accion de la atmósfera y del hielo, se descomponen, y dan lugar á desprendimientos por esta causa; en este caso hay que dar el talud que segun las circunstancias se juzgue conveniente. A veces cuando las cortaduras son de mucha profundidad, se hacen escalones en vez de un talud continuo en toda la altura del desmonte.

Cuando las rocas son estratificadas, y sus capas horizontales, se pueden hacer los cortes como en el caso anterior. Las capas suelen estar atravesadas por otras verticales ó casi verticales, esquistasas, y en este caso es necesario adoptar un talud de pequeña inclinacion.

Lo mismo sucede cuando las capas por su inclinacion están espuestas, á causa de la naturaleza de la roca, á resbalar ó descomponerse fácilmente, en cuyo caso lo mejor es, si se puede, escoger para la traza del camino la parte opuesta de dichas capas, segun se indica en *a* (Fig. 62)

Cuando los terrenos son muy consistentes, es inútil aumentar la inclinacion de los taludes á medida que aumenta la profundidad de la cortadura ó desmonte. En los terrenos flojos es conveniente tomar esta precaucion; y en este caso es necesario tratar de hacer los desmontes poco profundos; pues sucede, que con el peso de la parte superior del terreno cede la inferior, y

Inconvenientes de dar gran profundidad á los desmontes en ciertos casos.

y se producen desprendimientos en las paredes de la cortadura.

Segun observaciones verificadas en varios caminos de hierro ingleses, hay esposicion en dar una profundidad á los desmontes mayor de 22, á 25 metros, cuando el terreno es de grava y arena.

En la instruccion para construir las carreteras de Prusia, formada por el gobierno de este pais, se marcan para los desmontes en general tres de base por uno de altura en las tierras comunes, cuando están espuestas al Norte, y dos por uno en los demas casos. Generalmente en los caminos alemanes se adopta el uno y medio de base por uno de altura.

Taludes
adoptados
en algunos
países

Segun indica el ingeniero Sazilly seria preferible el determinar la inclinacion de los taludes teniendo en cuenta la naturaleza de las tierras, examinando la que podria darse en cada caso para que no resultasen desprendimientos del terreno. Si este talud no pareciese suficiente para evitar las degradaciones superficiales, se apreciará la inclinacion mas suave que deba darse, calculando el costo que podrá tener. Se calculará también el costo que tendria el adoptar un talud mas escarpado y revestido, eligiendo el mas económico.

Observaciones
sobre la
determinacion
de taludes

Para verificar lo anteriormente espuesto, establece Sazilly varias fórmulas, en las cuales hay ciertas cantidades que es necesario conocer directamente. Estas son, el talud natural de las tierras, segun la naturaleza de ellas, y la mayor altura á que pueden sostenerse sin que se produzcan derrumbamientos ó desprendimientos cuando no esté cortado el talud. Tambien exige el conocimiento de la inclinacion que seria necesario dar al talud para que las degradaciones superficiales que se forman por las causas atmosféricas, no tuviesen lugar.

No es posible obtener ninguno de estos datos antes de empezar un desmonte, pero podrá compararse la clase de terrenos de que se trate con otros análogos conocidos, viendo por ejemplo los escarpes que tienen las tierras de caminos abiertos en terrenos de la misma clase. En cuanto á la inclinacion con-

veniente para que no esperimente degradaciones, la determina la experiencia del constructor ó ejemplos análogos. Cuando se calcula la inclinacion con objeto de hacer revestimientos con semillas, puede ser de 1,20 ó 1,50 de base por uno de altura.

Establece Sazilly fórmulas para la comparacion de diversos casos, aplicándolas á cuatro ejemplos en los cuales se ve la importancia que tiene la buena eleccion, cuando son muy profundos los desmontes, y muy inclinado el perfil transversal del terreno.

A pesar de la utilidad que podrán tener en algunos casos las fórmulas espresadas, su aplicacion directa no podrá hacerse en la mayor parte de los casos que se presenten al ejecutar un desmonte ó al presupuestarle en un proyecto; y por esta razon no las extraemos.

Ejecucion
de taludes

Para dejar los taludes de los desmontes concluidos y conseguir en lo posible que formen el plano ó superficie curva que ha de quedar, segun estén en partes rectas ó curvas, es necesario verificar algunas operaciones que vamos á indicar.

Marcar las
directrices
del talud

A uno y otro lado del eje del camino se toman las distancias á que ha de quedar el borde superior del talud, dada que sea la inclinacion de este, segun se ha indicado para las diversas clases de terrenos; y marcados diversos puntos, se tiran cuerdas de unos á otros sujetándolas con grandes clavos ó estaquillas, ó bien marcando la línea sobre el mismo terreno.

Obtenidas las líneas inferior y superior del talud, se desvasta sin llegar á la superficie definitiva que ha de quedar, y se abren maestras ó directrices de alto á bajo a, a, a', a' (Fig. 63) á distancias próximamente de 5 metros, las cuales deben estar en un plano vertical normal al eje del camino, para que el talud que se tome sea el verdadero.

Para dejar estas maestras con la inclinacion conveniente, es necesario tener baibeles ó plantillas espresamente construidas con dicha inclinacion.

Se componen estas plantillas (Fig. 64) de un reglon bl en

cuyo extremo *b* se pone un bastidor cuadrado *bcd*e con una plomada en *e* y la señal marcada en *bd*, con arreglo á la inclinacion que ha de tener el talud. Tambien se puede disponer de modo que cuando el liston *ac* quede vertical, el region *lb* quede con la inclinacion que se quiere obtener (Fig. 65).

Abiertas las maestrias, se desmontan las partes intermedias, guiando la operacion por medio de otras maestrias normales á las primeras, ó bien por medio de reglones que se van presentando, hasta que se apoyan en las maestrias directrices.

En las partes curvas es necesario abrir tanto mas próximas las directrices, cuanto menor sea el radio, para que no resulten inflexiones ó garrotos tan marcados como sucederia si se hiciesen aquellas muy separadas (1).

Aparatos mecánicos para desmontar.

A los medios comunes de verificar las excavaciones, se han tratado de sustituir máquinas con el objeto de poder ejecutar aquellas con mas velocidad y menor gasto cuando los desmontes son considerables

El escavador americano de Cochrane, se empleó primero en los Estados-Unidos, generalizándose despues para la ejecucion de caminos de hierro, y entre ellos el del Havre. Consta de una máquina de vapor de 12 á 15 caballos de fuerza, colocada sobre una plataforma móvil; de una grua y de una gran pala cóncava ó escavador de hierro, cuyo corte está dentado.

Escavador americano.

El movimiento se trasmite al escavador por medio de unas cadenas que se arrollan á un torno y pasando por una polea fija en la parte superior de la grua, vienen á unirse al escavador. Una de las cadenas está destinada á producir el movi-

(1) En el *Aide memoire* de Laisne se incluye un cuadro y método para calcular las alturas y las bases de los taludes cuando se conoce el talud natural de las tierras y la altura que puede darse á una excavacion vertical sin que se destruya.

miento que hace introducir dicho escavador en el terreno, y las demas á separarle y conducirle al punto de descarga.

Colocado el escavador á la altura conveniente para verificar el desmonte, se afloja un tope y cae sobre el terreno introduciéndose en él por su propio peso. La máquina de vapor actua despues en una cadena, la cual arrastra oblicuamente el escavador para llenarle, y despues por medio de otras cadenas se levanta, gita la grua y se verifica la descarga en los carros, llenándolos en un minuto próximamente.

Este aparato funciona bien en terrenos arenosos ó de grava, y en los cretáceos; y en general en todos aquellos que no se adhieren á las paredés de la pala. La altura máxima á que puede actuar es de unos 10 metros. Cuando la escavacion tiene mayor altura se verifica por capas. Este aparato ejecuta la obra de 80 á 90 peones.

El empleo de esta máquina aunque ventajoso en determinadas circunstancias, saldria caro en España. En Francia el coste de cada una de las empleadas en el camino de hierro del Norte, fué de 156,000 reales.

Puede verse el dibujo de esta máquina, entre otras obras, en el manual del *Terrasier* de la Enciclopedia *Roret* y un dibujo pequeño y descripcion de él en el *Boletin de caminos* de 1844, pág. 27.

Ademas del coste de primer establecimiento hay que contar con el sueldo de un maquinista y del encargado de las maniobras. Las reparaciones de la máquina importaban en el camino citado de 3,000 á 4,000 rs. mensuales. Contando con estos gastos y el del combustible, ha resultado el costo del metro cúbico de desmonte á 1,51 reales, verificado el cálculo en un desmonte de 20,000 metros cúbicos.

Arados.

Otros aparatos empleados para remover las tierras son los arados, los cuales pueden ser de mayores dimensiones que los empleados comunmente en la labranza; tienen poca aplicacion en los desmontes de carreteras, pero pueden ser útiles cuando hay que extraer tierras en grandes superficies para emplearlas

en terraplenes. Este método puede ser conveniente para no verificar zanjas profundas y aplicable en el caso que la capa de tierra vegetal sea gruesa, pues de lo contrario quedaría poco dispuesto para las producciones agrícolas.

DATOS RELATIVOS Á LA MANO DE OBRA EN LAS ESCAVACIONES.

Del Manual de caminos de Gaiffier enciclopedia-Roret, tomados en su mayor parte de la obra de Anselin, *Experimentos sobre la mano de obra* de las diferentes que dependen del servicio del Ingeniero.

Se supone día de 10 horas de trabajo y se toma una hora por unidad.

	<u>Horas.</u>
1.º Un metro cúbico de escavacion de tierra comun algo mézclada (resultado de 4 experimentos)	0,60 á 0,75
2.º id. turba ó fango (3 esp.)	0,78 á 1,50
3.º id. arena suelta ó grava id. (2 esp.)	0,43 á 1,48
4.º id. tierra ligera	0,80
5.º id. tierra comun	0,90
6.º id. grava compacta (4 esp.)	1,21 á 1,87
7.º id. arcilla	1,40 á 1,50
8.º id. margá (2 esp.)	2
9.º id. toba	3,50
10 id. toba mézclada con piedra	4,95
11 id. toba petrificada	5,60
12 id. toba y grava	6
13 id. roca á barreno	5,6

Escavaciones comprendiendo el arrojar la tierra fuera.

Metro cúbico. Tierra comun echada de 2 á 4 metros de distancia horizontal ó elevada á 1,^m60 sobre la escavacion ó cargada en carro 0,804

Arena ó tierra en el agua metidas las piernas en ella el operario y cargada ó alargada á la distancia de la longitud del brazo.	1,43
Arena ó tierra en el agua elevada á 1, ^m 60 ó arrojada de 2 á 4 metros de distancia vertical ó cargada en carro.	1,67
Tierra comun echada á un costado.	1,16 á 1,70
Tierra compacta mezclada con piedras.	5,57
Toba comun.	4,05
Toba muy dura.	5,40
Fango.	0,78 á 1,90
Roca á barreno.	6
Morrillo.	1,20
Arena.	0,48

Escavacion de segunda cava.

Metro cúbico	Tierra comun algo mezclada.	0,40
	Tierra ligera.	0,88
	Tierra fuerte comun.	1,55
	Tierra dura mezclada con piedras.	1,68
	Toba comun.	2,02
	Toba muy dura.	2,70

Estraccion con la pala.

Metro cúbico	Tierra comun algo mezclada.	0,40
	Tierra dura, piedra, tierra arcillosa.	0,47

Segun Touissant este tiempo es $\frac{1}{3}$ del empleado en la escavacion.

Los números 1 al 4 son tierras que pueden generalmente desmontarse ó escavarse con la azada sin ser necesario deshacer terrones para cargarla. Suele llamarse tierra de un hombre á la cava; que indica que un hombre puede cavar y cargar tanta cantidad de tierra como puede conducir un carretillero á 30 metros sin que tenga este que esperar ó haya exceso de productos de la escavacion.

Sistema de desmonte empleado en cada clase de terreno indicado antes.
Nomenclatura de estos

Desde el número 5 al 8 hay ya generalmente que emplear el zapapico y deshacer los terrones antes de cargar; suele llamarse tierras de hombre y medio. Cuando hay necesidad de un cavador y dos cargadores para suministrar trabajo sin que esperen dos carretilleros que conducen la tierra á 30 metros, de dos hombres. Dé tres si hay dos cavadores, etc. Estos son los terrenos que segun se indica en otra parte suelen desmontarse haciendo dos rozas verticales y una horizontal inferior, introduciendo cuñas ó estacas con azuche por arriba, de este modo se desprenden grandes prismas, obteniéndose mucha economía de jornales.

Para la clase de terreno números 9 al 12 exigen por lo regular para desmontarse abrirse rozas y emplear barras ó palancas y cuñas de hierro, etc.

Suponiendo un operario de mediana fuerza cargando él mismo la carretilla (Clandel y Larroque) en 10 horas de trabajo.

Tierra vegetal de varias clases	9,80
Tierra margosa y arcillosa medianamente compacta	5,90
Tierra compacta dura	5,12
Tierra muy empapada en agua	4,45
Toba de mediana dureza	2,85
Toba muy dura	2,58

En el *Manuel du Terrassier* y otras obras se asignan 15 metros cúbicos para la cantidad que puede escavar empleando

azada un operario en terreno vegetal, arena ó turba en 10 horas de trabajo cargándolos ademas en la carretilla.

La cantidad de tierra que un operario puede arrojar con la pala 1.^m65 á 2.^m de distancia vertical se calcula como equivalente á 12 metros cúbicos á distancia horizontal de 2 á 4 metros en razon á la fátiga mayor en el primer caso.

Obras del ferro-carril de Jerez.

Los resultados obtenidos en varios esperimentos en las obras del Ferro-carril de Jerez al Puerto de Santa Maía y que el Ingeniero Director que fué de éste, Sr. de Mayo, ha tenido la deferencia de proporcionarnos, son los siguientes:

Desmorte en tierra compacta y muy dura y en arcilla.— Mes de Setiembre de 1852, 111 peonadas escavaron 772 metros cúbicos sale por peonada 6,9 metros; algunos operarios hicieron hasta 8,8 pero habia que pagarles á 10 reales de jornal.

Roca, tierra ó arcilla muy dura.—En las circunstancias anteriores salia á 4 metros cúbicos por peonada.

Desmorte en cortadura y puesta la tierra en caballeros.— 476 peonadas hicieron 1620 metros cúbicos ó sea 3,4 metro cúbico por peonada. El desmorte tenia 5 metros próximamente de ancho y 3 metros de profundidad y la distancia media era de 6 metros.

Otras esperiencias dieron resultados análogos.

Desmorte en cortadura de 10 metros de ancho 2 metros de profundidad colocando la tierra en caballeros de 12 metros de ancho y á 6 metros del borde del desmorte.— 358 peonadas hicieron 1211 metros cúbicos sale á 3,4 próximamente por peonada.

Desmorte en cortadura de 3 á 4 metros de profundidad 8 metros de ancho colocando la tierra en caballeros hasta 26 metros de distancia.— 36 peonadas hicieron 103 metros cúbicos sale á 2,86 metros cúbicos por peonada.

Desmorte en cortadura de 4 á 6 metros de profundidad colocada la tierra en caballeros hasta la distancia de 28 metros.—

56 peonadas hicieron 132 metro cúbico sale á 2,27 metro por peonada.

Estos trabajos fueron ejecutados al destajo; echos á jornal resultaban la tercera parte menores.

Estos resultados y cuantos se obtienen en este género de trabajos dan á conocer la disminucion que resulta en la obra ejecutada y por consiguiente el aumento de precio del metro cúbico de escavacion, á medida que es mayor la profundidad y hay que emplear la tierra en caballeros, por lo tanto seria absurdo el calcular el precio por las máximas cantidades que aparecen en los resultados ó por las mínimas sin tenerlo en cuenta y los elementos que indicaremos despues.

Deducion
de los datos

Otros experimentos.

De los experimentos hechos por el Ingeniero Sr. Sanchez Blanco, resultó lo siguiente.

8 operarios en 11 horas de trabajo cavando y estrayendo tierras alternadamente en terreno duro con guijo, hacian 2,43 metros cúbicos por peonada.

Con 7 operarios en terreno análogo en día de 10,5 horas hacian á 3,18 metros cúbicos por peonada.

En otro experimento con 6 operarios en 10 horas de trabajo salia á 2,46 metros cúbicos por peonada.

En experimentos parciales un operario en 9 horas cavando en terreno de legamo duro hacia 2,34 metros cúbicos. En terreno duro de casajo y de arena en 8 horas á 2,75 metros cúbicos.

Segun Tourneux articulo relativo al movimiento de tierras del Diccionario de artes y manufacturas un cavador en terreno comun, hace 8 á 12 metros cúbicos en diez horas. En tierra ya escavada como sucede cuando hay que rellenar nuevamente una zanja con la tierra que se estrajo de ella estando recien removida de 20 á 25 metros cúbicos.

Con la pala puede echar 20 metros cúbicos en 10 horas sea

á tres metros horizontalmente ó á dos verticalmente ó para cargar en carretilla ó carro.

Cuando es terreno en que se tiene que hacer uso de palanca ó barras dos á tres metros cúbicos.

En la excelente instruccion para los sobrestantes publicada recientemente por el Ingeniero Gefe de Valladolid, D. A. Lopez, se asignan precios para las obras de desmontes y terraplenes afirmado y obra de fábrica, teniendo en cuenta las cantidades de trabajo que pueden efectuarse.

Elementos
que componen
el coste
del desmonte

Es necesario para calcular los presupuestos del coste de un desmonte tener en cuenta no solo la profundidad de este como se ha indicado, sino tambien los diversos elementos que entran en esta clase de obra son ademas de la cava el coste del arreglo de taludes cuyos datos se dan al tratar de estos; si la tierra se hecha á la parte superior del desmonte formando caballeros, la carga elevacion de esta y arreglo de los caballeros; el desperfecto y conservacion de la herramienta; cuando la tierra es dura el gasto para deshacer los terrones. Si se emplea en terraplenes el coste de carga suele agregarse al de conduccion. El rompimiento de cunetas suele á veces incluirse en el del desmonte.

Por de contado que tambien corresponderá al desmonte una parte de los gastos de administracion, vigilancia, replanteo, etc.

Hay que tener presente tambien el sistema que se emplea para las obras, pues á jornal sale mas caro como se indicó al dar los datos del camino de Jerez.

Para los desmontes en roca ademas de los datos, espuestos se dan otros al tratar de la piedra para el firme.

El desmonte á media ladera será en general menos costoso que en cortadura, pues los productos de aquel irán formando sucesivamente el terraplen del costado opuesto.

Sustitucion
de tuneles á
cortaduras.

El gran aumento de costo en las cortaduras profundas tanto por la dificultad de extraer las tierras cuando hay que elevarlas á los costados, como por la gran anchura de terreno para formar

los taludes así tambien por lo espuestos que estan estos á desprendimientos siendo de gran altura, aparte de otras causas hace que en general se prefieran túneles á cortaduras cuando escede de 20 metros su profundidad. En las carreteras es poco comun el tener que hacer túneles, pues las pendientes pueden ser mayores que en los caminos de hierro que es donde se emplean con frecuencia. No pueden darse reglas fijas para el límite en que conviene adoptar tunel, depende de diversas circunstancias que solo pueden apreciarse en cada caso particular. Cuando sea necesario construir los puede consultarse la obra de Simns y el *Manuel du Terrasier* de la enciclopedia Roret.

Terraplenes

Los terraplenes pueden construirse de dos modos, uno por capas de gran estension y pequeña altura, y otro, avanzando por grandes macha ó capas de altura.

Métodos
de ejecucion

Cuando se construyen por capas delgadas, son estas de 15 á 30 centímetros de espesor, y se disponen de modo que desde las capas inferiores se va formando el escarpe que ha de quedar: tiene la ventaja este método de que resulta mejor apisonado el terraplen por el tránsito de los carros, recuas ú operarios. El empleo de pisones para este objeto, produce poco efecto y no compensa su resultado el esceso de gasto que ocasiona; así es que dicha operacion debe dejarse solo para el refinado de la esplanacion, y para cuando se construyen terraplenes arrimados á muros ó estribos. La construccion por capas delgadas tiene la ventaja, como se ha dicho, de quedar mejor macizado el terraplen á medida que se forma, sin dejar huecos en el interior, y por consiguiente, no producirse grandes asientos despues de concluidos.

Por capas
delgadas.

El segundo método de formar los terraplenes por gruesas capas ó por *crestas*, volcando los carros y avanzando sucesivamente con el terraplen á lo largo del camino, tiene el grave

Por gruesas
capas ó
crestas.

inconveniente de que despues de concluido y á veces aun cuando pase mucho tiempo, bajan demasiado ó *hacen asiento*. Esta circunstancia tiene lugar, no solo porque no pueden, construirse de este modo, apisonarse tan lentamente como cuando se hacen por capas delgadas, sino tambien porque suelen ir mezclados en mucha cantidad con la tierra suelta, grandes terrones, los cuales dejan huecos en el interior. Cualquiera que sea el método que se siga, es necesario tener peones destinados á deshacer los terrones lo que verifican generalmente con el azadon.

La ventaja de este segundo sistema es el de avanzar la operacion, empleando menos mano de obra al construirlos; pero su conservacion sale mas cara, á lo menos durante los primeros años.

Aumento de
volumen de
las tierras.

Cuando se construye un terraplen debe tenerse presente, que las tierras despues de escavadas ó desmontadas aumentan de volumen, á fin de no hacer escavaciones inútiles y calcular convenientemente la cantidad de tierra que se necesita para formar un terraplen de un volumen dado. Este cálculo es de mayor interés cuando los terraplenes se construyen con tierras de prestaciones, y hay que indemnizar el terreno que se ocupe.

El aumento de volumen de las tierras despues de escavadas viene á ser de un décimo en las tierras flojas, un octavo en las de mediana dureza y un sésto en las tierras fuertes, así que habria de rebajarse esta cantidad del volumen total calculado para la estraccion. Sin embargo, hay que tener presente que los terraplenes hacen asiento despues de contruidos.

Este asiento se calcula en $\frac{1}{25}$ á $\frac{1}{30}$ cuando se hacen por capas, cantidad que debe añadirse á la anteriormente indicada, para deducir la tierra que debe extraerse de la escavacion.

Materiales
que se em-
piean en los
terraplenes.

Hemos supuesto anteriormente que se construian los terraplenes con tierras sueltas, que son las mas convenientes para formar un macizo homogéneo. Pero puede suceder haya que

construirlos con tierras arcillosas ó arenas, y en este caso se ocurren mayores dificultades. En una seccion especial, en que se trata de la consolidación de taludes, se indicarán los medios de ejecucion que deben adoptarse en los casos indicados.

Suelen construirse tambien los terraplenes en la proximidad de las poblaciones con cascote ó escombros procedentes de derribos; pero en este caso los asientos pueden ser mayores por los huecos que resultan y seria necesario tener la precaucion de partir los materiales reduciéndolos al tamaño menor posible, y rellenar con tierra los huecos. En el mismo caso se está cuando se construyen *pedraplenes* ó sea empleando piedra en vez de tierra.

Para subir las tierras á las capas superiores de un terraplen cuando se va elevando este y se toma la tierra de los costados, es necesario formar rampas cuyo ancho se hace generalmente de 1,5 metros, introduciendo la mitad de esta anchura en el macizo que ha de quedar del escarpe, con el objeto de que al concluir esté compense la parte escedente de tierras el corte que se abrió en dicho escarpe.

Rampas.

La inclinacion que se da á los escarpes de los terraplenes varia segun la naturaleza de las tierras que se emplean. Generalmente en tierras vegetales convendrá hacer siembras, pudiendo adoptarse así inclinaciones de 1,5 de base.

Inclinacion de los escarpes y revestimientos

Debe compararse en cada caso la inclinacion mas conveniente, bien sea con la tierra sola ó con revestimientos, y ver cuál es lo mas económico. Hay que tener presente tambien que, adoptando escarpes muy fuertes revestidos, podrian resultar asientos y deformaciones dislocándose el revestimiento. Las tierras mas fuertes son las que permiten escarpes mas inclinados; pero tambien son las que experimentan asientos mayores.

No seria prudente el revestir escarpes cuya inclinacion fuéese mayor de 45° en tierras cuyo talud natural sea mayor que este. En el caso de verificarlo, habrá que esperar que el terraplen haga el asiento conveniente.

Refinado
de los escar-
pes.

Los escarpes de los terraplenes no deben refinarse hasta que estén completamente concluidas todas sus demás partes, pues de lo contrario habrá que volver á ejecutar la operacion con el aumento consiguiente de gasto. El refinado se ejecuta de un modo análogo al que se indicó para los taludes de los desmontes, es decir, formando maestras por medio de reglones, baibeles y cuerdas. Para igualar y macizar se emplean pisones como el representado (Fig. 66), cuya parte plana es de madera dura ó de hierro.

Cerchas
para guiar la
construc-
cion.

Con el objeto de no echar mayor ó menor cantidad de tierras que la necesaria, ó al menos verificarlo con mayor aproximacion, se colocan *cerchas* ó maestras á ciertas distancias. Se componen estas sencillamente de un liston vertical y otro inclinado con el escarpe que debe quedar, el cual se clava á la parte superior del primero, arriostrando ambos por medio de travesaños. Cuando no se trabaja mas que un trozo, puede esta cercha irse corriendo á medida que avanza el terraplen. Para colocarle se toma la distancia correspondiente desde el eje del camino.

Costo de los
terraplenes.

Segun la altura del terraplen, así es mas ó menos costosa su construccion, del mismo modo que cuanto mayor sea la distancia de que hayan de traerse las tierras. En los apéndices se insertan datos para su cálculo.

Refinado.

Hemos observado que un operario ó *arreglador* puede dejar perfectamente concluidos en un dia de 10 horas de trabajo, 20 á 24 metros cuadrados, empleando la azada y pison. Este trabajo debe entenderse estando ya hecho el desvaste principal.

Observacio-
nes sobre las
herramien-
tas.

Terminaremos esta seccion haciendo algunas observaciones relativamente á las herramientas.

El zapapico para poderse manejar con facilidad, debe pesar á lo mas unos 2,5 á 5 kilogramos, sus extremos deben estar acerados, y su mango tener 0,5 metros próximamente de longi-

tud. La azada debe ser de hierro forjado, y tener el corte acerado, pues sirve tambien para desmontar tierras flojas; su peso generalmente es de 2 á 3 kilogramos.

La pala de hierro puede ser de mango recto, ó con vuelta, modelo inglés; estas son las mejores por la mayor comodidad que presenta su manejo, no teniendo que bajar tanto el cuerpo el operario. La pala inglesa tiene generalmente la forma cóncava, lo cual es muy conveniente, en particular para el desmonte de terrenos fangosos.

Las palas comunes que suelen encontrarse en el comercio son generalmente de palastro y duran poco. El grueso de estas debe ser unos tres milímetros para que tenga la suficiente resistencia.

TERCERA SECCION.

TRASPORTE DE LAS TIERRAS.

El conocimiento del tiempo necesario para trasportar el volumen de tierras estraido de los desmontes á los terraplenes ó puntos de depósito, es un dato esencial para poder formar los presupuestos de una carretera; y en la ejecución de las obras es indispensable, si han de disponerse las cuadrillas del modo conveniente, para que no haya pérdida de tiempo en las operaciones.

Diversos
modos de
trasportar
las tierras.

Los trasportes pueden verificarse de varios modos: en carretillas conducidas por operarios, en carretones ó *volquetes* conducidos por los mismos, en carros, en recuas, y solo por operarios en espuestas. La conduccion en wagoes no es un medio comun de verificarlo en obras de carreteras, sin embargo haremos algunas indicaciones sobre este medio de transporte, despues de haber descrito los demas. Empezaremos por la conduccion en carretillas

Conduccion
en carreti-
llas.

La distancia que puede andar un carretillero desde el sitio donde carga hasta el de descarga ó parada, para que no haya pérdida de tiempo en las operaciones, es mayor ó menor segun que al llegar al punto de carga tenga que esperar ó no á que carguen la carretilla. Deben considerarse separadamente las operaciones de carga, y de conduccion, pues deben ser operarios distintos los que las ejecuten.

La capacidad de las carretillas se supone sea $0,04^m$ c., el tiempo que se tardará en cargar una carretilla siendo 15 metros cúbicos la cantidad que puede cargar en 10 horas un operario

$$\frac{10 \times 0,04}{15} = 0,027 \text{ de hora.}$$

Longitud de
las paradas.

Sabiendo por la observacion lo que al paso regular puede andar un operario que conduce una carretilla en 10 horas de trabajo, y el tiempo que se tarda en cargar ésta, se podrá deducir la distancia de las paradas para que no haya pérdida de tiempo. Estas paradas son los puntos de descarga, ó los de relevo en que haya carretillas ya vaciadas y devueltas, para que las recojan los carretilleros que conducen las llenas.

Siendo 30000 metros la distancia que puede andar un carretillero en 10 horas, contando con los descansos necesarios, en terreno próximamente horizontal; y suponiendo, como se dijo antes, que en el mismo tiempo se cargan 15 metros cúbicos, y que cada carretilla contiene la fraccion $\frac{1}{a}$ de metros cúbicos, se tendrá

$$\frac{30000}{15} \frac{1}{a}$$

para la distancia que recorrerá el carretillero de ida y de vuelta al punto de descarga ó parada; y por consiguiente la longitud de cada parada,

$$d = \frac{30000}{2 \times 15} \frac{1}{a} = \frac{1000}{a}$$

Siendo 0,04 metros cúbicos la capacidad de la carretilla, resultan 40 metros para la distancia que debe haber al punto de descarga ó relevo, para que no haya pérdida de tiempo; es decir, que el carretillero encuentre cargada la carretilla que ha de conducir, y suelte la vacía; esto suponiendo que hay un cargador por cada carretillero (1).

Si el punto de descarga estuviese á mas de 40 metros de aquel en que se carga, se establecen *relevos* dividiendo el camino de 40 en 40 metros; pero en éste caso puede convenir el emplear para los trasportes recuas ó carrós.

Si se representa por D la distancia de descarga, por P el precio del jornal del obrero, por x el precio del metro cúbico de desmonte cargado y trasportado á la distancia D la cual corresponde á $\frac{D}{40}$ *relevos*. Se tendrá que este precio estará compuesto del correspondiente á dicho transporte y al de carga, tiempo que es equivalente al empleado en un relevo.

$$x = \frac{P}{15} \left(\frac{D}{40} + 1 \right)$$

Para no tener que perder tiempo si no se llegase exactamente con la carretilla vacía cuando se ha llenado otra, se tienen dos ó tres cargadas.

En cada caso pueden hacerse experimentos relativos al tiempo de carga, y demás datos necesarios; sin embargo, pueden tomarse los anteriores resultados como bastante aproximados en la práctica. Las cantidades tomadas para la carga se entienden en el concepto de ser tierras comunes las que se trasportan. Cuando sean tierras fangosas solo se toma próximamente 6 metros cúbicos para el trabajo efectuado en el mismo tiempo, y 8 á 9 metros cúbicos cuando sea piedra.

(1) Para otra capacidad de carretilla deberá hacerse el cálculo correspondiente.

Deducion
de la distan-
cia indicada
para las pa-
radas.

El trabajo útil del hombre en 10 horas andando con velocidad de 50 centímetros por segundos trasportando 60 kilogramos de tierra en una carretilla, volviendo de vacío es de 1080000 kilográmetros tomando por unidad de la cantidad de acción un kilogramo trasportado á un metro. Sabiendo el peso de un metro cúbico de tierra se puede calcular la longitud de los trozos ó relevos para el transporte en carretilla, para extraer en el día una cantidad dada de tierra. Suponiendo 12 metros cúbicos el trabajo del cavador, 1820 kilogramos el peso del metro cúbico de tierra se ha deducido los 30 metros que se asignan generalmente para el transporte en carretillas. Para el transporte vertical 20 metros.

Los carretones tienen dos ruedas y se conducen por dos ó tres operarios, siendo la forma aproximadamente como la de los carros de varas, y su capacidad de 0,2 metros cúbicos.

También es necesario cuando se emplean estos vehículos el calcular las paradas de modo que el tiempo que se emplee en llegar á ellas y volver sea el mismo que se emplee en la carga.

Carga y
conduccion
en volquetes

El tiempo empleado en cargar un volquete arrastrado por tres obreros de 0,2 metros cúbicos de cabida en 10 horas por dos operarios, siendo 15 metros lo que carga uno, estará expresado por

$$\frac{10 \times 0,2}{30} = 0,067.$$

La distancia d será dada por la expresion

$$d = \frac{30000}{2 \times 30} \frac{1}{a},$$

siendo como antes $\frac{1}{a}$ la capacidad del carretón ó 0,2 metros cúbicos. En este caso se obtienen 100 metros para la distancia de la parada ó descarga, la cual se reduce á 85 ó 90 metros próximamente en razon al tiempo que se emplea en descargar.

Siendo 100 metros la distancia calculada para las paradas

empleando volquetes, y suponiendo que para vaciarlos se necesita casi el mismo tiempo que para recorrer 50 metros, si hay varios relevos, el último se disminuirá de la mitad de dicha cantidad, y resultará de 85 metros solamente. De este modo una distancia cualquiera D se convertirá en el número de relevos

$$\frac{D-85}{100} + 1.$$

Ocupándose el mismo tiempo en andar los relevos que el que tardan en llenar un volquete los cargadores, que se supone son dos, costarán estos al día $2P$. Cada relevo está servido por tres operarios cuyo costo será al día $3P$, por lo que el transporte á una distancia D costará

$$3P \left(\frac{D-85}{100} + 1 \right).$$

Los obreros transportan en un día el volúmen de tierras que resulta del trabajo de dos cargadores ó sean 50 metros cúbicos; por lo cual el transporte de cada metro-cúbico equivaldrá á $\frac{1}{50}$ del gasto diario relativo, ó

$$\frac{3P(D-85)}{50 \times 100} + 1.$$

y el precio x de la carga y transporte de un metro cúbico á la distancia D , estará dado por la espresion

$$x = \frac{2P}{50} + \frac{3P(D-85)}{50 \times 100} + 1 = P(0,004D + 0,0082)$$

Dadas las distancias á los puntos de descarga, para decidir el sistema de transporte mas conveniente, se igualarán los valores respectivos de x en cada caso y se deducirá el valor de D sustituyéndole en la espresion correspondiente.

Trasporte de
tierras por
pendientes
con carretillas
ó carretones.

— Cuando hay que establecer rampas para subir las tierras, bien sea empleando como vehiculo la carretilla ó bien el carretón conducidos por hombres, se considera generalmente el 8 por 100 como el limite del cual no debe exceder la pendiente, para que no se experimente gran fatiga, y al mismo tiempo debe procurarse que no sea menor la inclinacion para evitar un gran desarrollo de camino.

Generalmente se refieren los trasportes efectuados por una pendiente al camino horizontal equivalente, con el objeto de señalar la unidad de precio que corresponde, pero no excediendo de 0,925 la pendiente, se considera como camino horizontal.

Pueden suponerse tres casos: primero, aquel en que se ha tomado la pendiente límite del 8 por 100; segundo, cuando la inclinacion es mayor, y tercero cuando es menor.

Segun experimentos verificados se está de acuerdo en considerar el transporte de un volumen dado en carretillas ó volquetes en una pendiente del 8 por 100 á una distancia de 20 metros; como equivalente al transporte en las mismas circunstancias á 30 metros en camino horizontal.

Llamando L la distancia horizontal (Fig. 67) y a la altura que es próximamente $\frac{1}{12}$ de dicha distancia y corresponde á la inclinacion de 8 por 100, se tendrá $L=12a$, y llamando r la longitud ó subida total, $r=\frac{50}{20}L$, ó $\frac{5}{2}L=18a$.

Cuando a sea mayor de $\frac{1}{12}L$, se desarrollan varias rampas de esta inclinacion, y el camino horizontal equivalente es tambien $18a$.

Si a es menor que $\frac{1}{12}L$, se puede dividir en dos partes (Figura 68) de las cuales la una m sea de $\frac{1}{12}$ de inclinacion equivalente á $18a$ como anteriormente. En este caso $L=12a$; por lo que $m=l+6a$ y la longitud ó subida total r será

$$l+l'+6a=L+6h.$$

Por lo que antecede puede verse que á veces será económico llevar las tierras mas lejos, que subir una fuerte pendiente.

Algunos datos relativos á la mano de obra para el transporte en carretillas dan una relacion algo mayor; es decir, que el peso que puede conducir un operario por la pendiente $\frac{1}{12}$ con respecto al que puede conducir en camino horizontal, está en la proporcion de 30 á 15 en vez de 30 á 20; pero esta ultima es la que se toma generalmente.

Con el objeto de llevar cuenta de los viajes que hacen los conductores de carretillas en las obras de carreteras y caminos de hierro ú otras, se ideó por M. Messmer de Gräfenstäden un aparato que se describe en el *génie industriel* de 1854. Es de empleo cómodo basta que el que lleva la carretilla pase por un carril abierto en el bastidor del aparato, al nivel del suelo.

Contador de
carretillas

Las figuras 69 y 70 representan la seccion vertical y la proyeccion horizontal. El bastidor *A* en la base lleva una columna de fundicion *B* en cuyo extremo superior hay la caja *C* que contiene el mecanismo del contador.

Dentro de la caja *A* hay las palancas paralelas *D* montadas en un eje *E* que puede girar sobre los montantes *F* sobre dichas palancas hay una plancha transversal de fundicion *G* que sale de la caja *A* por una ranura rectangular abierta en la parte superior de ella. Esta plancha *G* se encuentra encajonada por dos barras de hierro *K* en el fondo y en el medio de una ranura *H* estendiéndose todo ello á traves de la caja *A* y cuyo fondo está al nivel del suelo.

El extremo opuesto de las palancas pareadas *D* estan sujetos por una riestra *d* que se apoya siempre por medio de una pieza templada sobre un pequeño brazo de palanca *I* que oscila sobre un centro fijo *i* y tiene en la parte posterior un brazo mas largo *J* con un contrapeso. Cuando se actua en las palan-

cas *D*. haciéndolas bajar hacen describir un arco de círculo á la *I* y levantan el contrapeso *J*; cuando cesa la presión este contrapeso coloca todo el sistema en su posición primitiva. Esto tiene lugar cuando pasa la carretilla cargada por el carril *H* y por consiguiente sobre la plancha *G*.

En el extremo anterior de la palanca *I* se articula una varilla vertical *a* cuyo extremo superior que penetra en la caja *C* lleva una rueda catalina móvil *b* representada en la sección transversal figura 71 en mayor escala.

La figura 72 es una vista y sección parcial de frente, en mayor escala.

La *b* guiada por una brida *c* unida á una plancha que sirve de apoyo *f* actúa sobre una rueda de 10 dientes angulares; en el dibujo está oculta por la plancha *f* pero está en el mismo eje que el piñón *c* y que la pieza *i* figura 69.

La rueda de dientes angulares está retenida por un muelle; pero que permite ceder al esfuerzo de la *b*; engrana con otra rueda de 10 dientes angulares *j* sostenida como la anterior por la pieza *k* y un muelle *K'*. La rueda *j* lleva una pieza *l* que engrana en otra rueda mayor, de 20 dientes angulares.

El piñón dentado *e* engrana con una rueda grande rectangular, cuyo diámetro y dientes están con ella en la relación de 10 á 1. En la rueda *n* está fija en eje *o* en cuyo extremo anterior tiene una aguja *p* que gira en el cuadrante graduado *P*.

La rueda *m* está montada en una duela *r* ajustada y móvil en el eje *o*.

Este tubo ó pieza lleva otra aguja *q* que gira en el mismo cuadrante *P* que tiene otra división especial para dicha aguja.

Cuando pasa la carretilla sobre la plancha *G* (teniendo cuidado el operario de no pisar en ella, sino sobre las dos fajas *h* que sirven para encajonar *H*, y proteger la madera de la caja *A*) se ejerce una presión suficiente en la *D* para levantar el contrapeso *J* y hacer bajar la barilla *a* con la pieza *b*, anda la rueda un diente y llamada después por el contrapeso *J* sube. Como la rueda tiene 10 dientes dará una vuelta entera cada 10 carretillas.

Estando las ruedas dentada e y n en la relación de 1 á 10 serán necesarias 10 vueltas de la rueda e ó 100 pasos de carretilla para uno de la n y su aguja p . El cuadrante está dividido en 100 grados y cada carretilla hace avanzar 1 grado la P .

La aguja pequeña q sirve para señalar las centenas. La j guiado por i avanza un diente á cada vuelta de la e y por consiguiente dá una vuelta cuando la e ha hecho 10, ó han pasado 100 carretillas.

La rueda m tiene 20 dientes y la pieza l la hace avanzar un diente á cada vuelta de la rueda j . Por una vuelta de m y por consiguiente de la aguja g tiene que dar 20 la j ó sean 200 de la rueda e ; ó el paso de 2000 carretillas. Las dos agujas andan en opuesto sentido.

Para saber el número de carretillas cargadas que han pasado, bastará tomar el número indicado por la pequeña aguja que es el número de centenas con el número de grados indicado por la aguja grande P . Las carretillas vacías pasan por otro camino á pesar de que aunque pasen por el aparato no pueden levantar el contrapeso J .

Se podía modificar el aparato para que pueda contar mas de 2000 carretillas.

Los carros que se emplean para el transporte de tierras pueden estar tirados por una ó varias caballerías; los construidos espresamente para una sola caballería contienen sobre $\frac{2}{3}$ de metro cúbico, y $\frac{5}{4}$ los tirados por dos.

El empleo de carros es conveniente cuando hay que conducir las tierras á mayores distancias que las indicadas para las carretillas.

Ademas del tiempo empleado en cargar el carro, hay que contar el de descarga y enganche de las caballerías y su desenganche para volcar las tierras.

Trasporte en carros.

dinotio-
Uscari R.
Mogandi ca

Cálculo del tiempo de transporte.

Se admite que un peon en 10 horas de trabajo puede cargar en un carro 12 metros cúbicos de tierra. Siendo C la capacidad del carro en metros cúbicos, el tiempo que tardarán N cargadores incluso el carretero, en llenarle, será

$$\frac{10 C}{12 N}$$

Se admite igualmente como término medio de lo que anda un carro por hora cuando transporta tierras en las obras, contando las pérdidas de tiempo y suponiendo el terreno horizontal, 2800 metros cuando va cargado y 3800 de vacío. La distancia D se andará en el tiempo

$$\left(\frac{1}{2800} + \frac{1}{3800}\right) D = 0,00062 D$$

y tardándose próximamente 0,033 horas en descargar, levantar el carro y enganchar, el tiempo total será

$$\frac{10 C}{12 N} + 0,00062 D + 0,033$$

En el transporte de un metro cúbico se tardará

$$T = \frac{\frac{10 C}{12 N} + 0,00062 D + 0,033}{C} \quad (1)$$

En 10 horas de trabajo se trasportará

$$\frac{10}{T}$$

Cálculo del precio de transporte.

El precio de transporte del número de metros cúbicos indicado, representando por P el jornal de un cargador y P' el del carro y caballerías, será

$$NP+P'$$

y el de un metro cúbico

$$\frac{(NP+P') T}{10}$$

en cuya expresión se pone el valor de T de la (1), y se tiene el precio de transporte de un metro cúbico que será

$$X = \frac{NP+P'}{10 C} \left(\frac{10 C}{12 N} + 0,000 62 D + 0,035 \right) \quad (2)$$

Dando diferentes valores á las cantidades que entran en la ecuación (2) se deduce para el costo valores menores, ó lo que es lo mismo economía en este, cuando el número de cargadores es tres, incluso el carretero, y cuando la distancia de descarga ó relevo no pasa de 150 metros. Escediendo de esta distancia hasta 500 se deduce que debe haber dos cargadores, y pasada esta uno solo, el cual para la mayor economía deberá ser el mismo carretero.

Es económico que tengan gran capacidad los carros no escediendo de ciertos límites, pues con poco exceso de fatiga del motor, se obtiene mayor cantidad de trabajo.

Se ha supuesto el caso de haber un solo carro para el transporte, pero es necesario para no perder tiempo que haya otros de repuesto, que se carguen durante el viaje del primero.

No debiendo esceder de tres el número de cargadores incluso el carretero, pues se estoibarían en las maniobras, se calcula la relación que debe haber entre las distancias á los puntos de descarga y el número de carros de repuesto que deben disponerse.

Habiendo encontrado anteriormente las expresiones relativas al tiempo que se tardará en andar la distancia al punto de descarga, y el empleado en las demás operaciones accesorias con N operarios, se puede establecer la relación

$$m \frac{10C}{12N} = 0,00062D + 0,033$$

siendo m el número de carros.

A la distancia D pueden cargarse $m+1$ carros sin interrupcion por $N-1$ cargadores, contando con el carretero y ayudados sucesivamente de $m+1$ carreteros. Así suponiendo un carro de una caballería con la carga de 0,5 metros cúbicos y tres cargadores incluso el carretero, para ver cual será la distancia de parada ó descarga correspondiente al empleo de dos carros, uno en marcha y otro á la carga, se hará: $N=3$, $m=1$, $c=0,5$ y se obtiene $D=170$ metros. Si $m=2$, $D=398$ metros; si $m=3$, $D=619$, etc., lo cual indica que debe haber tres cargadores, cuando la distancia de parada ó descarga es de 170; para 395 metros, tienen que ser dos, de los cuales uno está en marcha y otro cargándose; si aquella es de 395 á 619 metros, tres carros, etc.

Para hallar el precio de transporte de los casos anteriores, en vez de la expresion $NP+P'$ indicada para el caso de un solo carro, se deberá obtener la relativa á $m+1$ carros y $N+m$ operarios que es

$$(N+m)P+(m+1)P'$$

correspondiente á la carga y transporte de $(m+1) \frac{10}{T}$ metros cúbicos. El precio x del transporte de un metro cúbico poniendo por T su valor será:

$$x = \frac{(N+m)P+(m+1)P'}{10(m+1)} - \left(\frac{10C}{12N} + 0,00062D + 0,033 \right)$$

El número de caballerías que tiran del carro, está comprendido en el precio P' y la carga C .

Cuando solo tira una caballería, hay la ventaja de que se

puede enganchar y desenganchar mas pronto y que proporcionalmente se arrastra mas carga que con mayor número.

Cuando se emplean los carros para la conduccion de tierras, hay que procurar que las pendientes sean mucho mas suaves que cuando se verifica en carretillas, volquetes ó reeuas. El límite superior de 5 á 6 por 100 es el admitido; considerándose 100 metros de longitud recorrida con esta pendiente, como equivalentes á 150 metros en camino horizontal.

Trasporte en carros por fuertes pendientes.

Por métodos análogos á los espuestos al tratar del transporte en carretillas y volquetes, se puede calcular la equivalencia de trabajo segun la pendiente, teniendo presente los resultados experimentales relativos al trabajo de las caballerías.

Un caballo fuerte haciendo viajes de ida y vuelta, tirando de un carro, volviendo de yacio, puede efectuar el trabajo siguiente en diez horas:

Resultado de esperiencias

En camino horizontal afirmado, anda término medio 36000 metros marchando á paso regular con 1500 kilogramos de carga á la ida: siendo 0,04 de la carga, la relacion del esfuerzo que tiene que hacer en este caso, resulta para el efecto útil 24000000 kilogramos transportados á un metro.

En terreno sólido pero sin afirmar y desigual, anda 36000 metros con 1100 kilogramos, y siendo en este caso 0,059 la relacion del esfuerzo á la carga, el efecto útil será 18000000 kilogramos á un metro.

En terraplenes sin consolidar completamente ó terreno lodoso, anda 36000 metros con 700 kilogramos y siendo en este caso 0,1 la relacion del esfuerzo, el efecto útil es 12000000 kilogramos á un metro.

En el primer caso á igualdad de las demas circunstancias, pero con pendiente del 8 por 100, anda 32000 metros con 1200 kilogramos; la relacion del esfuerzo á la carga es 0,05 y el efecto útil 18000000 kilogramos á un metro. En el segundo caso y pendiente de 6 por 100 andando la misma distancia con 900 kilogramos de carga, la relacion del esfuerzo es 0,072 y el efec-

to útil 12000000 kilogramos. En el tercer caso con las mismas circunstancias, con 600 kilogramos de carga, siendo 0,15 la relación del esfuerzo, el efecto útil es 8000000 kilogramos á un metro.

Segun nuestras observaciones resultó que un carro de dos mulas con la carga regular de cincuenta espuestas de arena arcillosa, cuyo volumen total era próximamente de 0,8 metros cúbicos y su peso 1000 kilogramos, hacia en 10 horas (contando el tiempo de carga y descarga) 50 viajes completos, es decir, contando ida y vuelta, á la distancia de 200 metros. El terreno por el cual marchaba no llegaba á la pendiente de 5 por 100, el piso era desigual como resulta al hacerse una escavacion y marchaba también sobre terraplen á medida que avanzaba este.

En las mismas circunstancias que en el ejemplo anterior, es decir, en el desmonte y terraplen espresado, pero con la diferencia de que las tierras escavadas se conducian á la distancia de 250 á 290 metros, solo hacia 40 ó 44 viajes.

Cuando la pendiente era del 7 al 8 por 100 en circunstancias análogas á los casos anteriores, verificaba 34 viajes con un metro cúbico de la misma clase de arena, y á la distancia de 300 metros. Hay que advertir que el ganado de tiro era de mulas fuertes de labor.

Para cargar un carro en los casos anteriores, se tardaba próximamente cuatro minutos. El número de cargadores conveniente para que no hubiese pérdidas de tiempo, era el de diez para seis carros.

Recuas

Muchas veces se emplean en el transporte de tierras las recuas de caballerías menores ó mayores, bien sea para sustituir á los carros ó en combinacion con ellos.

El empleo de recuas ofrece ciertas ventajas, particularmente las que se componen de caballerías menores, por la mayor facilidad que tienen en las obras para transitar por los desmontes y terraplenes, subir por escarpes y vencer los obstáculos que no sería fácil con los carros.

Segun hemos observado en varias obras, una recua de ocho caballerías menores, cuyo número no debe ser mayor para que pueda conducirla bien el arriero, llevando las tierras hasta 180 metros de distancia, en 10 horas de trabajo, conducía 30 metros cúbicos de tierra comun. Cada seron contenía seis espuestas regulares. Para cada tres recuas, había necesidad de once cargadores y de este modo no se perdía tiempo, siendo ocho, como se ha dicho antes, el número de caballerías de cada recua.

Creemos que la distancia indicada anteriormente, es un límite del cual no conviene excederse mucho cuando se emplee este medio de transporte, si se ha de sacar de él el partido conveniente.

El esporteo ó conduccion de tierras en espuestas ó capachos empleando como motores para este efecto hombres, chicos ó mujeres, solo es admisible para cortas distancias, ó para transporte vertical como veremos al tratar de este. Segun hemos tenido ocasion de observar para las distancias á que se ha dicho que conviene emplear las carretillas, solo se hacia con el esporteo un trabajo útil que era próximamente la cuarta parte del que se obtenia con aquellas.

Esporteo.

Para el transporte vertical por medio del esporteo, es decir, cuando las tierras se echan sobre los costados del desmorte, se practican en el talud escalones de 1,6 metros de altura y en ellos se colocan los operarios para que sin interrupcion se eleven las tierras á la parte superior. Esto se consigue pasando de unos en otros las espuestas que se conducen desde el punto de extracción hasta el primer escalon.

Vamos á dar los resultados de varios experimentos que serán útiles para calcular el coste de las obras de terraplenes.

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TRASPORTE DE TIERRAS EN EL FERRO-CARRIL DE JEREZ AL PUERTO DE SANTA MARÍA.

Tierras conducidas á terraplenes en carretilla.

Distancias de 25 á 30 metros.

650 peonadas hicieron 2610 metros cúbicos cavados y trasportados á esta distancia; sale por peonada á 4 metros cúbicos.

Se verificó en tierra floja.

Distancia de 60 á 70 metros.

283 peonadas hicieron 942 metros cúbicos de extracción y transporte á esta distancia. Sale por peonada á 3,32 metros cúbicos.

A 100 metros.

120 peonadas hicieron 288 metros cúbicos de desmonte; sale por peonada á 2,4 metros cúbicos.

Distancia 110 metros.

286 peonadas trasportaron 791 metro cúbico; sale por peonada á 2,73 metros cúbicos.

Distancia 150 metros.

Tierra dura y arcillosa.

310 peonadas cavaron y trasportaron 498 metros cúbicos, sale por peonada á 1,64 metros cúbicos.

TRASPORTES EN VOLQUETES

A 200 metros.

3 volquetes hicieron 25 viages en dia de invierno de 8 horas. Se necesitaban 20 hombres para cargar siendo á jornal y 15 solamente si era á destajo, habia dos cuadrillas porque á esta distancia 3 volquetes bastan para una cuadrilla. Se necesitan 3' para cargar y 7' para hacer el viage; en todo 10 minutos. 0,80 metros cúbicos es la carga, que puede arrastrar una caballería mayor, fácilmente sobre terreno seco y duro hasta una rampa de 0,02; pero como el terreno en los trabajos está casi siempre pulverulento, arenoso ó mojado no se puede contar mas que con 0,50 de metro cúbico á nivel.

A 200 metros.

46 peonadas de hombre cavaron y cargaron 182 metros cúbicos y 9 jornales de volquetes los trasportaron sale por jornal de volquete 20,22 metros cúbicos.

A 250 metros.

90 peonadas cavaron y cargaron 382 metros cúbicos, se trasportaron en 24 jornales de volquetes; sale por jornal de volquete á 15,91 metros cúbicos.

A 280 metros.

164 peonadas cavaron y cargaron 555 metros cúbicos conduciéndose con 39 jornales de volquetes. Para los seis volquetes habia 25 hombres para cavar y cargar. Sale á 14,45 metros cúbicos por jornal de volquete.

A 300 metros

139 peonadas de hombre cavaron y cargaron 403 metros cúbicos y 32 jornales de volquetes los condujeron. Sale á 12,58 metros cúbicos por jornal de volquete.

285 peonadas cavaron y cargaron 808 metros cúbicos que se condujeron en 59 jornales de volquete á 300 metros. Sale por jornal de volquete á 13,39 metros cúbicos.

A 310 metros

582 peonadas cavaron y cargaron 125 metros cúbicos que se condujeron en 88 1/2 jornales de volquete. Sale por jornal de volquete á 13,84 metros cúbicos.

A 350 metros

58 peonadas de hombre cavaron y cargaron 311 metros cúbicos y 16 jornales de volquete los trasportaron. Sale por jornal de volquete á 19,45 metros cúbicos.

154 peonadas cavaron y cargaron 856 metros cúbicos. 48 jornales de carro los trasportaron á una distancia de 350 metros. Sale á 17,37 metros cúbicos jornal de volquete.

Habia para cada 9 volquetes 26 hombres.

TRANSPORTE EN BURROS.

36 burros llevan un metro cúbico de desmonte ó 22 burros 1 metro cúbico medido en terraplen.

Se puede contar que 1 burro emplea 4 minutos en recorrer 100 metros de distancia.

DESMONTE MEDIDO EN TERRAPLEN.

A 900 metros.

Tardaban 56 minutos; en un día de 10 horas de trabajo hacían $16 \frac{2}{3}$ viages se puede contar que harán 1,32 metros cúbicos cada burro, de tierra cavada ó sea medida en el desmonte.

En el verano en $12 \frac{1}{2}$ horas de trabajo hacían $20 \frac{1}{5}$ viages.

Para 14 hombres cavando y cargando se necesitan 80 burros, 1 hombre hacia 5,9 metros cúbicos. Para cada llenado de espuelas había dos hombres uno á cada lado del burro, el uno echando las espuelas y el otro removiendo el serón.

A la misma distancia de 900 metros en tierra fina y arcillosa $26 \frac{1}{4}$ peonadas cavaron y cargaron en burros 380 metros cúbicos trasportándolos 491 jornales de burros á esta distancia 1 burro en un día hace 16 viages y lleva 0,75 metros cúbicos.

Cuando la tierra está cavada bastan 14 burros para el metro cúbico, pero esta tierra trasportada al terraplen hace asiento por el tránsito de las recuas ó volquetes y por las lluvias, de modo que 1 metro cúbico de tierra en desmonte que produce 1,60 de tierra suelta cuando está cavada, no dá mas que 1,27 cuando se ha empleado en terraplen: así es que se necesitarán 18,35 burros para el metro cúbico; sin embargo, conviene hacer mas esperiencias para asegurarse de esto.

Trasporte á 500 metros.

En 9 horas de trabajo en noviembre hacían unos 40 viages, 462 jornales de recuas ó 19200 viages, llevaron 866 metros cúbicos; para 39 caballerías había 10 hombres para cargar y 2 á descargar; la tierra era suelta; tardaban $13 \frac{1}{2}$ próximamente

ó 4,5 para 100 metros á causa de la carga y descarga frecuente por ser corta la distancia.

A 400 metros.

3574 metros cúbicos de tierra medida en el desmonte, se condujeron en 1600 jornales de burros, cavando y cargando. Sale á 2,23 metros cúbicos por jornal.

720 peonadas de hombres cavaron y cargaron 3574 metros cúbicos. Sale á 1,88 metros cúbicos jornal.

1563 metros cúbicos se trasportaron en 1171 jornales de burro y 472 peonadas de 10 horas de trabajo, cada 3 hombres podían cargar un burro en 1'; contando con el tiempo perdido en tomar y colocar el burro, puede contarse con que un hombre puede llenar en espuelas 14,70 á 17,60 metros cúbicos (en terrones) y 27 burros llevan un metro cúbico.

A la misma distancia de 400 metros 775 metros cúbicos se trasportaron en 686 jornales de burro y 343 peonadas de 10 horas de trabajo; puede suponerse que un burro transporta en terrones una mitad menos próximamente que de tierra suelta.

A 400 metros en otro experimento tierra floja 15' por viaje: en 10 horas de trabajo 40 viajes, trasportando cada uno 2,14 metros cúbicos, contado en desmonte ó 2,94 contado en terraplen.

Un burro con un serón de 6 divisiones estrechas lleva bien 6 espuelas de tierra fina de las que 82 forman el metro cúbico.

A 700 metros.

Empleaban 27' en viaje; en 10 1/2 horas de trabajo llevaban 1,76 metros cúbicos y hacían 24 viajes. En 1 día de 12 1/2 horas hacían 28 viajes, llevaban 2 metros cúbicos por jornal. Con un llenador y dos cargadores se necesita 1' para llenar un serón, pero como toda la recua no podía cargar de un golpe se necesita contar 1 1/2 para la carga.

A 1000 metros.

Tierras medidas en terraplen, es decir, ya cavadas entraban 82 espuestas por metro cúbico; á esta distancia empleaban 45'; en 12 horas, hacian 16 viages.

WAGONES.

A 140 metros.

Un wagon de ida y otro de vuelta con 40 hombres para cargar y descargar, incluidos 6 que los conducian; carga 12 á 14', ida 1'; descarga 4 á 5' vuelta 5' á 6' total 24 minutos.

En un dia de invierno de 10 horas de trabajo atendiendo á que cada 12' se descargaba un wagon, se descargaban 50 wago- nes de capacidad de 5 metros cúbicos ó 4 de tierra removida.

3 wago- nes yendo y viniendo juntos por una sola vía, á la distancia de 140 metros con 40 hombres para cavar y cargar empleados 18 ó 20 para volver los wago- nes vacíos. Carga 15' ida 1' descarga 6' vuelta 5' total 27', se pueden contar 2 viages por hora con la carga cada wagon de 4 metros cúbicos medida suelta ó 3 en desmonte.

De 140 á 500 metros

En un destajo en cortadura estrecha 2 wago- nes y á veces 3, carga difícil con 40 operarios, trabajando generalmente 2 wago- nes que bajaban y 2 que subian durante 40 dias de 11 horas de trabajo, se hicieron 1627 viages; salía por dia á 40,77 viages.

A 520 metros.

8 wago- nes yendo y 7 viniendo con 150 hombres y 10 mu- chachos para cavar y cargar y 7 mulas para volver los wago- nes vacíos. Carga 22'; tiempo perdido para limpiar los carriles, for-

mar los trenes, poner las galgas etc. 5'; desde que salían los primeros hasta que salía el último 7'; viage hasta el descargadero 2,5'; descarga 8,' enganche de las mulas 3,' viage desde el descargadero al apartadero 7'; desde que llegaba el primero hasta que llegaba el último 4', desde el apartadero al descargadero 3', total para un viage 60'. Entretanto llegaban los 8 al descargadero subían los 7 resultando que cada media hora salía un tren del descargadero; por consiguiente se descargaban en el terraplen 15 wagoes por hora, en 10 horas serán 150 de á 4 metros cúbicos. En los trabajos salía á 157 wagoes por día de setiembre de 9 1/2 horas de trabajo con los 150 hombres 10 muchachos y 7 mulas.

Datos obtenidos en obras de la provincia de Guadalajara.

Una carretilla de 0,043 metros cúbicos de capacidad cargada, se conducía por un obrero bajando por pendiente del 5 por 100 á 100 metros de distancia en 1'—26"— y subiendo la misma de vacío, el mismo tiempo próximamente tardaba en llenarse 55" y en vaciarse 15".

Del Manual de Caminos de Gayffier día de 10 horas de trabajo tomando la hora por unidad.

En carretillas

	<u>Horas.</u>
Cojer y cargar un metro cúbico de tierra comun	0,33 á 0,67
Id., id. tierra dura, piedra, tierra arcillosa (3 esp.)	0,47
Id., id. cargar solo en las carretillas un metro cúbico de tierra vegetal.	0,60
Id. Arcilla tierra dura, toba.	0,70
Id. Fango.	1,75
Trasporte solo en carretillas á 30 metros de un metro cúbico de tierra comun (4 esp.)	0,40 á 0,67
Tierra pedregosa arcilla (2 esp.)	0,47 á 0,55

En carro.

	Horas.
Cojer y cargar en carro un metro cúbico de roca esquistosa desmontada á barreno.	1,28
Id. id. tierra comun (4 esp.)	0,28 á 0,85
Id. id. tierra dura, piedra, arcilla (2 esp.)	0,47 á 0,75
Arreglo de la superficie de la tierra despues de desmontar ó terraplenar, tierra comun	0,10
Arcilla, tierra dura, pedragosa, toba.	0,15

La fig. 73 representa una carretilla del modelo inglés, que son las que mejores resultados dan para la conduccion de tierras.

Detalles sobre la construcción de carretillas.

Se ha dicho ya que la capacidad de la caja es 0,03 á 0,04 de metro cúbico, para que un operario pueda manejarla con facilidad.

Las paredes inclinadas y de poca altura son convenientes para facilitar la carga y descarga, así el centro de gravedad está suficientemente bajo y es mas fácil la conduccion que cuando tienen paredes altas y poco inclinadas.

Las ruedas pueden ser de madera ó de hierro; las primeras tienen que hacerse de llanta mas ancha y oponen mas resistencia á la conduccion, pero son mas fáciles de reponer en las obras.

Las de hierro se hacen generalmente fundidas, por ser mas baratas que las de hierro forjado; pero se rompen con facilidad si tropiezan con un obstáculo, lo cual es fácil que se verifique en las obras; la llanta puede ser en este caso mas estrecha que en las de madera; generalmente es de 0,025 y su forma algo convexa. Suelen hacerse de madera con llanta de hierro.

No es muy frecuente el que en las obras de carreteras se empleen wagoes para la conduccion sobre carriles de hierro, pues los movimientos de tierras no son de tanta consideracion generalmente como en los ferro-carriles; sin embargo, á

Trasporte de tierras en wagoes y por carriles de hierro.

veces tiene lugar el empleo de pequeños wagones tirados por caballerías disponiendõ carriles de hierro provisionales y baratos á propósito para el objeto. Se dará idea de este medio de trasporte por si acaso fuera conveniente adoptarle alguna vez, empezandõ por describir la disposicion que se dá á los cortes ó tajos y el modo de verificar los trasportes, y dando por fin una ligera descripcion de los wagones y de la via.

Las circunstancias variables á que está sujeto este sistema, hacen que sea difícil el obtener una fórmula general por la cual pueda deducirse, como se ha verificado en los sistemas descritos anteriormente, los precios de trasporte; en este sistema suele apreciarse solamente los de traccion y los fijos.

Disposicion
de los cortes

En los desmontes en que se emplean wagones para el trasporte de las tierras, se empieza generalmente con carretillas, hasta que el desmonte y terraplen tiene una longitud de unos 100 metros y entonces se procede á colocar las barras carriles. Se abre despues un corte de 6 metros de ancho para que puedan colocarse dos wagones de frente, y cuando se llega á la parte de mas elevacion del desmonte, pueden ya colocarse mas operarios escalonando los cortes y adelantándose mas los trabajos de este modo. Las tierras que se escavan en la parte inferior del desmonte, se cargan directamente en los wagones de frente; las tierras de los cortes superiores se cargan en carretillas con las cuales se trasportan por el costado á vaciar en el segundo wagon.

Segun la clase de terreno y el grado de actividad que se exija, así se establece mayor ó menor número de escalones y operarios, y para poder cargar gran cantidad de tierras se establecen banquetas en los taludes, en las que se colocan carriles, y por ellos se conducen las carretillas que van á llenar los wagones colocados en la via del medio del desmonte.

Cargados los wagones, se llevan con las caballerías hasta unos 150 metros antes de llegar á la cresta ó borde del terraplen, y en aquel punto están colocados en apartaderos los wagones vacíos; á estos últimos se enganchan las caballerías que

se quitan de los cargados y se conducen los primeros al punto en que se han de llenar.

En el apartadero citado antes, se ramifica la via principal en otras dos ó tres hasta el extremo del terraplen. En el wagon cargado se engancha una caballería á la que se hace marchar velozmente, y al llegar á cierta distancia del extremo del terraplen, se desengancha instantáneamente por una disposicion particular; el conductor tira entonces de la cuerda que sirve para hacer salir de la via á la caballería, y el wagon con la velocidad adquirida, llega hasta unos 2 metros del borde del terraplen. Los carriles están colocados hasta el punto en donde para el wagon, y en dicho sitio hay unos topes formados con traviesas colocadas transversalmente con el objeto indicado.

El vaciado del wagon se verifica por un operario, el cual abre la trampilla del frente, descargándole por esta parte y despues de verificado, se engancha la caballería conduciéndose el wagon á la via principal. Del mismo modo se procede para los demas wagones, y segun la importancia ó circunstancias de la obra, se pueden colocar de frente mayor número de aquellos que los indicados.

En Francia ha solido emplearse un sistema particular para vaciar los wagones, el cual consiste en colocar las vias sobre vigas armadas. Estas se apoyan por un extremo sobre la parte del terraplen concluido y por el otro en caballetes, cuyos extremos inferiores tienen ruedecillas para que puedan correr por carriles colocados al efecto sobre el terreno natural. De este modo puede irse avanzando la via á medida que adelanta el terraplen.

En terreno quebrado no puede emplearse este sistema y cuando el terraplen es muy alto, tambien ofrece dificultades de consideracion el construir y trasportar los caballetes.

Cuando se emplean wagones para el transporte de tierras, el coste de este depende, aun mas que empleando los otros sistemas, de la distribucion conveniente de los tajos ó cortes, y de la velocidad con que se obtenga la extraccion de las tierras. Cuando quiere aumentarse dicha velocidad hay que tener caba-

terrias de relevo, y cuando sea muy considerable la que se desee obtener en los grandes cortes, se verifica la traccion por medio de locomotoras. En este último caso se aumenta tambien el gasto de establecimiento, en razon á que los carriles tienen que ser mas fuertes y por consiguiente mayor su peso.

La rapidez en la ejecucion depende de la que haya en las escavaciones, carga, conduccion y descarga. Lo primero depende de la calidad de tierras y estension que pueda darse á los cortes para la buena colocacion de las cuadrillas; lo segundo del número de cargadores que pueden emplearse, estando admitido que para que no haya aglomeracion de operarios ni exposicion en cada corte, solo deben colocarse, cuando mas, los operarios y vehículos necesarios para cargar 200 metros cúbicos en diez horas; á este dato deberán subordinarse los trabajos.

El número de las cuadrillas depende tambien de la altura del desmonte, inclinacion del talud y disposicion del terreno. Cuando la altura del desmonte es solo de 4 á 6 metros, solo puede hacerse un corte ó establecer una cuadrilla; de 8 á 9 metros de altura, puede haber dos cuadrillas escalonadas, dando salida á las tierras del segundo piso por las banquetas de los costados, que se indicaron antes; cuando la altura es de 13 á 14 metros puede haber tres cuadrillas escalonadas.

Descripcion
de los wa-
gones

Un wagon consta de la caja, bastidor y dos juegos de ruedas y puede girar generalmente alrededor de un eje bien sea de frente ó de costado; su altura total sobre los carriles no debe exceder de 1^m65 para poder cargar fácilmente. Los contruidos para tiro de caballerías son mas ligeros que los destinados para verificarlo por locomotoras. La caja tiene la forma indicada para las carretillas inglesas; la trampa ó compuerta que sirve para descargar, tiene goznes y cerrojo; las ruedas son de reborde interior.

Carriles mo-
vibles.

Los wagones pueden hacerse tambien de pequeñas dimensiones para ser conducidos por operarios, lo cual suele ser muy

conveniente en las obras de alguna consideracion. Es necesario en este caso tratar de establecer carriles económicos, por lo que detallaremos un sistema empleado con muy buen éxito en las obras de conduccion de aguas á Madrid, el cual le creemos de excelente aplicacion. Estractaremos la descripcion que se hace de este sistema en la *Revista de Obras públicas* de 1854, número 8.º

Estos carriles tienen la ventaja de poderse variar de sitio con facilidad y de colocarse sin necesidad de esplanar ni poner balastaje.

La colacion se hace sobre largueros, como se indica en la figura 74, en donde se ve la forma y disposicion de las barras. Estas son llantas planas de hierro de las de uso comun del comercio, de 5,36 metros de longitud, 0,045 metros de alto y 0,012 de grueso; su peso es de 4 kilogramos por metro lineal.

Los tornillos tienen 0,014 metros de grueso y 0,25 metros de longitud; la parte superior está doblada en forma de escarpia, para entrar en el taladro de la llanta en donde se remacha para que no estorbe el paso del reborde de la rueda.

La seccion de los largueros varia segun sea mayor ó menor el número de puntos de apoyo que pueda tener. En toda su longitud hay abierta una ranura del grueso de la llanta, quedando así embutida esta un tercio de su altura y perfectamente asegurada con los dos tornillos situados á medio metro de los estremos.

Para arriostar las dos lineas de largueros, se colocan barras de hierro atornilladas á estos, y de este modo se forman bastidores que pueden trasportarse, colocándose á continuacion unos de otros á medida que avanzan las obras. El costo por metro lineal, empleando largueros de 0,176 metros por 0,225 metros de escuadria, fué en las obras referidas de 44 rs., en algunos sitios en donde no era necesario trasladar los carriles á otro punto, se colocaban sobre traviesas sujetos con cuñas y entonces era solo de 27 rs. el costo del metro lineal de via.

Quando para tirar ó conducir los wagoes se emplean solo los operarios, se da á aquellos una forma análoga á los volque-

tes descritos ya, poniendo á las ruedas llantas de reborde. Empleando este sistema puede conducirse mayor cantidad de tierras con menos esfuerzo. Debe calcularse en cada caso si la economía que se obtenga en mano de obra, compensará el exceso de gasto del material y establecimiento, y elegir de este modo con acierto.

Hay que tener presente que en la mayor parte de las obras de carreteras que se ejecutan en España, podrá haber dificultades en adoptar este sistema, en razon á no ser fácil adquirir el material de la via y las ruedas de reborde ni atender á la reparacion de estas, teniendo por esta causa que adoptar los medios comunes de conduccion.

Límites admitidos para el empleo de los diversos medios de transporte.

Se admiten los límites siguientes para el empleo de los diversos medios de transporte descritos anteriormente.

Carretillas, hasta 100 metros de distancia.

Volquetes, 150 id.

Carros, 500 id.

Wagones con caballerías, 1500 á 2000 y el volúmen que hay que desmontar escede de 100000 metros cúbicos.

Locomotoras, de 2000 metros en adelante (1).

Para el cálculo de transportes conviene saber el peso de los materiales, por lo que damos á continuacion una tabla del llamado para diversos materiales.

Peso de las tierras y rocas.

MATERIALES.	Peso del metro cúbico en kilogramos.
Tierra vegetal.	1250
Id. fuerte y grava	1450
Arcilla.	1700
Marga.	1600

Datos tomados de obras extranjeras término medio.

(1) Por las fórmulas anteriores puede calcularse el precio en cada caso y comparar.

MATERIALES.	Peso del metro cúbico en kilogramos.
Arena fina seca de río.	1400
Id. húmeda.	1900
Id. arcillosa de mina.	1750
Fango.	1650
Turba seca.	514
Id. húmeda.	800
Id. terrosa.	850
Grava y cantos.	1400
Piedra caliza litográfica partida para firme.	1550
Id. jurásica.	1330
Id. compacta.	2000
Grava.	1610
Piedra molinar.	1250
Id. mas compacta.	2500
Areniscas.	2200
Granito.	2600
Squistos.	1800
Id. pizarrosos.	2200
Escorias volcánicas.	800
Id. de forjas.	850
Mármol de Llodio empleado en el puente de Bilbao.	2785
Piedra caliza de Colmenar.	2435
Id. de las Cabrillas.	2760
Arena de río.	1668
Id. de mina.	1642
Tierra comun.	1400 á 1700
Arcilla.	1400

Datos tomados por algunos constructores en España.

ESPERIMENTOS VERIFICADOS EN LAS OBRAS DEL CANAL DE CONDUCCION
DE AGUA Á MADRID.

Pesos específicos de varios materiales.

MATERIALES.	Peso del metro cubico en kilogramos.
Ladrillo bien cocido.	1,589
Arena.	1,570
Sillería caliza de Patones.	2,502
Id. de Redueña y Venturada.	2,207
Id. del Molar.	2,433
Id. de la Atalaya.	2,144
Id. de Aldehuela.	2,746

DENSIDAD DE VARIAS TIERRAS COMPARADA CON LA DEL AGUA, SEGUN
SCHUBIER.

Arena caliza.	2,822
Arena silícea.	2,753
Marga con 40 por 100 de arena silícea fina.	2,701
Id. grasa con 24 por 100 de arena fina.	2,652
Tierra arcillosa con 10,75 id. por 100.	2,603
Arcilla pura.	2,591
Mantillo.	1,225
Tierra de jardín ligera, negra y fuerte.	2,332

Medios me-
cánicos de
subir las
tierras.

Quando los movimientos de tierras que hay que verificar son de consideracion, suelen emplearse medios mecánicos para el trasporte vertical de aquellas.

El desmorte se empieza estrayendo las tierras por los medios descritos, hasta que las rampas tengan 0,125 en el sentido perpendicular al eje del camino, y entonces se forman con la inclinacion del talud del desmorte y de trecho en trecho pla-

nos inclinados. La fig. 75 indica la disposición de estos planos, que es muy sencilla; consiste en colocar dos vías compuestas de fuertes maderos ó tablones *a a* puestos sobre el talud de 3 en 3 metros de distancia de eje á eje, prolongándose por medio de una andamiada *b b* hasta el nivel de los caballeros, que se han de formar con las tierras.

En el sitio que han de ocupar los caballeros se terminan las dos vías por un piso horizontal *b b*. En la prolongación del eje de cada vía se coloca á distancia de 3,5 metros del plano indicado un poste *f d* y á 3,5 metros de altura en este, una polea *e* de 0,35 metros de diámetro próximamente y cuyo eje esté en el sentido del de la carretera. A unos 0,4 metros de nivel del suelo hay otra polea *f* de las mismas dimensiones que la primera, pero dirigida su garganta paralelamente al eje del desmonte. Una cuerda ó cadena sale desde la parte inferior de una de las vías, sube sobre el plano inclinado y pasa por la polea superior del primer poste, y de aquí baja verticalmente para pasar por la polea inferior del mismo poste.

La polea *f* hace que se dirija la cuerda paralelamente al eje del desmonte á otro poste *e* próximo al primero; en este hay también una polea que dirige la cuerda verticalmente á otra polea superior, aquí se engarganta de nuevo, bajando y uniéndose al extremo superior del segundo plano inclinado. En esta parte el cabo de la cuerda se engancha á una carretilla vacía, que ha de bajar por la vía *g*; al otro extremo de la cuerda se engancha una carretilla cargada *m* la cual sube por la vía *a a*. Por medio de una caballería que va y viene de uno á otro poste se verifican las maniobras referidas.

Las carretillas que se emplean en estos casos son de mayor capacidad que las comunes; contienen sobre 0,09 metros cúbicos. Su enganche se verifica en los dos extremos con nudos, entre los cuales hay una tablilla para que la tierra no se vierta sobre el peon que conduce la carretilla. En cada plano hay un peon para enganchar y subir con la carretilla, la desengancha y pone otra vacía bajando detrás de ella.

La disposición indicada es de las más sencillas que se han

empleado en Inglaterra; hay otras en que se colocan carriles y plataformas giratorias, que no describimos porque serán de poca aplicacion en las obras de carreteras; sin embargo indicamos las obras que pueden consultarse, si fuese necesario, con el objeto de adquirir mas detalles.

Obras
que pueden
consultarse.

En la obra de Mr. Etzel, titulada *Essai sur le disposition des grandes chantiers de terrassement*, se hallan los detalles necesarios sobre el empleo de wagones en los desmontes y terraplenes, disposiciones de las vias de servicio, y su esplicacion con 25 láminas, en que se indican las disposiciones adoptadas en algunos caminos ejecutados en Francia é Inglaterra.

Tambien el manual del *terrassier*, de MM. Etienne y Masson, contiene bastantes detalles extractados en parte de la obra anterior.

En los *Annales de puentes y calzadas de 1849* se inserta una memoria del ingeniero M. Thiolliere, sobre el transporte en wagones, en la cual se detallan las operaciones y el costo del material.

En el *Manual du terrassier*. Se establecen tablas comparativas entre los diferentes medios de transporte, deduciendo cuando se emplean carros ser ventajoso emplear muchos operarios para cargar y que el precio del metro cúbico de tierras decrece á medida que el número de cargadores aumenta, pero disminuye esta ventaja á medida que es mayor el número de paradas y llega el caso ser la ventaja esta cuando hay el menor número de cargadores.

Comparando los precios de terraplen hechos con carros ó los hechos con carretillas no excediendo de 100 metros las paradas, se deduce convienen las carretillas los carros de 0,^m80 de capacidad con mas económicos que los de 0,50.

Distancia media de los transportes.

La buena distribucion de los desmontes en los terraplenes es muy importante para la economía de los movimientos de

tierras. Con objeto de conseguirlo, se calculan las distancias medias entre los volúmenes del desmorte y el del terraplen á que se han de trasportar las tierras del primero. El precio de los terraplenes es proporcional al volúmen de las tierras y distancia de donde se extraen.

La conduccion de las distintas partes en que se considere dividido el desmorte al terraplen, puede hacerse ó en direcciones paralelas, que es el caso que tiene lugar generalmente en las carreteras, ó divergentes.

Direcciones

El primer caso es el más favorable, por dar las longitudes más cortas, y la distancia media será la que háy entre los centros de gravedad de los volúmenes del desmorte y terraplen. En el caso de no ser los trasportes paralelos, la distancia media es mayor que la que háy entre los centros de gravedad: cuando las direcciones se cruzan es el caso más desfavorable.

Es difícil fijar el centro de gravedad del volúmen en los desmontes por las irregulares formas que afectan. Para conseguirlo aproximadamente se suponen terminados por figuras geométricas, como triángulos ó trapecios, que guardan la misma relacion de colocacion que estos volúmenes.

Medios de hallar los centros de gravedad de los volúmenes.

El método gráfico que se sigue para hallar los centros de gravedad y las distancias entre éstos es el siguiente:

Se traza una horizontal, se divide en partes que sean iguales á las que hay entre los dos perfiles transversales del trozo en cuestion, y en los puntos de division se levantan perpendiculares proporcionales á las superficies que representan. Estas perpendiculares se dirigirán hácia la parte inferior ó superior de la horizontal, según sea de desmorte ó terraplen; es decir que debe elegirse una ú otra direccion para cada clase; pero siempre conservándola igual para cada caso. Los extremos de estas perpendiculares se van uniendo por rectas resultando así figuras triangulares ó trapezoidales, cuyos centros de gravedad se buscan considerándolos situados en el mismo plano normal al eje, que el del sólido que representan dichas figuras. Hallados sus

centros de gravedad, las distancias horizontales entre el relativo al desmonte y el correspondiente del terraplen, que há de formarse con aquel, es la distancia buscada.

Perfiles
en desmonte
y terraplen.

Quando un perfil transversal contiene desmonte y terraplen, vienen á confundirse en parte algunas de las figuras que representan los volúmenes correspondientes de una y otra clase, y es necesario para mayor claridad desarrollar separadamente estas figuras. En este caso se forma en la parte del perfil que representa el desmonte ó terraplen de mayor dimension, el área equivalente á la mas pequeña. Si hay esceso, por ejemplo, en el desmonte, será este el que há de llevarse entre el perfil inmediato y línea de paso ó depositarse en caballeros. Si el esceso fuese de terraplen, habrá que traer tierra de otro lado. En estos casos las perpendiculares serán proporcionales á las diferencias de las superficies de desmonte y terraplen de cada perfil.

Simplifica-
cion.

Para mayor sencillez suele suponerse el centro de gravedad de los trapecios que resultan, equidistante de sus lados paralelos. La distancia horizontal de dicho centro á uno de estos lados, se puede calcular exactamente; pero es un trabajo largo y penoso de poca utilidad en la práctica.

Deben hacerse en escala bastante grande las figuras, por ejemplo, de 1 á 2 milímetros por metro, para poder medir gráficamente y con la suficiente exactitud las distancias con el compás.

Para calcular los volúmenes de desmonte y terraplen y las distancias de trasporte, puede seguirse un método sencillo, el cual consiste en representar los volúmenes referidos por rectángulos, cuyas alturas son proporcionales á las superficies de desmonte ó terraplen de cada perfil y su base la distancia entre perfiles.

Fórmula pa-
ra hallar la
distancia me-
dia de tras-
porte.

Halladas las distancias parciales entre los centros de gravedad de cada uno de los volúmenes correspondientes de desmon-

te y terraplen, puede determinarse la distancia media del modo siguiente:

Sean V , V' , V'' etc., los volúmenes parciales, d , d' , d'' las distancias que recorren estos del desmonte al terraplen y D la distancia media general. El valor de esta última será

$$D = \frac{Vd + V'd' + V''d'' + \text{etc.}}{V + V' + V'' + \text{etc.}}$$

El caso de haber compensación exacta entre los desmontes y terraplenes no se verifica comunmente; puede haber exceso de tierras en el desmonte, el cual se echa á los lados, ó por el contrario se tienen que tomar de préstamo para hacer los terraplenes, bien en su totalidad ó para completarlos.

Puntos de que conviene llevar las tierras á los terraplenes segun las circunstancias

En el primer caso las tierras de la superficie serán las que convendrá echar las primeras á los costados, hasta componer el volumen sobrante; de este modo las tierras que se llevan al terraplen tendrán menos distancia vertical que andar, como igualmente las tierras sobrantes. En el caso de tener que emplear tierras de préstamo para completar el terraplen, la parte mas próxima al desmonte es la que se hace con las tierras estraidas de este.

Cuando hay un desmonte y dos terraplenes, uno á cada extremo del primero y hubiese volumen sobrante de tierras, deberá dejarse la parte del centro para el escedente con el objeto de disminuir las distancias de los transportes.

Cuando las tierras se toman de fuera del camino para los terraplenes, ó segun hemos ya dicho, de *préstamos*, hay que hacer algunos tanteos para que las direcciones que sigan los transportes no se crucen, empleando cada volumen parcial de desmonte en la parte mas próxima del terraplen. Se han dado construcciones geométricas y cálculos que creemos poco útiles en la práctica; pues no solo la forma de los sólidos no es exactamente geométrica en la mayor parte de los casos, sino que

Tierras de préstamos: caminos que han de seguir

las alturas son variables, resultando muy poca aproximacion y pérdida de tiempo inútil en los cálculos.

Pueden darse á los tajos ó trozos de dichos terraplenes la disposicion que se indica en la figura (74^(a)) (1). En ella se vé que dividiendo en escalones, los caminos que pueden seguir las carretillas, carros, wagoes ó caballerías conviene se dirijan á los arranques de dichos escalones en el terreno natural.

La longitud de estos tajos se dividirán en cada caso segun la inclinacion del terreno y la clase de vehiculo que se emplee, T , T' , T'' trozos del terraplen c , c , c camino que siguen los vehiculos.

Elementos que constituyen el precio de los terraplenes.

Para calcular el precio de los terraplenes es preciso tener en cuenta la altura de estos pues será mayor á medida que sea mas considerable aquella. Pero ademas entran como elemento de él el *picado* de las tierras cuando esta viene en gruesos terrones que es preciso deshacer. El apisonado si es que se verifica esta operacion, el arreglo de escapes ó taludes del terraplen y á veces su revestido con plantaciones, el arreglo de paseos, carga y descarga de los vehiculos y conduccion de las tierras, desperfectos y reparacion de herramientas.

Comparacion de los sistemas de préstamos y de compensacion.

Cuando se toman las tierras para los terraplenes del costado del camino, pueden hacerse con mas rapidez, es menor el transporte horizontal y es menos costoso el material de trasporte.

Los inconvenientes de este método son, el exigir mayor terreno para las obras, con perjuicio de la agricultura, aumentar los gastos de indemnizaciones y producir un exceso en el movimiento de tierras en el caso que pudieran emplearse del desmonte abierto en un punto contiguo de la carretera: así es necesario, cuando haya que verificar desmontes y terraplenes, estudiar con cuidado el método mas conveniente, pues de no hacerlo resulta á veces excesivo aumento en el costo de la carretera.

(1) Lamina adicional.

CUARTA SECCION.

CONSOLIDACION DE DESMONTES Y TERRAPLENES.

Los accidentes que suelen ocurrir cuando se ejecutan los desmontes en ciertas clases de terrenos, hacen que sea necesario recurrir á medios artificiales de consolidacion, que á veces no son suficientes, y obligan á variar de terreno alterando el trazado de la carretera.

Consideraciones generales.

Del mismo modo las diferentes clases de tierras que se emplean en la construccion de terraplenes pueden dar lugar á tener que fortificar sus escarpes para evitar los desprendimientos de estas tierras que á veces comprometen la existencia del camino.

Nada creemos tan completo sobre el objeto que nos ocupa, como una memoria publicada en los *Anales de puentes y calzadas de Francia* de 1851, por el ingeniero Mr. Sazilly, titulada: *Noticia sobre las condiciones de equilibrio de los macizos de tierra, y revestimiento de taludes*, por lo que extractaremos la parte conveniente para nuestro objeto, sin perjuicio de dar alguna otra indicacion que juzguemos útil.

Tambien contiene esta memoria las fórmulas y tablas para determinar los taludes y la figura de equilibrio de macizos.

Medios de evitar las degradaciones superficiales de los taludes.

Siendo las aguas la principal causa que produce las degradaciones de los taludes, cuando los terrenos tienen poca cohesion, hay que impedir que corran por ellos las que vierten de los terrenos superiores, abriendo cunetas de circunvalacion en la parte superior del terreno, y á corta distancia del borde del

Cunetas de circunvalacion y caballeros.

talud. Estas cunetas ó zanjas deben tener al menos 1 por 100 de pendiente longitudinal.

En los terrenos muy permeables, como sucede en los arenosos, las filtraciones de las aguas por el fondo y costados de las cunetas, de circunvalacion, suelen hacer que estas sean mas perjudiciales que útiles, si no se toma la precaucion de revestirlas con arcilla ó emplear otro medio que las haga impermeables.

Cuando en la parte superior del desmonte se forman caballeros con las tierras sobrantes, si el terreno tiene pendiente transversal, se deben establecer cunetas entre aquellos y el borde del talud; la forma de los caballeros es conveniente que sea como indica la figura 76, para que la arista a divida las aguas. Tambien se hacen de seccion triangular de gran lado bc hácia el terreno (Fig. 77), pero esta disposicion ocupa mucho espacio y quizá solo podrá ser conveniente cuando no se abran cunetas de circunvalacion. Si las aguas de estas cunetas no pueden tener salida por la parte superior del terreno, se les da por canales abiertos en el talud, revistiéndolos de madera ú otra materia, y por ellos caen á las cunetas del camino.

En los taludes de mucha altura se escalonan las zanjas con el objeto de que las aguas no corran en cantidad escésiva por los taludes y de recoger las tierras desprendidas, dándolas una pendiente transversal de 2 á 3 por 100 (Fig. 78); se desaguan por canales en el sentido del talud, que se practican de trecho en trecho y es conveniente que estos canales correspondan á los puntos de desagüe de las cunetas de circunvalacion. En vez de dar á estas cunetas una gran anchura, vale mas multiplicar los escalones, haciéndolos cada 3 ó 4 metros de altura y de un ancho de un metro próximamente. Conviene tambien que permanezcan desembrozadas y con la pendiente bien conservada, para lo cual podrán revestirse de tepes, empedrados, etc.

Tambien esta disposicion de cunetas puede ser conveniente en los terraplenes.

Quando los taludes están practicados en terrenos que se alteran por el aire, como sucede en los de arena floja, es conveniente echar sobre ellos semillas de plantas viváceas adecuadas al clima, y aun á veces pueden echarse semillas de arbustos, á pesar de que estos tardan mas en crecer. La sanguinaria es una de las mejores plantas viváceas para este objeto, porque sus raíces profundizan mucho y sus ramas se extienden por la superficie del talud. Las mielgas y alfalfas son tambien buena defensa para preservar los taludes de las heladas y lluvias, cuando el terreno es á propósito para su crecimiento; las gramas se emplean igualmente. Mezclando avena con los granos de las plantas viváceas, las protege de la acción del sol cuando empiezan á crecer.

Siembras y plantaciones.

En terrenos muy movedizos y espuestos á la acción de los vientos y lluvias, será necesario proteger mas eficazmente el crecimiento de las plantas, por medio de ramajes que cubran el talud asegurados con estacas, alambres ó cuerdas. Los taludes en que hayan de hacerse plantaciones exigen ser mas tendidos que cuando no se emplea este medio, pues es necesario remover la tierra, y si no es vegetal, echar una capa de esta clase. Comunmente se echa la simiente en la superficie del talud algo removido, cubriéndola con una capa de 2 á 3 centímetros de tierra vegetal. En este caso ha de tener el talud al menos 1,2 á 1,25 de base por uno de altura, para que se sostenga la tierra, á no ser que se proteja con una cubierta como se dijo antes. En los terrenos muy movedizos, como en las arenas finas, ha producido buenos resultados el hacer la capa de tierra vegetal de un grueso de 8 á 10 centímetros y echar despues las semillas. Tambien este método puede emplearse para fortificar los escarpes de los terraplenes.

En terrenos movedizos.

Quando para la fortificación de taludes se hacen plantaciones de árboles ó arbustos, el talud puede ser de menos base, pues no es necesario en este caso remover todo el terreno. Estas plantaciones crecen lentamente y solo convendrán para pro-

Modo de hacer las plantaciones

téger los taludes que se degraden con lentitud, como sucede á los abiertos en terrenos margosos y de arena compacta. La clase de plantas que se emplean en este caso depende del clima. Las acacias crecen bien, generalmente, en toda clase de terrenos; los sauces y álamos, en los terrenos húmedos.

El hacer escavaciones seguidas en el talud para verificar el plantío, le debilita y espone á degradaciones, por lo que es mejor hacer hoyos normales al talud, esparcidos en distintos puntos, que no verticales. Después de hecha la plantacion se maciza el hoyo y se refina la superficie del talud.

Tepes
y céspedes.

— 10 — Cuando no pueden defenderse del modo conveniente los taludes por medio de las siembras y plantaciones, bien sea por su naturaleza, orientacion ó inclinacion, y es necesario que se fortifiquen pronto, se hace por medio de *tepes* ó pellas de tierra, que contienen las plantas viváceas indicadas antes, ó césped. Para que se afianzen mejor, es conveniente colocarlos por hiladas, con sus lechos normales á la superficie del talud y no de plano sobre este, poniendo la cara del tepe en que está el césped ó planta, en el sentido de los lechos.

Haciendo el revestimiento por hiladas, pueden adoptarse taludes mas fuertes, pero será conveniente no hacerlos nunca de menos de medio de base por uno de altura, y aun conveniria en los fuertes taludes hacer escalones espaciados de 1,5 metros, para distribuir la superficie en zonas independientes. Tienen tambien la ventaja de permitir que se empiece el revestimiento del talud desde su parte superior, á medida que este se va ejecutando (1).

(1) En unas notas del ingeniero Mr. Chaperon, insertas en los *Anales de puentes y calzadas de 1853*, dice este, que la colocacion de los tepes por hiladas normales al talud, podrá convenir cuando el objeto sea revestir taludes muy inclinados, pero en los escarpes de terraplenes de 1,5 de base, cuyo pie ha de preservarse de las aguas, ó sostener las arenas y en los cuales es difícil hacer siembras, los céspedes ó tepes colocados de plano producen buenos resultados verificándolo en la estacion conveniente que es de octubre á marzo, y si provienen estos de terrenos análogos á aquel en que se colocan.

Cuando la piedra puede obtenerse barata, los revestimientos de mampostería en seco son los mas convenientes por su solidez, en particular cuando los taludes ó escarpes están espuestos á la accion de los hielos, aguas corrientes ó choque de las olas. En estos casos pueden adoptarse tambien taludes mas fuertes; á pesar de que no conviene que sean de menos de un tercio de base por uno de altura, y aun en este caso seria bueno hacerlos escalonados de tres en tres metros de altura á lo mas. Para taludes mas fuertes todavía, podria adoptarse el revestimiento de mampostería con mortero.

Revestimientos de mampostería.

A los revestimientos de piedra en seco, se les da generalmente un espesor creciente desde su parte superior ó coronacion hasta la base. En dicha parte superior el espesor tomado normalmente al talud, es de 0,3, aumentando sucesivamente 5 por 100, cuando la inclinacion es de uno y medio de base, y 10 por 100 cuando es de un tercio de base por uno de altura.

La base de estos revestimientos es necesario que sea sólida y no esté espuesta á socavaciones. Los mampuestos se colocan con su mayor dimension normal al talud y bien enlazados: cuando están espuestos á corrientes accidentales, se pueden fundar sobre una capa de grava ó ripio que sirva como de filtro, cuyo espesor sea de 10 á 15 centímetros. Tambien convendrá que se desarrolle entre las juntas la vegetacion de las plantas viváceas, para que trabes mas el revestido y se aumente su resistencia; este efecto se produce naturalmente cuando están los revestimientos espuestos á inundaciones; pero puede acelerarse el desarrollo echando sobre ellos alguna tierra vegetal, y tambien empleando para sentar los mampuestos, mortero de esta misma clase de tierra.

Al hablar de las inclinaciones de los taludes y escarpes, se indican las adoptadas en las diferentes clases de terrenos.

Causas de los desprendimientos en los terrenos arcillosos y acuosos, y medios de precaverlos ó repararlos

Cuando hay que ejecutar desmontes en esta clase de terrenos, y no se puede conseguir la consolidacion ó es esta escesivamente costosa, se tiene necesidad de variar la direccion del trazado.

Propiedades
característi-
cas de los
terrenos ar-
cillosos.

Los terrenos arcillosos absorben mas ó menos fácilmente el agua verificándose lo primero, cuando se remueven y no están perfectamente contenidos por todos lados. Por la absorcion aumentan de volúmen y se contraen á medida que pierden la humedad, pasando al estado pulverulento cuando la sequedad es completa.

Cuando las arcillas están algo húmedas, tienen mucha fuerza de cohesion y elasticidad, perdiendo estas propiedades, si están muy empapadas ó, por el contrario, completamente secas, sucediendo lo mismo respecto de su resistencia al rozamiento. En cualquier estado que se encuentren, las arcillas son impermeables, lo cual produce el resbalamiento de las capas, propiedades que son todas al parecer debidas á la presencia de la álumina que contienen.

Las circunstancias indicadas podrán modificarse segun sea la composicion de la arcilla y las materias estrañas que contenga, lo cual no puede averiguarse por la inspeccion del terreno en la mayor parte de los casos. Sucede algunas veces que exigen esta clase de terrenos hacer uso del pico para desmontarlos, y que solo al cabo de cierto tiempo de espuestos á la intemperie manifiestan las propiedades enunciadas.

Cuando se abren pozos para sondear el terreno, es necesario separar las tierras que se estraen de las distintas capas, colocarlas en montones separados y observar el efecto que en ellos producen las causas atmosféricas, sobre todo en el invierno.

Las masas arcillosas suelen tambien presentar planos de declive mas ó menos inclinados, en los cuales la fuerza de cohesion y resistencia de rozamiento son menores. Estos planos son principales ó secundarios; los primeros separan masas considerables y están dirigidos próximamente en el mismo sentido; los segundos se inclinan en todos sentidos y son numerosos: unos y otros tienen generalmente superficies lisas y jabonosas y á veces suele haber en las de junta una materia de aspecto vegetal y de un espesor, en algunos casos, de 3 á 4 milímetros.

Los terrenos arcillosos en su estado natural conservan cierta humedad; al verificar en ellos los desmontes, queda espuesta la superficie á la accion del aire y hasta cierta profundidad cambian de volúmen, contrayéndose segun el estado higrométrico de la atmósfera. La contraccion debida á la sequedad, produce grietas por las cuales se introducen las aguas de lluvia y las nieves derretidas; estas aguas reblandecen la arcilla del interior y hacen que aumente de volúmen, produciendo desprendimientos de ciertas partes de la masa. No se verifican sin embargo generalmente de este modo los grandes desprendimientos, sino solo los desmoronamientos parciales.

Causas de los desprendimientos en los desmontes.

Hay casi siempre sobrepuesto al terreno arcilloso otro permeable, y filtrándose las aguas por este forman sobre la arcilla una capa de agua mayor ó menor, segun sea la abundancia de lluvias ó nieves, la estacion, naturaleza del terreno, estension de la cogida de aguas, etc.

Generalmente esta capa de agua corre lentamente al fondo del valle y á veces solo existe periódicamente. Si en estas circunstancias se abre una cortadura, las aguas de la capa subterránea, depositándose en las hendeduras ó grietas, producen desprendimientos del terreno

En tiempo de heladas suelen estas obstruir la salida natural de las aguas, las cuales acumulándose en el terreno permeable superior, ejercen presiones tanto mayores, cuanto mas gruesa es la capa de agua. Si durante las heladas, en razon de la co-

hesion de la masa arcillosa no se producen desprendimientos, cuando se verifica el deshielo ó hay lluvias ó derretimiento de nieves, se ablanda el terreno y entonces se verifican.

El reblandecimiento durará mas ó menos tiempo, segun la naturaleza ó estratificacion de la arcilla, la esposicion é inclinacion del talud, estacion, etc; por esto los desprendimientos pueden tener lugar inmediatamente despues de abierto el desmonte ó bien pasado cierto tiempo.

La esplicacion mas general que se dá de los desprendimientos en esta clase de terrenos, es la de suponer que se verifica un resbalamiento de las capas de arcilla producido por la interposicion de una capa de agua; pero hay motivos para no admitir, al menos en parte, esta hipótesis.

Podria ponerse la objeccion de que á veces se verifican desprendimientos en masas arcillosas sobre las cuales hay terrenos permeables, sin existir la capa de agua subterránea y sin que la masa desprendida contenga partes fluidas, como no sea en la parte inferior de la superficie de resbalamiento. A esta objeccion puede contestarse que, no existiendo la capa de agua sino una parte del año, puede haber desaparecido al tiempo de verificarse el desprendimiento, permaneciendo sin embargo la causa principal del reblandecimiento, el cual ha podido progresar despues de agotado por una absorcion lenta.

A pesar de no advertirse á veces una capa de agua bien caracterizada sobre la arcilla, hay un resudamiento que produce efecto por su accion lenta.

Las superficies de resbalamiento no son pre-existentes.

Si en un talud cortado en una masa arcillosa sobre la cual insiste un banco permeable, hay una capa de agua intermedia y se verifica un desprendimiento, esto no se limitará á la capa de agua ni al resbalamiento de una parte del banco superior, sino que casi siempre tendrá lugar en toda la altura del talud y aun mas abajo. Examinando las tierras desagregadas se verá que la superficie de separacion entre estas y la masa coherente es casi continua; esto se comprueba por muchos ejemplos y no es conciliable con la esplicacion dada del resbalamiento.

La opinion sobre la preexistencia de las superficies de resbalamiento puede fundarse en observaciones inexactas. Seria muy extraño que si hubiese esta preexistencia y no la consecuencia natural de alteracion en la resistencia de rozamiento y cohesion, presentasen siempre la misma forma y se encontrasen frecuentemente en posicion simétrica en ambos lados del desmonte.

Cuando exista una vena ó capa delgada de arcilla debajo de un banco permeable, puede ser suficiente causa para producir un desprendimiento. En este caso si los referidos desprendimientos, no penetrasen debajo de la vena ó capa, no podria negarse la preexistencia de la superficie de resbalamiento; pero aun esto no bastaria generalmente para producir un desprendimiento, si no fuese porque despues de abierto el desmonte, la vena arcillosa se ablanda y cede por efecto del peso del terreno sobrepuesto á él (1).

Contribuyendo las influencias atmosféricas á la alteracion de la fuerza de cohesion y de la resistencia de rozamiento, convendrá preservar los taludes de arcilla por medio de una gruesa cubierta, y desviar las aguas interiores del talud ó darlas salida conveniente, de modo que no se detengan por las heladas ú otras causas.

Los procedimientos siguientes fundados en estas bases, asegura Sazilly haber tenido un éxito completo en los terrenos en que los ha puesto en práctica.

Los medios propuestos generalmente para conseguir el objeto de que se trata, han sido, primero el averiguar por medio

Bases de los procedimientos de consolidacion de desmontes.

Desviacion de las aguas interiores por cuneta ó acueducto exterior.

(1) El ingeniero Chaperon, en las notas que se han citado ya, no está conforme en que los efectos tengan lugar principalmente en la superficie del talud. Cree que la rotura del equilibrio de las masas arcillosas por efecto de la cortadura, es la principal causa de los desprendimientos; efectos que solo podrán contrarestarse en su opinion, construyendo muros de sostenimiento de piedra en seco, cuya altura permita suavizar la inclinacion del talud.

de sondas el sentido de la corriente subterránea, ó de la pendiente general de la superficie de la capa arcillosa: segundo, abrir una cuneta ó acueducto subterráneo paralelamente á la direccion del desmorte en su parte superior, y cuyo fondo esté al menos á la profundidad de la arcilla y con la pendiente necesaria para que corran bien las aguas: tercero, llenar esta cuneta ó acueducto con guijo hasta mas arriba de los puntos de donde salen las aguas, de modo que forme como un filtro.

Este método seria bueno en los desmontes abiertos en ladera, y si la parte superior de la arcilla tuviese una pendiente general poco desigual; pero no sucede así generalmente, y seria muy costoso el hacer seguir al acueducto las inflexiones del terreno. Ademas para que el remedio fuese eficaz, habria que establecer la cuneta ó acueducto muy próximo al borde de los desmontes para recoger todas las aguas, lo cual facilitaria que en el terreno hubiese un resbalamiento.

Los acueductos subterráneos serian un medio muy costoso y tampoco producirian efecto aunque se profundizasen hasta el fondo del desmorte, en el caso de que alguna capa permeable tuviese la forma de sifon, cuyo punto inferior estuviese á mayor profundidad que el desmorte.

Por lo espuesto se ve que no convendrá en general hacer zanjas ó acueductos, exteriores al desmorte para desviar las aguas que salen por los taludes. Para disminuirlas puede en muchos casos ser bastante igualar el terreno á la inmediacion del desmorte y en su parte anterior, para que puedan correr y tener pronta salida las aguas.

La construccion de zanjas perpendiculares al desmorte rellenas de guijo, abiertas de trecho en trecho, dice Sazilly que han producido malos resultados en los puntos en que empleó este método. Tiene el inconveniente de establecer soluciones de continuidad que facilitan los resbalamientos parciales de la masa, no pueden secar el terreno eficazmente, ni dejan dirigirse las aguas directamente hacia el talud, á no ser cuando la pendiente de la parte superior de las arcillas en el sentido lon-

gitudinal, fuese mayor que en el transversal, lo que no es frecuente (1).

Se puede dar salida á las aguas interiores directamente por medios sencillos. Si $n n'$ (Fig. 79) es la capa de agua que sale por el talud AB , se abre en este y en el sentido longitudinal del desmonte una zanja estrecha $abcd$, que profundice 0^m10 al menos en la masa de arcilla. Si la parte superior de dicho desmonte tiene pendientes y contrapendientes en sentido longitudinal iguales ó superiores á $0,01$, el fondo de la zanja seguirá próximamente estas pendientes; en el caso contrario, el fondo indicado penetrará á profundidades variables, para conseguir la pendiente $0,01$ al menos.

Salida directa de las aguas interiores al fondo del desmonte.

Los puntos mas bajos de la zanja (Fig. 80) comunican con el talud, por medio de zanjas transversales, cuyo fondo kg tiene una pendiente de $0,05$ al menos hácia el desmonte. El fondo de las zanjas se reviste con ladrillo y mortero hidráulico y la parte inferior $ebcf$ (Fig. 79) se rellena de guijo, hasta un poco mas arriba de la capa de agua; el guijo se cubre con tepes ó céspedes invertidos, es decir, estos hácia abajo y la pella de tierra arriba. Tambien puede cubrirse con losetas ó tejas, terraplenando encima; cualquiera que sea el método que se emplee, y apisonando bien.

Empleando el método descrito, no se establecen soluciones de continuidad en los taludes; todas las aguas filtradas se recogen en las zanjas longitudinales, llegan á las transversales y caen por el talud siguiendo las canales revestidas segun indican las figuras 80 y 81. Cuando hay varios bancos de desagüe, se escalonan las zanjas longitudinales, procurando que los puntos mas bajos, dados por las pendientes y contrapendientes, se correspondan en los escalones; y de este modo pueden verter

(1) En los anales de puentes y calzadas de Francia de 1856, se insertó una nota del ingeniero M. Muller, relativa á la aplicacion de los tubos de barro para sanear los taludes de tierra arcillosa en sustitucion á las zanjas. Tambien hizo aplicaciones de estos, para quitar la humedad en los firmes de carreteras obteniendo muy buenos resultados.

por las mismas canales del talud. Cuando se hacen escalones longitudinales en los taludes para recoger las aguas llovedizas, segun se indicó en otro lugar, es conveniente practicar uno de estos inmediatamente sobre la zanja de desagüe (Fig. 82) abierta en la parte superior de la arcilla, lo cual facilita las reparaciones de dicha zanja; en este caso puede aprovecharse tambien la misma canal para recoger las aguas llovedizas y las subterráneas.

Revesti-
mientos de
los terrenos
arcillosos.

Los revestimientos de mampostería son convenientes cuando puede obtenerse la piedra barata; cuando se hagan, pueden rellenarse sus juntas de arena ó tierra; pero el mejor revestimiento de los taludes arcillosos es el de tierra vegetal apisonada por capas delgadas, sembrando en ella plantas viváceas, segun hemos ya indicado antes. La plantacion de arbustos tendria el inconveniente de que sus raices podrian perjudicar al desarrollarse, á los rellenos de las zanjas. La parte inferior del talud debe revestirse siempre con piedra ó ladrillo, porque si se hiciese de otro material menos sólido, las aguas que corren por el talud podrian destruirle. El espesor mínimo total de la capa de tierra, es de 0^m25, que segun la esperiencia ha probado, es suficiente; su disposicion para que quede asegurada al talud, es la representada en las figuras 79 y 82 practicando entradas ó dientes.

Para que las aguas corran sin obstáculo en todas las estaciones, es necesario que el fondo de las zanjas esté á una profundidad conveniente para que no influyan las heladas, que tengan una seccion proporcionada á la cantidad de aguas que se calcule han de pasar por ellas y que no se embrocen ú obstruyan.

La esperiencia ha enseñado ser suficiente que esté la arista superior *e* de la zanja (Fig. 79) de 0,20 á 0,25 metros de profundidad normalmente al talud, para que las heladas no perjudiquen; el ancho en el fondo de la zanja puede ser de 0,25 á 0,50 metros. Cuando fuese necesario una gran seccion, podrian construirse acueductos de piedra en seco. No será fácil que se

obstruyan las zanjas teniendo cuidado de emplear en el relleno guijo bien limpio de tierra, y cubriendo este con césped ó tejas para que no pasen las tierras.

Generalmente salen muy limpias las aguas subterráneas, á no ser que tengan en disolucion carbonato calizo ú otras sustancias que se depositen entre el guijo, en cuyo caso seria tambien conveniente construir acueducto en vez de zanja en-guijada. Se advierte la obstruccion de la zanja, por el resuda-miento que aparece en el talud, y es fácil remediarlo en razon á la poca profundidad de aquella.

En los sitios en donde la arcilla tiene grietas ó planos de declive, se construye un zampeado de ladrillo y mortero hidrúlico: este procedimiento es conveniente emplearle aun en el caso de ser compacto el fondo de la zanja.

Zampeado
ó
revestido
de zanjas

Los conductos transversales pueden hacerse tambien sobre la misma pendiente del talud, de modo que solo desagüen por su pié; tienen la ventaja de poder dar salida á las aguas de la mayor parte de los redientes ó entradas abiertas en la arcilla para asegurar la capa de tierra, segun ántes se esplicó (Figuras 79 y 82). Estos redientes ó entradas deben tener una pen-diente longitudinal del uno al uno y medio por ciento para que las aguas no se detengan en ellos y los reblandezcan.

Pendiente
de las zanjas
transversa-
les.

El método de consolidacion espuesto, sirve para precaver ó reparar los desprendimientos, y el éxito depende de su pronta ejecucion; por lo que en el caso de abrir un desmonte que sea necesario sanear, se deben ir construyendo las zanjas y demas obras ya indicadas, á medida que se descubran los bancos de desagüe, y al mismo tiempo practicar los desagües transver-sales provisionales. Este método no es tan fácil de verificar cuando se echan las tierras del desmonte á los costados, pues las rampas de servicio impiden el rompimiento longitudinal.

Cuando se ha verificado un desprendimiento de terreno, es necesario desmontar toda la masa de tierra dislocada y reblan-

Desprendi-
mientos.

decida. Puede suceder que la superficie de resbalamiento penetre á mas profundidad que el fondo del desmonte; pero ni aun en este caso debe dejarse la parte de tierras removidas que esté encima, todo debe quitarse, pues no es posible sanear la parte arcillosa movida ya, según lo comprueba la esperiencia.

Estraidas las tierras puede procederse de dos modos. Uno es el de sanear el terreno por acueductos longitudinales y transversales indicados (Fig. 83) en la superficie $A C D$ de la parte que no se ha conmovido, y despues echar en la parte $A C D B$ tierras de buena calidad por capas sucesivas bien apisonadas. El otro medio que puede adoptarse es el de cortar la parte del desprendimiento como se indica en $a e f b$, de modo que lo que se desmonta en la parte superior compense próximamente la parte que se maciza en la inferior; este terraplen no debe exceder de un metro de grueso medido normalmente al talud, y el trazado poligonal de este debe afectar la forma general del desprendimiento en el sentido longitudinal. Despues se hace el desmonte superior reservando las tierras buenas para los demas objetos. La superficie $A C e f b$, se sana como en el primer caso; despues se hace el terraplen de la parte $A C e c a$, y por último se reviste la parte $e f$ del talud abierto en la arcilla. Este método es el mas económico y seguro.

En todo caso no deben hacerse los desagües en terreno movido, ni tampoco en el artificial apisonado, para evitar las filtraciones. Cuando el desprendimiento profundiza mas que el fondo del desmonte, es mejor construir un murete de piedra y mortero hidráulico que se apoye sobre el terreno sin remover, y que sobresalga del fondo de la cuneta, y sobre este hacer el desagüe transversal.

Hay casos en que no podria empezarse por desmontar la masa desprendida, como sucede si hay abundantes manantiales, y la arcilla está estratificada, pues podrian tener lugar desprendimientos sucesivos: así que convendrá antes de llegar al terreno reblandecido, empezar por descargar la parte superior, desmontando según el talud definitivo $c e f b$ (Fig. 83), procediendo despues al saneamiento como se dijo antes. Aun-

que al extraer despues las tierras no quede el perfil indicado á la distancia simétrica del eje del camino, esto es de poca importancia, y aun es preferible quede mas ancho el camino por aquella parte, que añadir tierras que son poco sólidas para construir los acueductos.

Los manantiales no son á veces permanentes sino periódicos, no advirtiéndose filtraciones al tiempo de construir el desmonte, y al producirse despues causan desprendimientos; por esto conviene, cuando hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso, construir desde luego los desagües. A veces no es fácil distinguir la separacion entre estas capas y hay que proceder por analogía, examinando la naturaleza de las tierras en otros sitios en donde haya filtraciones; en las madrugadas es cuando se observan mas fácilmente estas y tambien es un buen medio para descubrirlas, el echar una capa de arena sobre el talud.

Saneamiento en todos los puntos en que hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso.

Hay casos en que el terreno es en general permeable y se verifican filtraciones en una gran estension del talud, no marcándose bien las zonas de filtracion para poder hacer acueductos locales. En este caso convendrá construir revestimientos generales (Fig. 84) que cubran toda la superficie del talud, en donde se verifican las filtraciones. Puede construirse estos revestimientos de cantos rodados ó ripio, de 12 á 15 centímetros de grueso, cubiertos por una capa de céspedes ú otro material y de 30 centímetros de grueso. Se da salida á las aguas para dirigir las á las cunetas, por acueductos ó canales abiertos en el talud.

Filtraciones generales

Este desagüe general no podria hacerse sino cuando el talud está ya abierto hasta el terreno impermeable, pero puede ser necesario antes de esto practicar algunos desagües locales, que reciban las filtraciones mas abundantes, y sin cuyo auxilio habria esposicion á desprendimientos antes de establecido aquel.

Los medios espuestos no bastarán generalmente en los desmontes abiertos en laderas escarpadas, porque en este caso los

desprendimientos se extenderán casi siempre á gran distancia, y será necesario cuando se verifiquen, desmontar grandes masas de tierras. Del mismo modo si hay ya grandes hundimientos en el terreno, se tendrán que construir muros y contrafuertes ó variar el trazado.

Terraplenes.

Causas
de los des-
prendimien-
tos en los
terraplenes.

Cuando los terraplenes se construyen con tierras arcillosas, si están reblandecidas presentan mucha dificultad para su empleo, lo cual hace que no sean convenientes. Cuando están secas forman terrones cuya dureza hace que sea difícil y costosa la operacion de partarlos del modo conveniente, y si se dejan sin partir, resultan huecos en el terraplen, el agua se introduce en ellos, produce asientos y dislocaciones, y de aquí resultan desprendimientos de trozos mas ó menos considerables.

Medios
de consoli-
dacion.

Puede emplearse tierras mas sueltas mezcladas con las arcillas; pero aun cuando para rellenar los huecos se empleasen estas tierras, serian todavía de temer los desprendimientos; con esta precaucion no podria evitarse el asiento desigual y resultarian en la superficie deformaciones y grietas; en estas se depositarian las aguas, y penetrando por la tierra permeable, se detendrian en el fondo, reblandeciendo la arcilla y produciendo desprendimientos. Tambien al secarse las arcillas se contraen y forman grietas que producen estos efectos.

Cuando los desmontes producen arcilla y tambien buenas tierras, se ha propuesto formar el núcleo del terraplen con las arcillas, y los prismas laterales de los taludes con tierra, cuyo grueso en la coronacion sea de 30 á 50 centímetros y de gran base, los cuales contrarresten la accion del núcleo de arcilla. Este sistema podria evitar los desprendimientos que resultarian con la arcilla sola, y para que salgan bien no deben construirse estos prismas laterales al mismo tiempo que el relleno interior, con el objeto de que las tierras no se mezclen con la arcilla. Para practicar este método se empieza por el núcleo ó relleno

de arcilla desechando la que esté reblandecida; este relleno podrá sostenerse con un talud de 0,8 á uno de base por uno de altura, y cuando haya hecha cierta longitud se escalona el talud para que unan mejor los prismas laterales, se deja limpia de arcilla la base en que han de asentar estos construyéndolos sin perder tiempo; se les da 1,5 de base por uno de altura.

A veces no es fácil seguir este sistema, bien sea por la clase de transporte, por falta de tierra ú otras causas; pero de todos modos si se construye un terraplen con tierra y arcilla, es muy mal sistema el de mezclar las dos clases; y en este caso vale más construirle por partes de tierra y de arcilla separadas.

Se suelen construir terraplenes de arcilla con un talud de 45° y el revestimiento de 1,5 de base por uno de altura, compuesto de una pequeña capa de arena formando la superficie y el resto del espesor de dicho revestimiento con capas alternadas de arena y arcilla apisonada, inclinadas hácia el interior. Este sistema es malo en razon á que las capas de arcilla presentan á las aguas que se filtran una gran superficie, se reblandecen y las capas de arena resbalan sobre ellas.

Puede suceder que haya de construirse un terraplen sobre terreno inclinado, compuesto de capas permeables alternadas con otras impermeables que tengan manantiales constantes ó periódicos; en este caso debe sanearse el terreno por acueductos, del mismo modo que se indicó al hablar de los desmontes, pues de no hacerse esto, las aguas que salieren despues de construido el terraplen, reblandecerian el terreno dando lugar á reparaciones considerables.

Terraplen sobre terreno arcillosos.

Cuando no es posible emplear otras tierras que las arcillosas y se puede disponer de alguna parte de buena calidad, se deben hacer grandes banquetas con esta al pie del talud en donde se cree espuesto á desprendimientos, y al mismo tiempo procurar que no se detengan aguas al pie del talud, para lo cual se abren cunetas.

Consolidacion de los terraplenes arcillosos.

Verificado un desprendimiento en esta clase de terraplenes,

no debe rellenarse con tierra la parte *AFGH* sobre la masa movida (Figura 85), porque su peso haria desmoronarse á la inferior y habria que repetir la operacion varias veces, para conseguir que se contuviese el talud; soló cuando se hubiera estraído completamente la parte arcillosa *GEBDCH*, se podria llegar á verificarlo. Será mejor y mas económico el desmontar desde luego la parte reblandecida y rellenar inmediatamente el espacio *AJGB* que deja; este procedimiento ha producido muy buenos resultados en la práctica.

Después de desmontar toda la parte de tierra que hay hasta la superficie de resbalamiento, se corta por escalones (Fig. 85) teniendo cuidado de no dejar nada de arcilla entre el suelo y las tierras echadas, hasta un punto *J* á la distancia *II* de la parte superior *A* del talud de 0,8 de la altura de este ó lo mas igual á ella.

Para evitar el tener que desmontar una gran cantidad de arcilla y emplear mucha tierra, y al mismo tiempo el obstruir el paso del camino, se prefiere reforzar el desprendimiento (Fig. 85) por un sólido de tierra buena *KLM*, suavizando después el talud, y echando tierra nueva en la parte superior *MN PA*; sin embargo, no siendo posible saber el grueso conveniente que ha de tener el refuerzo, será mas seguro el primer método (1).

Durante la construccion del camino de hierro de Croydon en Inglaterra, se verificaron grandes desprendimientos en algunas cortaduras abiertas en terreno arcilloso, y estos efectos los atribuye Gregory á la introduccion del agua por las capas arcillosas y á la descomposicion de las piritas de hierro; el ácido

Opinion de Gregory sobre los desprendimientos.

(1) El ingeniero Chaperon cree mas natural el suponer que los resbalamientos que tienen lugar cuando se construye un terraplen sobre terreno arcilloso en pendiente, sean causados por la sobrecarga que esperimente el terreno con el peso del terraplen, cuando las aguas le reblandecen. Cree que éstos casos además de dar la salida conveniente á las aguas, solo podrán evitarse construyendo muros de sostenimiento y contrafuertes.

sulfúrico desprendido de estas, combinado con el carbonato de cal, forma cristales de sulfato de cal y el aumento de volúmen que tiene lugar pudo contribuir al efecto indicado.

Robert Stephenson consideraba los desprendimientos como una masa que baja un plano inclinado por efecto de su gravedad, y oponía á este efecto el rozamiento. Para esto cada 4 metros de distancia abria cajas en el talud de alto á bajo de 1,5 metros próximamente de ancho, hasta penetrar en la arcilla sólida inferior, y estas ranuras las rellenaba con mampostería, creta ó grava bien apisonada, dividiendo de este modo la masa en partes aisladas, cuyo rozamiento en estos contrafuertes evitaba el desprendimiento.

Opinion de Stephenson.

Esta opinion fue rebatida por varios individuos de la sociedad de ingenieros de Lóndres, en la que se discutieron las causas de los desprendimientos en los desmontes, diciéndose por algunos que no produciria efecto este sistema en el caso de estar la masa saturada de agua (1).

Cuando se construyen terraplenes á las márgenes de un río ó en sitio espuesto á inundaciones, es necesario resguardarlos del efecto de las aguas hasta la parte que estas puedan llegar, para lo cual se construyen muretes de piedra ó bien se fortifica con escolleras. También se pueden construir estacadas sencillas ó dobles, rellenando con escollera el intermedio. Estos casos estan representados en las figuras 86, 87, 88 y 89.

Terraplenes en las márgenes de un río.

Cuando se construyen caminos en ladera, es lo mas frecuente el hacer una parte de su ancho en desmonte y la otra en terraplen, segun se ha indicado en el lugar correspondiente. Si la inclinacion de esta ladera es considerable, se corren las tierras y para evitarlo, se construyen muros de sostenimiento de piedra en seco ó con mortero. En el primer caso

Fortificacion de terraplenes en laderas de montaña.

(1) Puede verse la discusion citada en la memoria sobre los desprendimientos que acompaña como apéndice al *Portefeuille de chemins de fer*.

suele darse á los muros un grueso medio de *dos quintos* de su altura, y en el segundo caso de *un tercio*; sin embargo, debe calcularse su grueso en cada caso. Tambien suele dárseles un talud de un *quinto de la altura* cuando son en seco y de un *décimo* cuando están hechos con mezcla.

Insertamos los datos siguientes que pueden ser útiles para dar á conocer la variacion que pueden tener los terraplenes hechos con tierras muy húmedas; bien sea porque los terrenos de donde se estraigan sean pantanosos ó por ejecutarse en invierno ó despues de lluvias fuertes.

Contraccion de las tierras por la desecacion segun Schaubler.

Tierra caliza fina cada 1000 partes disminuyen	
de volúmen	50
Greda ordinaria.	60
Id. grasa	89
Tierra del Jura.	95
Id. arcillosa.	114
Arcilla pura.	183
Mantillo.	200

La diferencia de contraccion entre la arcilla y la caliza esplica la pulverizacion de las margas por efecto de la sequedad y humedad. El mantillo pierde $\frac{1}{5}$ de su volúmen por la desecacion y vuelve á su volúmen primitivo cuando se le humedece lo que en parte esplica los movimientos de los terrenos de turba cuando varia la proporcion de agua que contienen.

QUINTA SECCION.

CLASIFICACION DE LAS PARTES QUE CONSTITUYEN LOS PERFILES TRANSVERSALES DE UN CAMINO ; SUS FORMAS Y DIMENSIONES ; SU CONSTRUCCION.

Al tratar del trazado se ha visto la situacion ó circunstancias que un camino puede presentar, relativamente al terreno en que se construye, que son las siguientes :

Hallarse el plano rasante del camino trazado sobre el mismo terreno natural ; hallarse en terraplen ; en desmante, ó parte en desmante y parte en terraplen.

Situacion del plano rasante, relativamente al terreno natural.

En el primer caso (Fig. 90), el perfil transversal de una carretera está compuesto: de la caja, en la cual se construye el afirmado para el tránsito de los carruajes y caballerías; de los paseos ó refuerzos laterales á uno y otro lado de la caja, que sirven para encajonar el firme y al mismo tiempo para el tránsito de los peatones; de las cunetas, una de cada lado, cuyo objeto es recoger las aguas del firme y terrenos de los lados del camino y conducir las á los puntos mas bajos del terreno.

En el segundo caso (Fig. 91), solo hay necesidad de construir la caja para el afirmado y los paseos, en razon á que las aguas pueden verter por los taludes ó escarpes del terraplen.

En el tercer caso (Fig. 92), el camino está compuesto de la caja, de los paseos y de las cunetas á ambos lados; pues las aguas del firme no tienen mas salida que por estas, y en la mayor parte de los casos tambien vierten en ellas las aguas del terreno superior.

En el caso cuarto (Fig. 93), que es la combinacion del segundo y tercero, no habrá cuneta sino del lado del desmante;

suele suceder cuando se presenta el terreno en ladera, que es el caso actual, que se acumulen muchas aguas y sea necesario abrir á ciertas distancias tajeas ó desagües, segun se indica en la figura dando salida á estas, desde el punto *a* del lado del desmonte al opuesto *b* del terraplen.

El perfil transversal del firme puede tener varias formas; una de ellas es la convexa, adoptada para los afirmados de carreteras; tiene la ventaja de que pueden transitar por él los carruajes con menos esposicion de tropezar unos con otros, y al mismo tiempo de que se distribuyen mejor las aguas; ademas es el único conveniente para la construccion de los firmes ordinarios, segun se verá al tratar de estos.

En la descripcion anterior de las diferentes partes que constituyen un perfil, se han supuesto las cunetas situadas entre el paseo y el terreno de los costados, por ser el sistema adoptado generalmente en las carreteras; sin embargo, en algunas casos se adopta el perfil representado (Fig. 94), en el cual se colocan las cunetas *c* entre el firme y los paseos: de este modo las aguas del firme no tienen que pasar sobre aquellos, á los que se da una pequeña inclinacion transversal. Este sistema no se adopta generalmente sino para firmes empedrados, en razon á que es necesario construir dichas cunetas tambien empedradas.

En los caminos en ladera suele adoptarse la seccion indicada (Fig. 95) dando la forma plana al firme con una inclinacion de 1 á 2 por 100 hácia la parte del desmonte: esta disposicion tiene el inconveniente de exigir mayor anchura en la cuneta, estar sujeto el firme á mayores degradaciones y ser mas difícil su conservacion, en particular si se construye de piedra machacada.

Tambien hay otro perfil llamado cóncavo (Fig. 96) inadmisibile para los firmes comunes de carreteras y empleado con frecuencia en los empedrados; tiene el inconveniente de que los carruajes que transitan por el centro pueden tropezar con mas facilidad. Suele sustituirse este perfil por el representado (Figura 97), compuesto de dos planos inclinados, formando un arroyo central. Este sistema tiene los mismos inconvenientes

que el anterior; sin embargo presentan ambos la ventaja, cuando se adoptan en los afirmados de las calles, que las aguas no perjudican al tránsito de los peatones como cuando los arroyos corren á los lados de las aceras. Tiene que adoptarse en las calles estrechas este perfil.

Para que los carruajes siguiesen distintas direcciones con mas frecuencia, convendria que la anchura del firme fuese considerable; pero esto aumentaria mucho el costo de construccion y conservacion.

Anchura
del firme y
partes accesorias.

Aun suponiendo un ancho suficiente para todas las necesidades de la circulacion, bastaria solo el necesario para el paso de tres carruajes de frente, suponiendo que se cruzan dos y que aun haya paso para otro á gran velocidad, como los correos, sin que tenga que detenerse; pero es suficiente que haya paso para dos carruajes tratándose de caminos de 2.º y 3.º orden.

Con arreglo á la ley de 7 de mayo de 1851, la clasificacion de las carreteras fué la siguiente:

- 1.ª clase. Carreteras generales.
- 2.ª — transversales.
- 3.ª — provinciales.
- 4.ª — locales.

CLASIFICACIONES de las carreteras y sus dimensiones con arreglo al formulario de 1855.

CLASES.	Ancho del firme	Idem de paseos.	Latitud total
1.ª Carreteras generales	^m 6,6 (^{pies} 23,68)	^m 3,4 (12,20)	^m 10, (35,89)
2.ª Transversales	6,0 (21,53)	3,0 (10,76)	9 (32,29)
3.ª Provinciales.	1.ª 5,6 (20,09)	2,4 (8,64)	8 (28,71)
	2.ª 4,5 (16,15)	1,5 (5,38)	6 (21,33)
	3.ª 3,5 (12,56)	1,0 (3,58)	4,5 (16,15)

El ancho total se contará entre las aristas interiores de las cunetas ó las exteriores de los terraplenes y de los muros.

Las dimensiones anteriores podrán aumentarse en las entradas de las poblaciones, segun lo exijan sus circunstancias particulares.

En donde la topografía exija costosas obras para obtener las dimensiones señaladas, se podrán reducir y hasta suprimir los paseos; y solo en las partes donde sean los obstáculos de gran consideracion, podrá disminuirse prudentemente el ancho del firme.

La primera clase comprende las carreteras que van desde Madrid á las capitales de provincia y á los departamentos de marina y aduanas de gran movimiento mercantil, habilitadas para el comercio extranjero. Los ramales que mande construir el gobierno y que, partiendo de una carretera general, conduzcan á alguno de los puntos designados antes, forman parte de la misma carretera. Las de segunda clase son las que, pasando por una ó varias capitales de provincia ó centros de mayor poblacion ó tráfico, cortan ó enlazan á dos ó mas carreteras generales. Las de tercera clase, las que enlazan una carretera general con una transversal; las que, partiendo de una carretera general ó de una transversal, terminan en un punto de produccion ó de esportacion; las que ponen en comunicacion directa dos ó mas provincias, y las que en las Islas Baleares ó Canarias pongan en comunicacion á la capital con otros puntos marítimos, ó á dos ó mas puntos de produccion ó de esportacion. Las de cuarta clase, las que algunos pueblos de una ó mas provincias promueven y ejecutan asociados para un objeto de utilidad comun.

Con arreglo á la nueva ley de carreteras de 23 de julio de 1857 se han clasificado estas del modo siguiente.

Carreteras de primer orden.

Desde Madrid á las capitales de Provincia, departamentos de marina y donde haya establecidas aduanas marítimas.

Ramales que desde un Ferro-carril, conduzcan á algunos de los puntos designados.

Las que enlacen dos ó mas ferro-carriles pasando por un pueblo cuyo vecindario no baje de 15,000 almas.

Las que unan dos ó mas carretas de primer orden pasando por alguna capital de provincia ó centro de gran poblacion ó tráfico asi del interior como del litoral de la península siempre que su vecindario esceda de 20,000 almas.

Carreteras de segundo orden.

Las que pongan en comunicacion dos capitales de provincia.

Las que enlacen un ferro-carril con una de primer orden.

Las que partiendo de un ferro-carril ó de una de primer orden terminen en un pueblo cabeza de partido ó mayor de 10,000 almas.

Las que en las Islas Baleares y Canarias se pongan en comunicacion con la capital otros puntos marítimos.

Carreteras de tercer orden.

Serán las que sin tener ninguna de estas condiciones señaladas para las espresadas, interesen á uno ó mas pueblos aun cuando no pertenezcan á una misma provincia.

Art. 10. Las carreteras declaradas ya generales y trasversales se consideran de primer orden; las provinciales de 2.º y de 3.º los caminos vecinales.

Algunos ingenieros exigen que la solera de la caja destinada á recibir el firme se eleve en las esplanaciones sobre el terreno natural para preservarla de la humedad; otros no dan importancia á esta disposicion y creen que es un gasto inútil el que se causaria para conseguir este resultado.

No es sin embargo indiferente el emplear uno ú otro método; pero el dar reglas generales para todos los casos seria incon-

Construccion
de la caja para
el firme

veniente; en terrenos resistentes y secos no habrá peligro en abrir la caja despues de bien hecha la esplanacion, siempre que á las aguas de las cunetas pueda darse la salida conveniente. El que esté la solera de las cunetas mas baja que el fondo de la caja del firme, suele bastar para que las aguas que se filtren por este tengan la suficiente salida.

El método de abrir la caja en el terreno natural, siempre que esto puede verificarse, tiene la ventaja de que los refuerzos ó paseos que la forman queden mas sólidos que cuando se hacen de tierras echadas ó sobrepuestas al terreno, pero tiene el inconveniente del mayor costo por el trasporte de las tierras de caja y cunetas fuera del camino. Cuando se eleva la solera de la caja sobre el terreno natural hay al contrario que trasportar la tierra para los refuerzos de fuera del camino, y esto produce tambien aumento en el costo.

Para evitar los inconvenientes anteriores se suele tomar un término medio, que es el de abrir parte de la caja en el terreno natural, de modo que con la tierra de esta y de las cunetas se tenga próximamente la suficiente para los refuerzos ó paseos; este sistema es el mas económico.

Cualquiera que sea el método que se siga, es conveniente verificar antes con esmero la esplanacion. El elevar la solera sobre el terreno tiene tambien el inconveniente de formarse con tierra movida por lo cual resulta menos consistente que cuando se abre en el terreno natural.

La solera de la caja puede ser de seccion transversal horizontal ó con curvatura ó bombeo en el centro. Este último método tiene la ventaja de echar á los lados las aguas facilitando así los desagües y desecamiento de aquella, por medio de acueductos que pasan por los paseos; ademas puede obtenerse alguna economía de piedra en el centro del firme. En las cajas planas es fácil que al verificar las operaciones del afirmado, se formen depresiones que hagan cóncava la solera y se deposite en ellas el agua, cosa perjudicial aun dando poca importancia á la impermeabilidad del firme; pues resulta que por la permanencia de las aguas se ablanda el terreno y puede ocasionar

hundimientos en la superficie del camino, formándose baches y alterando su perfil.

La altura de los bordes de la caja está subordinada al grueso del firme y para evitar los desmoronamientos, es conveniente hacerlos con un talud pequeño en vez de ser verticales.

Sabiendo la profundidad que ha de tener la caja, se toma desde los bordes ó mordientes, rectificando la rasante de la solera por medio de niveletas; tambien se emplean cerchas ó plantillas transversales que pueden ser las mismas que para la construcción del afirmado, y tambien se fijan diversos puntos de la solera atirantando cuerdas ó colocando un reglon desde los paseos y bajando ordenadas con jalones ó estaquillas.

La clase del terreno sobre la cual se sienta el afirmado, puede ser en roca; en tierra ó arena, ya sea en desmante ó sobre terraplenes en terrenos arcillosos y en terrenos pantanosos.

Preparacion del terreno de la caja del firme segun su calidad.

Cuando el terreno es de roca dura hay que abrir caja del mismo modo que en los demas casos; la gran dureza de la solera haria muy rigidos los firmes en este caso si se hicieran demasiado delgados y estarian los materiales mas espuestos á deshacerse con la presión de los carruajes por la gran resistencia que ofrece el suelo. El grueso del firme debe ser poco menos en este caso que el que se construye en circunstancias comunes.

Roca.

Sobre fondo de arcilla el agua no se filtra, y por consiguiente forma una pasta. Para proporcionar el desagüe conveniente se abren regueras ó zanjas de 0,2 á 0,5 metros de profundidad en sentido longitudinal del camino; estas zanjas vienen á verter con pendientes alternadas á otras transversales que desagüen por debajo de los paseos hasta las cunetas ó taludes del terraplen, rellenándolas con piedra suelta, arena ó faginas que dejen correr el agua y colocando encima el firme. A veces tambien se levanta una capa de esta arcilla y se la reemplaza con arena ó guijo, lo cual es aplicable en el caso de no poder dar desagües convenientes. En esta clase de terrenos, cuando están

Terrenos arcillosos.

situados en partes bajas y húmedas y esposicion al Norte debe hacerse el firme de mas espesor.

Terrenos pantanosos

En los terrenos pantanosos ó muy flojos puede emplearse para base del afirmado un emparrillado de madera ó bien de enfaginado, cubierto con una capa de piedra algo gruesa de 40 á 50 centímetros de espesor y á veces otra segunda capa de piedra gruesa. Tambien suele bastar á veces el saneamiento por medio de las zanjas indicadas antes, ó bien la construccion de un empedrado ó enlosado inferior que en algunas localidades suele llamarse encachado.

Cuando el camino va en terraplen en esta clase de terrenos, suele ser suficiente dejar sentar aquel mucho tiempo; pero tambien pueden emplearse los emparrillados indicados para base del terraplen, y de este modo, en casos especiales, obtener mayor seguridad.

Saneamiento del terreno.

Para el saneamiento del terreno sobre que se establece el afirmado, con el objeto de que las aguas no se depositen en el fondo de la caja, en particular en los terrenos arcillosos ó pantanosos, se ha propuesto en 1850 por Basompierre la aplicacion del *drainage*. Este sistema, muy admitido ya para sanear los terrenos dedicados al cultivo, consiste en la colocacion de una linea de tubos de barro poroso establecida en el centro de la caja á 1,50 metros de profundidad, con salidas laterales para las aguas cada 400 metros. Para caminos muy anchos propone dos líneas, una debajo de cada paseo á un metro de profundidad, los tubos tendrian 0,30 á 0,35 metros de longitud, y un diámetro de 4 centímetros próximamente. Seria necesario tomar la precaucion de no construir el firme sino un año despues de establecidos los tubos.

Uno de las primeras aplicaciones de este sistema en Francia en terreno húmedo, sobre el cual habia de establecerse el firme de una carretera, produjo muy buenos resultados; habiendo conseguido que á los dos meses estuviese seco para establecer el afirmado. Se colocó una fila central de tubos á 0,08 próxima-

mente de profundidad, de 0,^m35 de diámetro interior y otras filas oblicuas de 0,^m015 de diámetro para conducir las aguas al tubo principal, y este desagüaba en acueductos subterráneos.

En terraplen, y en general aun en los desmontes, pueden establecerse solo las filas transversales que desagüen á los costados:

La fig. 98 es el perfil de un camino en terreno pantanoso, en el cual Mac-Adam verificó el saneamiento por medio de los pequeños acueductos indicados en la figura, colocados á cortas distancias entre sí; su seccion era de unos 20 centímetros al menos y construidos con piedra en seco.

Segun nuestras observaciones, un peon buen trabajador puede abrir en un jornal de 10 horas de trabajo en tierra fuerte, 5 metros lineales de caja de 6,2 metros de ancho, 25 centímetros de profundidad en el mordiente ó bordes y 14 centímetros en el centro. Abriendo caja y cunetas podia hacer en las mismas circunstancias unos 2 metros lineales de caja y cunetas por jornal.

Datos de mano de obra.

Se ha visto al hablar de la caja, cual es el sistema de construcción mas conveniente de los refuerzos ó paseos; relativamente á sus dimensiones seria suficiente medio metro, siempre que su objeto fuera solo el contener la piedra del firme; pero cuando lo es tambien el que puedan servir para el tránsito de los peatones, se les suele dar hasta 1^m8. Estas dimensiones son excesivas y hacen que aumente mucho el costo de una carretera en razon á los mayores desmontes y terraplenes que ocasiona y mayores gastos de espropiacion.

Construccion de los paseos ó refuerzos.

No hay conformidad en los pareceres respecto de la utilidad de los paseos opinando algunos que debe estenderse en todo el ancho del camino la última capa del firme, para que las caballerías y aun los carruajes puedan transitar por ellos, evitándose así el lodo y polvo que suelen producir aquellos; tambien se evitaria con esto las consecuencias que nuestros reglamentos de

policia de carreteras ocasionan en razon á las multas que se establecen para los carruajes que se salen del firme.

Los paseos contruidos con tierras sacadas de la caja ó cunetas, tienen el inconveniente de ser poco resistentes si no se toma la precaucion de apisonarlos bien, lo cual debe verificarse en estos casos con esmero por medio de pisones de cuña.

Para encajonar el firme se generalizó en España al construir algunas carreteras á mediados del siglo pasado, el colocar dos filas ó cintas de losetas ó adoquines, una de cada lado, formando las paredes y refuerzos; esta construccion se ha desechado porque es innecesaria y muy costosa.

Cunetas.

La solera de las cunetas debe estar mas baja que el fondo de la caja; abierta en el terreno natural como este no sea de piedra, exige muchos cuidados para evitar los aterramientos, socavaciones, etc. Por esta causa seria mejor empédrarlas, pero costaria mas su construccion; sin embargo, es el partido que se toma en las travesias de los pueblos para evitar su destruccion.

El ancho que se da generalmente á las cunetas en la boca ó parte superior, es de 0,85 metros y 0,42 de profundidad; estas dimensiones dependen de la cantidad de aguas que han de recibir, debiendo ser mayores generalmente en el caso de que el camino esté abierto á media ladera.

La pendiente que se da á las cunetas en los terrenos consistentes es la misma que la del camino; cuando esta sea excesiva y los terrenos son arenosos ó flojos resultan socavaciones por la accion de las aguas que corren con demasiada velocidad, y para evitarlo se disponen por escalones, haciendo tramos de cunetas con pendientes regulares; la solera del escalon ó tramo sucesivo mas bajo, se empiedra, poniendo muretes de mamposteria de piedra ó ladrillo en las caidas; el agua pierde en ellas su velocidad y se evitan las socavaciones (Fig. 99).

Segun que el camino esté en esplanacion, desmonte ó terraplen; así exigirá una faja mas ó menos considerable de terreno, y segun sean tambien las alturas en los dos últimos casos, pues

Terrenos necesarios para la carretera.

los taludes tendrán mas base cuanto mas altos sean. Así suponiendo un camino cuya rasante esté en el terreno natural, se necesitará ademas de la faja necesaria para el firmé, paseos y cunetas, una á cada lado para depósitos de materiales, ó para que los labradores no se aproximen á las cunetas y las destruyan; esta faja suele ser de un metro. En los desmontes segun sea la consistencia del terreno, así abrirá mas ó menos la seccion superior; de suerte que habrá que contar con esta abertura entre los bordes superiores del talud, y ademas con lo que ocuparan los caballeros de la tierra de los desmontes, en el caso que haya que depositarla arriba por no tener en donde echarlas. Es necesario tener presente en este caso, que los caballeros no deben estar colocados al borde del talud, porque de este modo las tierras caen á las cunetas y ejercen tambien presion sobre el terreno haciendo que se desmorone con mas facilidad; será conveniente retirarlos un metro del borde, y habrá que contar con este espacio ademas de lo que ocupe el caballero.

En el caso de que se recojan muchas aguas en tiempo de lluvias en los terrenos superiores, es conveniente desviar estas para que no se acumulen en las cunetas y cayendo en exceso por los taludes los degraden; para esto se abren zanjás de coronacion.

Cuando el camino va en terraplen debe contarse con una faja de terreno al pie del talud, para que no se aproximen á labrar hasta dicho extremo, y á veces en terrenos húmedos hay necesidad de abrir zanjás al pie de los taludes dejando un refuerzo ó banqueta de 0,8 á 1 metro para que las aguas no los corroan.

Durante la construcción del camino se necesitan tener terrenos para depósitos de materiales y para sacar las tierras que han de formar los terraplenes, por cuyos terrenos generalmente solo hay que abonar daños y perjuicios á sus dueños, sin hacer espropiacion.

En el caso referido de tomar tierras de prestaciones, es preciso dejar *damas* en toda la estension, en los puntos en que

haya cambios de altura, para no dar lugar á cuestiones sobre estas alturas del terreno al hacer las indemnizaciones. Estas damas son, como se indica al hablar de los desmontes, partes del terreno que se dejan sin desmontar en varios sitios formando conos ó pirámides que sirven de señales.

SESTA SECCION.

AFIRMADO DE LAS CARRETERAS.

Historia y descripcion de los diferentes sistemas de afirmado; materiales que se emplean; sus propiedades; coste de los firmes.

Observaciones preliminares.

Cuando se juzgaba la duracion de un firme como su calidad principal, se consideraban como modelos los contruidos por los romanos, y ya que por su mucho costo no se ejecutasen como aquellos, se hacian con grandes piedras, no cuidando de su conservacion, sino en épocas mas ó menos lejanas en que los deterioros eran escesivos.

Multiplicada la circulacion se trató de reformar los empedrados antiguos, y tambien de obtener firmes menos duros y mas cómodos para la circulacion de los carruajes. Vamos á ocuparnos de los principales sistemas de afirmado, describiendo los llamados firmes ordinarios ó de piedras machacadas, los empedrados y tambien otras varias clases ensayadas con mas ó menos éxito.

Puede decirse que aun en la actualidad no hay un sistema que llene las necesidades del tránsito, ni que satisfaga bajo el punto de vista económico, y no es de estrañar suceda esto, pues es sumamente difícil conciliar la duracion y el buen estado

constante de un firme, con la elasticidad ó poca rigidez y dureza que fatiga á los motores y destruye los carruajes.

No es solo del sistema de construcción del que depende la bondad del firme, sino también de la calidad del material y del clima en que se construye; circunstancia que complica y que hace más difícil la resolución del problema.

Los romanos, cuyas obras tienen un carácter de duración y solidez muy marcado, construyeron los caminos de los países que conquistaron y los de su patria con los brazos de los esclavos y con los grandes recursos de que disponían; así es que les dieron una solidez excesiva, no reparando en su elevado costo, como lo prueban los restos que se conservan de aquellos caminos en varios países; en España el más notable, es la llamada vía Argentina ó camino de la Plata, desde Salamanca por Mérida á Sevilla.

Firmes romanos.

Estos firmes estaban compuestos de diversas capas de mampostería y hormigón, cuyo espesor era de más de un metro en algunos casos y el todo cubierto con losas. Algunos firmes que se conservan todavía tienen 4,5 á 4,75 metros de ancho; con refuerzos ó banquetas á los costados de 0,6 y á veces de 2 á 3 metros de ancho.

Como se ve, indudablemente eran muy sólidos estos caminos; pero inadmisibles para la circulación actual por su excesiva rigidez, además del gran costo inútil de su establecimiento; la descripción detallada de su construcción puede verse en la obra de Bergier, titulada *Historia de los caminos del imperio romano*.

Para atenuar las degradaciones de los firmes que se producen por el continuo roce de las ruedas de los carruajes, y al mismo tiempo proporcionar el suficiente asidero y menos fatiga á las caballerías se ideó por algunos ingenieros, y entre ellos por Polonceau en 1828, firmes mistos con carriles de losas para las ruedas y zonas intermedias de afirmado común. En Inglaterra se aplicó este sistema en 1829 en el *comercial Road*, haciendo

Sistema misto.

los carriles de granito, y á los cinco años de uso estaban todavía en buen estado. Minard valuaba el rozamiento en estos carriles en $\frac{1}{100}$ de la carga, que es un tercio próximamente del que tiene lugar en los firmes empedrados, y por consiguiente exigían tres veces menos caballerías que en aquellos.

Estos firmes son caros; las caballerías no siempre siguen el mismo camino y el movimiento es duro; pero pueden tener buenas aplicaciones en los caminos que se construyan para la extracción de minerales ó servicio de fábricas, etc., en países abundantes de piedra; sin embargo se verá mas adelante que este sistema empleado en Italia se propone, como una de las soluciones mas ventajosas para las calles de las poblaciones; por el ingeniero Baudemoulin.

Sistema de
Tresaguet.

El ingeniero Tresaguet fué de los primeros que se ocuparon en Francia á fines del siglo pasado, de la reforma de los firmes de carreteras; su sistema consistía en formarlos de tres capas, la inferior de piedras de 16 á 20 centímetros, colocadas por su cara mas plana, labrada toscamente y rellenando los huecos que resultaban con piedra mas pequeña. La segunda capa se formaba con piedra de 4 centímetros, hasta la altura del mordiente ó borde de la caja. La tercera capa era de piedra machacada de 3 centímetros próximamente. Este sistema se sigue aun en el día por varios ingenieros.

Sistema de
Mac-Adam.

Uno de los sistemas de afirmados que mas ocupó á los ingenieros generalizándose en diversos países, fué el del práctico inglés Mac-Adam, el cual alcanzó gran éxito en Inglaterra desde 1819 y que valió á este recompensas por valor de 6,000 libras esterlinas y sueldos considerables.

Considera Mac-Adam como circunstancia esencial el que permanezca seco el firme interiormente, pues en particular en los países frios, el agua que penetra en él le empapa, y helándose le hace aumentar de volumen y cuando deshiela repentinamente destruye la unión de los materiales. Para evitarlo, en vez de abrir la caja sobre el terreno natural cuando el camino

vá sobre este, eleva el fondo ó solera de aquella; de este modo las aguas que penetran por el firme podrán tener mejor salida á los costados, dejando en seco la caja.

Construye el firme con tres capas compuestas de piedras de igual tamaño de 4 á 5 centímetros de lado. Despues de estendidas, hace que pasen sobre cada una los carruajes y caballerías para que las apisonen. El grueso total que aconseja dar á los firmes es de 23 á 24 centímetros lo más; generalmente, los firmes que construia no tenian sino de 13 á 14. La dureza de la piedra y pequeño tamaño de ella lo juzgaba de tal importancia, que hacia acribar esta, desechar los pedazos que pasaban de 0,17 kilógramos de peso, escogiendo la piedra dura y bien limpia de tierra, para lo cual aconseja el lavarla antes de emplearla, echando agua con abundancia sobre los montones ó por otros medios.

La flecha ó esceso de altura que daba en el centro del firme era de 7 centímetros, teniendo este una anchura de 9 metros próximamente.

Con estas precauciones supone que á pesar de ser preferible la piedra dura, podrá obtenerse con cualquier clase de esta un firme impermeable que se desgastará uniformemente, permaneciendo transitable hasta perder casi todo su espesor: una de las circunstancias que exige igualmente, es que la piedra que se emplee sea machacada, para que pueda trabar el firme; pues este efecto no podría obtenerse con el guijo ó piedras redondeadas.

El sistema de Mac-Adam produjo largas discusiones entre varios ingenieros, queriendo demostrar algunos que muchos firmes á pesar de penetrar el agua hasta la caja, no por eso dejaban de ser muy buenos; tambien negaron la necesidad de que la piedra que se emplease estuviera exenta de detritus; pues habia firmes en los que la cuarta parte se componia de estos, y estaban en muy buen estado de viabilidad; considerándose ademas por estos ingenieros que la perfecta igualdad de la piedra no es esencial y aumenta el costo, del mismo modo que la operacion de apisonar cada capa del firme.

Sistema de Telford.

Otro método de construir los firmes alcanzó hacia la misma época que el de Mac-Adam bastantes partidarios en Inglaterra, formando hasta cierto punto dos escuelas opuestas. Este método fué el propuesto por Telford.

Estableció este que no podían existir buenos firmes sin fundación ó cimiento de piedras gruesas, pues de lo contrario, el tiro de las caballerías era mas difícil, la conservación mas costosa y el desgaste mayor.

Sobre el empedrado referido colocaba una capa de piedra machacada formando un firme de 33 á 40 centímetros de espesor al menos. Creía que solo las piedras duras pueden producir buenos firmes, siendo perjudicial la elasticidad.

Sistema de Polonceau.

En 1822, el ingeniero Polonceau propuso un sistema de construcción fundado en la observación de que en un firme, los materiales desgastados ó detritus de la superficie vienen á introducirse entre las piedras de que se compone. Propuso, pues, combinar con las piedras duras otros materiales mas tiernos, tales como los detritus de calizas, en la proporción de un tercio á un quinto, colocándolos por capas alternadas con la piedra y formando la superior con los materiales mas duros, cubierta con un recebo de detritus.

El complemento de esta construcción era el cilindro ó compresión del firme sobre cada capa y aun sobre la caja misma por un rodillo de peso de 6000 kilogramos. De este modo se verificaba una trabazón mas íntima en los materiales, efecto que tarda mucho en conseguirse con la circulación, se verifica con desigualdad y produce fatiga en el ganado y desarreglo en el firme.

Mas adelante se tratará del cilindro compresor haciendo la descripción de él y detallando las circunstancias de su empleo.

Sistema de Candemberg.

Por consideraciones analogas á las que condujeron á Polonceau á su método de construcción de afirmado, Candemberg examinando lo que se verifica en los firmes por efecto del acarreo, á saber, que los materiales desechos por la presión de las

ruedas caen en los intersticios que dejan los materiales mas gruesos y sirven como de cemento, le condujo á construir los firmes con materiales de varios tamaños; con los mas pequeños forma una especie de mortero que no deja penetrar fácilmente el agua, consiguiendo al mismo tiempo que la contraccion por la sequedad no produzca huecos.

El mortero de detritus que aconseja emplear, depende de la clase de materiales disponibles en cada localidad, pudiéndose en defecto de otros usar una mezcla de arena y arcilla; esta última en la proporcion necesaria solo para llenar los huecos de la arena.

Para construir los firmes por este método, estendia en tiempo húmedo una capa de detritus de piedra tierna ó del mortero referido, de unos 2 centímetros próximamente de espesor; sobre esta pasta tierna todavía echaba una capa de 10 centímetros de piedra machacada y limpia de tierra, apisonándola; para que se introdujese por sus huecos el mortero; y sobre esta otras dos capas formadas del mismo modo. Supone que así se obtiene un firme perfectamente unido y resistente, debiendo dejarle secar bien antes de permitir el tránsito.

La proporcion del mortero puede variar segun el tamaño de la piedra que se emplee: su objeto es solo el rellenar los huecos que quedan entre esta. Para averiguar la conveniente, indica que puede hacerse, colocando cierta cantidad de piedra en una caja ó cubo y echando agua; el volumen de los huecos se determina midiendo el del agua que se ha introducido.

El ingeniero León al ocuparse (1838) de los diferentes métodos de construccion de los firmes, dice que el sistema de Polonceau podrá dar lugar á cometer abusos al mezclar la piedra y detritus, empleando escesiva cantidad de estos.

Sistema propuesto por el ingeniero León.

Propone para evitarlo el colocar la piedra de inferior calidad solo en la primera capa y en la última ó sea la de la superficie, la piedra mas dura; opina que el método de Polonceau aunque bueno para la construccion de un firme, seria difícil para su conservacion; y que la dureza y limpieza del material

puede influir mucho en la bondad de un afirmado. Este ingeniero considera suficiente un espesor total de 25 centímetros.

Sistema
de Berthault
Ducreux.

Uno de los ingenieros que se han ocupado mas de las cuestiones relativas á la construccion y conservacion de carreteras, ha sido Berthault Ducreux, el cual escribió varias memorias sobre este objeto desde 1828 á 1848.

Este ingeniero critica en sus obras el sistema de Mac-Adam y apoyándose en ejemplos de carreteras construidas, opina que los firmes pueden ser muy sólidos y muy buenos, aunque sean permeables, pues aun los mejores suelen mantener en su caja una humedad permanente. Considera como una exageracion el exigir que la piedra esté perfectamente limpia de detritus, porque aun los mejores firmes contienen á veces mayor proporcion de estos que de piedra, cuando ya están trabajados por la circulacion, siendo aun mas perjudicial que útil la igualdad del tamaño de la piedra, al mismo tiempo que es caro el seguir este método; cree que puede emplearse ventajosamente las piedras desde 5 centímetros de lado hasta las mas pequeñas. Contrario á la opinion de Mac-Adam, este ingeniero hace consistir la bondad del firme, mas bien en el esmero y cuidado de su conservacion, que de su construccion. Tampoco considera esencial el elevar la caja del firme sobre el terreno natural. Segun sus esperimentos la relacion de los huecos de la piedra machacada de 4,6 á 5,8 centímetros de lado es á la del volumen de esta, como 0,48 á 1; y despues de haber trabado bien los materiales, ó lo que suele llamarse en España haber hecho clavo el firme, se reduce á 0,25 del volumen de la piedra. Respecto á construir la primera capa de piedras mas gruesas, indica Ducreux que las diversas opiniones emitidas sobre este método, están generalmente de acuerdo sobre la inutilidad de verificarlo.

Tampoco cree admisible en todos los casos el espesor del firme establecido por Mac-Adam, pues segun sea la calidad del material, mas bien que por la naturaleza del terreno, se necesita á veces darle mayor espesor, por ejemplo: cuando la

frecuentacion escedè de 200 colleras de tiro diarias será conveniente, sobre todo en terrenos flojos, no hacer el firme menos grueso de 15 centímetros y aun en ciertas circunstancias el doble.

El ingeniero francés Dumas considera como inútil la fundacion de piedra gruesa y cree suficiente para el firme un espesor de 10 centímetros, sin embargo que en casos especiales puede darse hasta 20 segun las circunstancias, pero sin que nunca deba excederse este espesor pues sería inútil y costoso.

Opinion de Dumas

Otros ingenieros han creido tambien lo mas conveniente el empleo de piedra de igual tamaño; y tanto mas pequeña cuanto mas frecuentado sea el firme.

Muntz considera tambien como suficiente en rigor para carreteras poco frecuentadas un espesor de 12 á 18 centímetros, según la calidad del material.

Carreteras de España

Los afirmados de las carreteras de España construidas desde el reinado de Fernando VI (1), estaban compuestos de gruesas piedras, sistema que fué necesario variar á medida que se fueron restaurando en épocas posteriores.

Sistemas seguidos en la construcción del firme

Uno de los ingenieros que empezaron á ocuparse con mas especialidad de la construcción de los afirmados, fué D. Francisco Javier Barra, luego director general de caminos, y el cual en 1820 escribió un tratado sobre el objeto indicado; en él exponia los métodos que conceptuaba mas convenientes, y que puso en práctica en las carreteras que dirigió en aquella época.

Segun este ingeniero, el firme debía construirse con dos filas de adoquines ó cintas, con el objeto de formar una caja de 25 centímetros de altura. La primera capa del firme debía constar de piedras gruesas, sentadas á mano sobre su mayor dimension, arreglándose del mejor modo que su figura permitiera.

(1) Ver el apéndice, número 1.º

tiese. Los huecos que dejan entre sí estas piedras deberían rellenarse con piedra mas pequeña, golpeando con mazas de hierro para encajarla bien y romper las puntas salientes, dejando una superficie plana; esta primera capa tenia 16 centímetros de espesor en toda su anchura. La segunda capa colocada hasta el borde de la cinta con 16 á 18 centímetros en el centro; estaba formada de piedra machacada en caja sobre la primera. La tercera capa estaba tambien formada de piedra machacada en caja, con el objeto de que se macizase mejor todo y los detritus rellenasen los huecos de las capas inferiores; ésta tambien debia tener 18 centímetros en el centro, viniendo á terminar en los costados en *cero*.

Para recebo ó cubierta del firme proponia estender una capa de arcilla; de la cual, despues de llenar los huecos, quedase sobre el firme un espesor de 2 á 3 centímetros y sobre esta echaba una de arena de 7 centímetros. En los terrenos de roca suprimia la primera capa del firme.

Se ve que como Telford, Tresaguet y otros ingenieros, daba Barra mucha importancia á la fundacion, considerando los firmes romanos como un sistema que cumpliera ciertas condiciones de solidez indispensables; así es, que miraba como una cosa perjudicial el estrazer las grandes piedras de los firmes antiguos para partirlas y reformarlos, conforme al método de Mac-Adam, pues en este sistema la humedad penetra en el terreno y le ablanda. Tampoco creia conveniente el dar curvatura á la solera de la caja, porque así presenta el firme ménos resistencia en esta parte que es donde mas la necesita, por pasar los carruajes con frecuencia por ella y además porque adoptando esta forma, sucederia que las piedras de la primera capa resbalarian sobre un plano inclinado por la acción de los carruajes, cuando desapareciesen las capas superiores. Esto supone un firme abandonado ó en el cual se hagan las reparaciones con grandes intervalos de tiempo, como se verificaba generalmente en aquella época, pues de lo contrario no deberia quedar jamás al descubierto la primera capa.

Cuando se empezó á construir la carretera de las Cabrillas, su director, D. José Cortines, adoptó un sistema misto, empleando en la primera capa un método análogo al indicado antes y para las capas superiores el sistema de Mac-Adam.

Sistema seguido en la carretera de las Cabrillas cuando se empezó su construcción.

En las carreteras construidas en España de unos 20 años á esta parte, se han suprimido las filas de maestras por su mucho coste y poca utilidad. Para la composición del afirmado se han seguido dos métodos, uno el de Mac-Adam y otro, que es el mas general, el de formarle de tres capas de piedra de distinto tamaño; la primera capa de unos 20 centímetros de espesor, compuesta de piedra de 7 á 8 centímetros de lado, partida en la caja; la segunda capa de 15 á 16 centímetros de espesor, y las piedras de que está formada de unos 5 á 6 centímetros de lado; y la tercera capa del mismo grueso que la segunda en el centro del firme, viniendo á terminar en 0 al borde de la caja; la piedra de estas dos últimas capas se parte generalmente fuera del firme; el tamaño de la piedra de esta última capa suele ser algo mas pequeño que el de la anterior; sobre las capas se estiende generalmente el recebo, suprimiéndole en algunas circunstancias segun sea la calidad de la piedra (1).

Sistemas adoptados mas recientemente.

Exámen de los diferentes sistemas de afirmados y reglas generales para su construcción.

Examinando las diferentes opiniones emitidas por los ingenieros sobre la construcción de los firmes llamados ordinarios (para distinguirlos de los *empedrados*), se advierte divergencia en varios puntos y no es de extrañar la haya en algunos casos por las diferentes circunstancias en que pueden encontrarse las carreteras relativamente al clima, calidad de los materiales, tránsito, etc.; pero sí lo es el que haya á veces tan notables diferencias de opinion tratándose de circunstancias casi idénti-

(1) En el lugar correspondiente se trata del recebo, analizando su objeto, calidad, etc.

cas; esto prueba que las cuestiones de que se trata son difíciles de resolver y exigen numerosas experiencias.

Procuraremos deducir las reglas que podrán seguirse para la construcción del firme, hasta que nuevas observaciones den á conocer con mayor exactitud los métodos convenientes de verificarlo.

Grueso
del firme

Para satisfacer á las condiciones convenientes, el grueso del firme no debería exceder del necesario para resistir á la circulación, pues si pasa de este límite habrá un gasto inútil de material, gasto que en algunas ocasiones es muy considerable por el precio elevado de la piedra.

La determinación de este grueso es muy difícil en razón á la variedad de circunstancias que pueden influir: así es que esta cuestión no está resuelta todavía. Según se ha visto anteriormente, Mac-Adam cree suficiente un grueso de 25 centímetros en firmes muy frecuentados, 15 en los de mediana frecuentación y solamente 11 en los de poco tránsito. Telford, por el contrario opina que deben tener 33 á 40 centímetros. El ingeniero Dupuit, por los resultados de sus observaciones, deduce ser suficiente en rigor un grueso de 9 centímetros en firmes bien construidos. Muntz supone que lo es el de 11 centímetros, cuando se construye el firme de piedra caliza y en carreteras poco frecuentadas, y de 18 en el caso de ser cuarzo. Jirard asigna 28 centímetros. Bourgoyne, director general que era en 1847 de los caminos de Irlanda, fija como límite inferior un grueso de 7 á 9 centímetros y 20 para el máximo. El ingeniero Leon adopta el grueso de 24 centímetros; Bonamy creía suficiente, estando bien construido el firme, 48 centímetros; pudiendo dejarse desgastar hasta que tuviese 9 centímetros; y Bardonamant asigna hasta 37 centímetros. La resistencia varía también con el clima, siendo en tiempo seco mayor que en el húmedo. Según Courtois, si el suelo de la caja estuviese siempre seco, podría reducirse el espesor del firme á 12 centímetros; pero debiendo resistir como un cimiento había veces que exija hasta 37 ó mas; opina que no pueden estable-

erse reglas fijas por depender además el grueso de la naturaleza del suelo, estaciones, calidad del material, sus dimensiones y modo de emplearse, etc.; la observacion, dice Courtois, es la sola que debe guiar; sin embargo de que nunca deberán adoptarse en su opinion gruesos exagerados.

El afirmado no solo sirve de cubierta al suelo natural para preservarle de la humedad, sino de cimiento ó bóveda, sobre la cual ruedan los carruajes, á cuyas presiones debe resistir.

La conservacion esmerada y constante podrá economizar espesor, y vale mas gastar en ella el exceso de piedra que habria de emplearse en la construccion; de este modo se obtendrá siempre el firme en buen estado de viabilidad al paso que sin la conservacion continúa, aunque se emplee material con exceso, se pondrá intransitable.

Aunque no debe adoptarse el límite inferior para el grueso de un firme, no siempre se tienen recursos suficientes para dar el espesor máximo que debe tener; sin embargo hemos tenido que conservar carreteras de firmes compuestas de piedras calizas con los espesores de 9 á 10 centímetros y resistian á la circulacion mas activa de carretas con cargas de 700 á 1000 kilogramos cada una.

El grueso máximo marcado para el firme en la circular de la dirección de obras públicas de 30 de Octubre de 1855 es de 50 centímetros en el centro y de 15 en los costados. En la instruccion de 24 de Abril de 1856 se rebaja hasta asignar como regla general, 25,5 centímetros en el centro y 11,7 en los costados.

Creemos oportuno el estractar parte de la memoria presentada por la comision nombrada en Francia en 1855, para informar relativamente á la conservacion de carreteras. En esta se espresa el grueso del firme que en juicio de la comision puede ser suficiente para resistir al tránsito y curiosos datos sobre el espesor de las carreteras en los diversos departamentos.

La parte que hace á nuestro propósito dice así:
En los dos ejemplos que hemos citado puede la superficie

Dictamen de la comision de Ingenieros franceses sobre la conservacion de carreteras.

del afirmado irse desgastando sin que padezca la viabilidad; pero es necesario que el desgaste sea lento y progresivo á fin de dejar á las capas inferiores el tiempo de adquirir á su vez la consistencia de los que desaparecieron; así es como se han visto afirmados desgastados hasta la última capa ó que se han sostenido con espesores estremadamente pequeños.»

«Mas para que las cosas pasen así, es menester que el firme no descansa sobre un suelo que pueda reblandecerse, impregnándose de agua, ó entumecerse en los deshielos; es menester que esté compuesto de materiales resistentes y que no haya exceso de detritus; pero como en el mayor número de circunstancias no se satisface á estas condiciones, resulta que los firmes pueden destruirse con espesores de 0,^m10 á 0,^m15 (4, 50 á 6, 45 pulgadas); y estos accidentes son siempre muy sensibles, no solo porque impiden la circulación y pueden hacer subir el precio de transporte, cuando se presentan en porciones de camino de alguna estension, sino tambien porque las separaciones necesarias dan lugar á gastos muy superiores á los que habrían sido necesarios para mantener el camino en buen estado.»

«Por otra parte la conservacion de la viabilidad supone que el presupuesto de entretenimiento está siempre calculado de manera que se restituya anualmente á los firmes lo que les hace perder la circulación, y puede suceder que á consecuencia de la creacion de una nueva industria, de la apertura de una cantera ó de una mina, de una corta extraordinaria en un bosque, aumente de pronto la circulación en tal escala, que antes que se pueda disponer de nuevos recursos, haya hecho grandes progresos la degradacion del afirmado; ¿qué sería pues si durante algunos años se viera el Gobierno obligado á separar de su presupuesto alguna parte para hacer frente á necesidades mas urgentes?»

«Entonces estos firmes se destruirian si es que se habian dejado reducir á su mínimo de espesor. Por eso al manifestar la comision que no es indispensable el espesor normal, para tener una buena viabilidad, y que se puede dejar disminuir hasta

cierto punto sin que resulte peligro inmediato, no puede menos de insistir en lo conveniente que sería no dejar disminuir más de 0,^m05 (2,15 pulgadas) que es el límite que se admite generalmente en los proyectos de grandes reparaciones, en las cuales no teniendo que estender la piedra sobre un suelo nuevo, se reduce el espesor á 0,^m15 (6,45 pulgadas) cuando se compone de una sola capa de piedra machacada, y á 0,^m10 (4,5 pulgadas) cuando debajo hay una capa de piedras gruesas. Reconoce por otra parte que en donde los firmes se sostienen con un espesor menor no son necesarios los recargos, si bien lo es en este caso vigilar más y más para que la conservación se haga con más regularidad.

Comparando los límites que acabamos de indicar con el resultado de las catas que han sido hechas en 1852, se encuentra este resultado curioso: que el espesor medio general de los afirmados existentes no se diferencian de aquellos sino en algunos milímetros. Estos datos dan para toda Francia un espesor medio de 0,^m147 (6,32 pulgadas) para los afirmados sin fundación, y un espesor de 0,^m102 (4,38 pulgadas) para las capas de piedra machacadas en los afirmados con fundación; de suerte que se puede decir que en masa, el capital de los afirmados, á pesar de las disminuciones sucesivas que han podido experimentar, está todavía en relación con las necesidades de una buena viabilidad; pero esto es buscando un término medio general. No tomando este término medio más que por departamentos, se encuentra que hay muchos firmes que han llegado á un estado de empobrecimiento muy alarmante.

En tres departamentos los firmes sin fundación no tienen respectivamente sino 0,^m071, 0,^m075 y 0,^m075 (3,05, 3,14, 3,22 pulgadas) de espesor medio. En otros dos no es sino de 0,^m08 á 0,^m09. En nueve de 0,^m09 á 0,^m10. En treinta y cinco de 0,^m10 á 0,^m15, y en treinta y siete únicamente se encuentra una media superior á 0,^m15, que varía entre esta cifra y 0,^m378.

En fin, si se entra más adelante en los detalles, y en lugar de comparar los medios por departamentos, se consultan

los resultados directos de los sondeos, se encuentran en cada camino desigualdades no menos chocantes. Así la comision tiene á la vista los sondeos de un camino cuyo afirmado presenta en ciertos puntos el doble y triple del espesor normal, mientras que en otros no tienen más que la mitad ó el tercio de ese mismo espesor.»

«Estas enormes diferencias pueden provenir en parte de los asientos del suelo; pero es menester atribuirlos en su mayor parte á la desigual distribucion de los materiales que sin cesar se han acumulado sobre ciertos puntos, mientras que se han escaseado en otros. Resulta de aquí que con el capital que todavia queda empleado en los caminos, la viabilidad no está asegurada como debia, y que cada año es preciso recurrir á los fondos de reparaciones para hacer algunas en grandes escalas, no solo en los departamentos en que el espesor medio de los firmes es inferior á 0,15, sino tambien en muchos de aquellos en que es mayor este espesor. En 1853 se han gastado en trabajos de este género 4.250,009 francos, sin comprender los 250,000 destinados á reparaciones extraordinarias, por efecto del transporte de granos; esto es, próximamente el 5 por 100 del presupuesto de la conservacion.»

«En lo sucesivo cuidarán los Ingenieros de aminorar estas desigualdades, tomando en cuenta el espesor y la consistencia de los firmes cada vez que tengan que hacer nuevos estados para acopios de materiales. Entonces verán cuales son los puntos sobre los cuales deben hacer estos acopios, y donde podrán sacar mejor partido de las economías que consigan hacer.»

«En algunos departamentos se ha entrado ya en esta senda, refiriendo gráficamente los resultados de los sondeos sobre los perfiles longitudinales, á los cuales se ha añadido una línea encarnada para indicar el espesor normal de la calzada. De esta manera aparecen mas visiblemente las partes que necesitan reforzarse y las que tienen exceso de espesor.»

«Convendrá generalizar este procedimiento que, sin remediar totalmente la insuficiencia de los espesores que existen, permitirá al menos en cierto número de casos aumentar los

afirmados demasiado delgados y mantener en ellos la viabilidad sin necesidad de recurrir á trabajos de grandes reparacion.»

«Las esplicaciones que preceden pueden resumirse así:»

«Primero: El espesor de los afirmados nuevos deben ser de 0,^m20 (8,6 pulgadas) despues del cilindrado, cuando estan formados de una sola capa de piedra machacada, y 0,^m15 (6,45) cuando se ha restablecido una fundacion, contándola por separado.»

«Segundo: Los firmes, una vez dados al público y conservados con cuidado, pueden perder una parte de su espesor sin que resulte un peligro inmediato para su viabilidad; pero es preciso que esta reduccion no pase de cierto límite, como por ejemplo 0,^m05 y que el presupuesto permita siempre restituirles cada año lo que la circulacion les hace perder.»

«Tercero: Muchos afirmados hoy dia no están en estas condiciones de espesor; y si hay algunos que, gracias á circunstancias favorables, se conservan con un espesor notablemente menor, hay otros que se deterioran, y estos reclaman necesariamente trabajos de gran reparacion. La situacion de los primeros es precaria; y si en ellos se ha de mantener la viabilidad, es necesario vigilar para que la conservacion les restituya, no solo lo que anualmente pierden, sino todavia mas. A remediar este inconveniente se llegaria tal vez con mas cuidado en la distribucion de los materiales.»

Se ha visto la importancia que han dado algunos á la colocacion de un cimientó de piedra gruesa que sirva de asiento á las demas. La igualdad de grueso de la piedra creen algunos que es esencial para obtener un firme, y otros que es desventajoso é inútil y sobre todo poco económico.

La construccion de la primera capa de piedras gruesas colocadas á mano, es sistema costoso; sin producir resultados que justifiquen el esceso de gasto. El exigir la piedra de igual tamaño, es tambien un esceso de escrupulosidad; cuyos efectos viene á destruir la circulacion misma. El objeto que se debe

Tamaño de la piedra.

tratar de obtener es la buena trabazon del material; y que la piedra de la capa superior sea de un tamaño tal que no presente desigualdades ó partes salientes, en las que chocadas las ruedas de los carruajes desarreglen el firme; esto se consigue en lo posible; poniendo la piedra mas pequeña en la capa superior; y de un tamaño de unos 3 á 4 centímetros de lado. 6

(3) La trabazon de los materiales se consigue tambien en lo posible empleando piedra machacada en todas las capas del firme. La compresion que se ejerce por la circulacion y mejor por el cilindrado; hacen que el todo forme un cuerpo sólido y resistente; y al mismo tiempo quede lo mas liso que sea posible, para que no haya desigualdades perjudiciales al tránsito y á la espedita salida de las aguas del firme. 6

El tamaño de 7 centímetros que se admite para el lado ó arista de la piedra de primera capa, 4,5 á 5,5 para la segunda capa y 3 á 4 para la tercera; concilia hasta cierto punto las condiciones exigidas; sin embargo de que hay necesidad á veces de emplear materiales tiernos y no es posible obtener con ellos un tamaño tan pequeño; sin reducirse á polvo una gran parte. Por esto debe en cada caso hacerse los experimentos ó observaciones para conseguir los mejores resultados; segun la cantidad de materiales de que se disponga y el clima en que se empleen; sin que puedan darse reglas absolutas para todas las carreteras y circunstancias diversas. 6

El modo de construir el afirmado tambien está sujeto á controversias; opinando algunos como Mac-Adam, que es el mas exagerado en este punto, el que toda la piedra debe machacarse fuera del firme; otros opinan que se debe hacer en la caja misma; ó sea á gorte abierto; ambos métodos tienen sus ventajas é inconvenientes; el primero es mas costoso y no se aprovechan tan bien los detritus de la piedra para trabar el firme; el segundo método es mas espedito; pero la piedra no queda tambien machacada. El salir mas cara la obra machacando la piedra fuera del firme; consiste en que es mas lenta esta operacion y tambien porque hay que hacer la primera

Machaqueo
ó partido en
caja ó fuera
de ella.

conduccion para dejarla en los depósitos próximos á la caja, y luego conducir la y colocarla en cestas. En general cuando la piedra sea tierna convendrá machacarla en caja, ya sea en un molino. A veces suele traerse la piedra ya machacada de la cantera, lo cual tiene la ventaja de que no se embaraza el camino por los operarios que la parten, pero no se aprovechan los detritus ni puede ejercerse la vigilancia debida para que tenga la piedra las condiciones exigidas, si se hace por contrata, dando lugar su recepcion á más cuestiones que en el primer caso. Una circunstancia que debe tenerse muy presente al construir el afirmado, es no echar la piedra en caja cuando á consecuencia de lluvias fuertes continuas está muy reblandecida la tierra, particularmente cuando se machaca la primera capa á corte abierto, pues se hunde y desperdicia mucho material; la misma observacion es aplicable en los terráplenes flojos que no han hecho buen asiento.

La calidad de la piedra que se emplee en el afirmado ejerce una gran influencia en la solidez, duracion y conservacion de este; sin embargo que tambien se ha visto hay divergencia de opiniones respecto de la influencia de esta calidad. Mac-Adam no da tanta importancia á la calidad de la piedra como á su tamaño y esmero en la construccion del firme; lo contrario sucede á Telford, el cual solo admite como conveniente la piedra dura. Potenceau prescribió la mezcla de materiales de tamaño y dureza distinta, sin viendo los más tiernos y pequeños como de mortero para llenar los huecos de los otros. Esta consideracion condujo tambien á Jirard á un sistema análogo, averiguando el volumen de los huecos relativamente al tamaño de la piedra, con el objeto de emplear los detritus necesarios para rellenar aquellos.

Muntz y otros, hacen depender principalmente el buen éxito de un firme de la calidad del material; Bérthault Ducreux no considera la calidad como circunstancia esencial, sin embargo de dar la preferencia á la piedra caliza sobre la silicea; la mezcla de los materiales duros y tiernos es en su concepto un

Calidad de la piedra, su influencia en las calidades del firme

sistema que debe producir firmes de resistencia desigual.

El ingeniero Vignon examina lo que debe entenderse por piedra dura, observando que no debe confundirse la dureza ó resistencia á la presión con la que puede oponer á los choques, y cree que no siempre aquella es esencial. En su opinion las calizas son preferibles á las piedras silíceas y dice haber obtenido los mejores resultados con firmes compuestos de piedras duras y tiernas; tampoco creé conveniente en muchas circunstancias la precaucion de colocar la última capa de la piedra mas dura.

La opinion de que las piedras duras mezcladas con las tiernas es la que produce mejores firmes, ha sido admitida por varios ingenieros y entre ellos Búhot cree conveniente mezclar las piedras calizas con las silíceas, y quedá los mejores resultados la proporcion de la mitad de volúmen de cada una.

Correzes y Manes clasifican los materiales para el firme poniendo en primer lugar las piedras silíceas, luego las feldspáticas, las anfibólicas y en último lugar las calizas.

Courtois cree que varia poco la resistencia del firme con la naturaleza y dimensiones del material; la circulacion produce rozamientos, presiones y choques, y las piedras que resistan mejor á estos efectos deben ser las mejores, sin embargo que suele suceder que la escésiva dureza produce firmes muy rígidos para la circulacion, presentando ademas esta clase de materiales el incóveniente de ser mas difíciles de enlazar ó trabar.

En general los materiales deben tener bastante dureza para resistir á las presiones que han de sufrir, á los rozamientos y á las influencias atmosféricas, y formar al mismo tiempo la union conveniente; pero estas circunstancias no se hallan reunidas en una misma clase de piedra; pues los materiales duros producen detritus que no hacen trabar el firme, resultado así movedido y por consiguiente menos resistente que si fuera una masa compacta: por esto el sistema de mezclar ó recebar los materiales duros, como el cuarzo, con otros mas tiernos, como la caliza, ha producido en general buenos resultados.

Los firmes que contienen solo la cantidad de detritus nece-

saria para rellenar los huecos, están en las circunstancias más favorables de resistencia formando un todo compacto. Por las observaciones hechas en los firmes se ha visto que á un metro cúbico de piedra corresponde próximamente 0,46 metros de detritus.

Se puede admitir en general que deben emplearse materiales tanto mas duros y resistentes, cuanto mayor sea la circulacion de cargas pesadas por una carretera, y al mismo tiempo unirlos por medio de materiales mas liernos y de pequeño tamaño, con las condiciones que se indicarán al tratar de los recebos.

Para poder proceder con acierto en la eleccion del material para el firme, teniendo presentes las condiciones espuestas anteriormente á que debe satisfacer, examinaremos las principales clases de piedra que en España suelen emplearse en el afirmado de las carreteras, dando algunas nociones sobre sus cualidades mecánicas y físicas.

Exámen
de diferentes
clases de
piedras

Las rocas calizas son muy abundantes en algunas provincias de España, y se emplean en el afirmado de la mayor parte de las carreteras de las Provincias vascongadas, en la de Santander, Asturias y Galicia.

Piedras
calizas: sus
clases: modo
de reconocerlas: sus
ventajas é inconvenientes para afirmados.

Las calizas son rocas compuestas de cal carbonatada, bien sea esta pura ó con mezclas accidentales. En el primer caso forma las llamadas calizas *sacaróideas* y compactas; cuando contiene mezclas accidentales, son las mas comunes la arcilla ó el *carbonato de magnesia* en proporciones variables, formando las calizas *magnesianas* en general, ó en proporción definida de partes iguales, formando entonces las llamadas *dolomias*. Tambien el carbonato de hierro suele ser una de las mezclas accidentales de las calizas.

Las calizas *sacaróideas* son de grano fino ó grueso, pero cristalino análogo al formado por el azúcar clarificado; se distinguen por su blancura y constituyen un hermoso mármol. Hay algunas calizas compuestas de láminas, á veces bastante numerosas para hacer creer que son *sacaróideas*, pero estas son

debidas á la presencia de fósiles reducidos á espato calizo; esta variedad recibe el nombre de *caliza espática* ó *subliminar*. Las dos clases de calizas mencionadas tienen en general bastante resistencia para ser empleadas en los afirmados de carreteras.

La variedad de caliza llamada *conchifera* por la abundancia de conchas que contiene convertidas en espato, presenta generalmente resistencia bastante para emplearse en afirmados; su color es generalmente gris claro.

Las calizas arcillosas son más ó menos á propósito para el firme segun la cantidad de arcilla que contengan; cuando esta no pasa de un 30 por 100 del peso de la caliza, puede en la mayor parte de los casos emplearse en el firme; su color es con frecuencia amarillento ó pardo claro azulado. Cuando la cantidad de arcilla es considerable, la roca se deshace fácilmente por la humedad y hace muy mal firme; produciendo mucho lodo y siendo sumamente costosa su conservación. Sus colores son generalmente oscuros en estos casos y su estructura pizarrosa muy abundante.

Las calizas *grifíticas* están penetradas en todos sentidos por filones espáticos; contienen mucha y muchos fósiles y á veces también arcilla; generalmente son de un color gris azulado, las hay también de color claro. Los filones indicados hacen que se hundan fácilmente por la acción de los carruajes.

Las calizas *oolíticas*, llamadas así por estar compuestas de granos redondos semejantes á huesos de pescado y de restos de cuerpos orgánicos, son generalmente buenas para el firme.

Las dolomías citadas anteriormente se componen de pequeños cristales de forma romboédrica agrupados entre sí dejando pequeños intervalos; á veces los granos son muy pequeños y en este caso la roca es granuda y semejante á una arenisca, pero el brillo nacarado que presenta, da á conocer su naturaleza. Su color es amarillento claro y á veces de un blanco bastante claro también. Esta roca suele desgranarse y convertirse en arena, por lo que no es á propósito para el firme.

En el mismo caso que las calizas muy arcillosas están las *carboníferas*, pues se deshacen fácilmente cuando se emplean en afirmados; sus colores son oscuros.

Las calizas *silíceas* son las que mejor satisfacen, generalmente, para producir un buen afirmado; esta clase es abundante en algunos puntos de España.

En general, todas las calizas compactas y duras son convenientes para el afirmado. Estas rocas se desgastan mas que otras clases por el rozamiento de las ruedas y accion de las caballerías y del tránsito en general; pero traban pronto sin necesidad de recebo en muchos casos y el detritus que se forma de ellas es suficiente para unir las piedras entre sí; el piso es cómodo para la circulacion y la conservacion se hace con mas facilidad. Tienen, sin embargo, el inconveniente de producir polvo con exceso en algunos casos y ser cara su conservacion en razon al excesivo desgaste que se produce.

Las calizas muy tiernas no se emplean para afirmados y en este caso se hallan las *cretas y margas calizas* formadas de cal y arcilla que son muy desmoronadizas; pero son convenientes para recebo.

Los mármoles son piedras calizas, que por su dureza y grano compacto admiten pulimento y cuyas mezclas accidentales producen generalmente las vetas y dibujos que hace destacar el pulimento. Los mármoles se confunden por algunos con los *jaspes* que pertenecen á las rocas silíceas.

Las rocas calizas son fáciles de distinguir de las demas clases, pues se dejan rayar con una punta de acero y hacen efervescencia con los ácidos. Para ver si es caliza una piedra no hay mas, por consiguiente, que verter sobre ella unas gotas de ácido nítrico (agua fuerte) ó cualquiera otro como el sulfúrico (aceite de vitriolo), etc., y ver si se produce efervescencia en cuyo caso setá caliza. Algunas veces suele ser tardío este efecto ó notarse muy poco, como sucede cuando las calizas están muy cargadas de arcilla.

Se vé por lo que antecede la variedad que puede obtenerse en la constitucion de un firme, segun sea la clase de caliza que

se emplee en su construcción y por esto es muy vago el decir que la caliza es *bueno ó mala* para este efecto.

Granitos:
clases: su
empleo en
afirmados.

Los *granitos* contienen en general tres elementos principales en su composición que son, el cuarzo, el feldspato y la mica. El primero se distingue por su dureza, la cual hace que dé chispas con el eslabon; el segundo por su color generalmente rosáceo y brillo nacarado, se deja rayar con el hierro, y la tercera por las hojas que forma mas ó menos grandes, de aspecto plateado ú oscuro pero lustroso. Esta clase de roca es conocida por el nombre de piedra *berroqueña*.

Hay muchas variedades de granitos segun domine uno ú otro de los elementos citados ó contenga otros. Las principales son el granito *gráfico* ó *pegmatita*, compuesto de feldspato y cuarzo cristalizados, dispuestos de modo que presentan el aspecto de caracteres hebreos.

El granito pizarroso ó *gneis* está compuesto de feldspato laminar y mica pizarrosa formando capas; contiene además granito, titanio, sílex, etc.

Segun sea dominante alguno de los elementos citados, así será el granito mas ó menos á propósito para el afirmado. Cuando la mica es abundante y muy *desagregada* de la masa, se hiende con facilidad por la presión de los carruajes; cuando domina el feldspato, se descompone este por las acciones atmosféricas; si el cuarzo es abundante y compacto, la roca es muy resistente. El granito tiene el inconveniente de ser una roca de composición heterogénea, formada por la agregación mecánica de los elementos indicados.

Rocas micáceas, feldspáticas, anfibólicas y cuarzosas.

Quando desaparece alguno de los elementos, que constituyen el granito propiamente dicho, se forman distintas variedades de rocas. El *protoxino* compuesto de feldspato laminar, talco y cuarzo está en el mismo caso que el granito, segun abunde uno ú otro elemento constituyente. La *micacita* está formada de cuarzo y mica en gran abundancia, lo cual hace que no sea á propósito para afirmados; esta pasa á

constituir el *gneis* cuando contiene feldspato como antes se indicó. Además suele contener granate, anfíbol ó turmalina y á veces acompaña á los minerales de estaño formando la roca llamada *greissen*.

El feldspato forma por sí rocas; se distinguen, el feldspato compacto con los nombres de *petro sílex* ó *eurita*; el feldspato ferroso ó eurita terrosa, que forma la *tierra* de porcelana ó *kaolin*; el feldspato resinoso ó resinite que presenta un lustre resinoso y una testura quebradiza, y como apéndice pueden reunirse á estas las *obsidianas* y *feldspatos vítreos*. El feldspato compacto *porfirico* se compone de una pasta feldspática y de cristales de feldspato y á veces mezclado con anfíbol, formando en este caso pórfidos verdosos ó rojizos cuando el feldspato es puro. El feldspato *compacto glanduloso* contiene núcleos redondeados ó radiados que son también de feldspato. El feldspato compacto *brechiforme*, es un pórfido de nódulos angulares, estando compuesta la roca de feldspato laminar y anfíbol laminar, etc.

Algunas de estas rocas feldspáticas pueden tener aplicación á los firmes como sucede con las compuestas de feldspato compacto y anfíbol. El feldspato se deja rayar por el cuarzo y por el acero y raya al vidrio; presenta un brillo generalmente anacarado y un color rosáceo, sin embargo que á veces es verdoso. Está compuesto de sílice ó alúmina, potasa y sosa; no hace efervescencia con los ácidos.

El anfíbol comprende generalmente tres variedades, que son el calizo ferruginoso ó *actinota*, el calizo magnesiano ó *tremolita* y el negro ó *hornablenda*. El primero presenta un color verde; contiene cal, sílice y hierro; el segundo plateado y á veces verdoso, contiene sílice, cal y magnesia; la hornablenda es de color negro y contiene alúmina y hierro.

El cuarzo puede ser puro ó contener mezclas de otras sustancias. Se distinguen diversas variedades como el *hyalino* ó cristalizado; el cuarzo *compacto*, que es débilmente trasluciente, sin brillo en la fractura; el cuarzo *lidio* ó piedra de *toque*, de fractura mate ó unida y atravesado por filones blancos; á ve-

ces es pizarroso, su color negro. Sirve esta variedad para examinar ó *tocar* las monedas y ver si se borra la señal que hacen en la piedra por un ácido, por lo cual recibe nombre el de piedra de toque.

El cuarzo *ágata* forma veteados y dibujos; el *silex* ó *pedernal* comprende todos los cuarzos que tienen un aspecto de concrecion; su fractura es conchifera, transluciente en los bordes ó su color amarillento gris.

Hay otras variedades como el cuarzo resinite y el jaspe. Se ha indicado ya al hablar de los granitos que el cuarzo da chispas con el estabon, propiedad que sirve para distinguirlo, y ademas no se deja rayar por el acero ni hace efervescencia con los ácidos.

Las rocas cuarzosas son convenientes en general para afirmados por su gran resistencia; pero es difícil que traben exigiendo por esta causa mayores cuidados de conservacion hasta conseguir este objeto; su desgaste es menor que con las piedras calizas, y por consiguiente son mas duraderos los afirmados contruidos con aquellas.

Ademas de lo indicado respecto de la mica, añadiremos que esta se distingue generalmente por su forma laminar ú hojosa, su lustre metálico y á veces transparencia; las hojas son elásticas y se deja rayar por el hierro con facilidad; no hace efervescencia con los ácidos.

Las areniscas son tambien rocas muy abundantes, están compuestas de la reunion de fragmentos ó granos de cuarzo unidos por un cemento siliceo, calizo ó arcilloso. Su dureza es muy variable, pues las hay muy resistentes y otras son deleznales. Las variedades principales de las areniscas son las siguientes:

La *arenisca roja*, de cemento margoso, teñida por el óxido rojo de hierro; contiene con frecuencia guijarros de cuarzo lido.

La *arenisca verde*, llamada así por contener gran cantidad de puntos verdes de silicato de hierro; los granos cuarzosos están unidos por cemento calizo ó margoso.

Areniscas:
sus variedades:
sus propiedades para afirmados.

La arenisca *abigarrada*, compuesta de nódulos bastante grandes de cuarzo unidos por un cemento arenoso y ferruginoso; su color comunmente es rojo y á veces verde; es bastante consistente.

Las areniscas *carboníferas*, contienen fragmentos de granito muy cargado de mica.

La *grawaka* es una roca compuesta de fragmentos de granito ó de pórfido, de cuarzo, etc., unidos por un cemento de pizarra arcillosa, de micacita ó feldspato; algunas veces los nódulos ó granos escasean mucho y la roca toma una estructura pizarrosa.

Las *brechas* son rocas compuestas de fragmentos angulares unidos por un cemento, pero cuyo grueso es bastante considerable para distinguirlos del pequeño grano de las areniscas propiamente dichas; reciben el nombre de *pudingas* cuando los fragmentos son redondeados.

Las areniscas no son en general muy convenientes para los firmes de piedra partida, porque traban difícilmente y resisten poco á las presiones, en particular cuando son muy arcillosas, en cuyo caso deben proseribirse completamente aunque sea teniendo que traerse de gran distancia la piedra, pues producen firmes que se ponen intransitables en la estación de las lluvias, no bastando para evitarlo los cuidados mas asiduos de conservacion.

Los *basaltos*, el *trapp* y los *pórfidos*, se clasifican entre las rocas *piroxénicas*; el primero es muy compacto y se distingue por su forma prismática y colores oscuros; el segundo es de un negro verdoso muy intenso; los *pórfidos* están compuestos de piroxena y feldspato cristalizados, cuyo grano es fino ó grueso.

Pórfidos
y basaltos

El anfíbol, que entra como composicion de las rocas anteriores (las que se encuentran en los terrenos volcánicos), está compuesto de sílice, cal y magnesia; á veces de oxidulo de hierro y manganeso, formando variedades de colores diferentes dominando siempre el verde mas ó menos oscuro; su dureza hace que raye el vidrio.

El trapp y el basalto son poco á propósito para afirmados, pues no traban con facilidad sus fragmentos y hacen un firme movedizo y duro. Los pórfidos no suelen tener esta propiedad tan en alto grado, sin embargo que tambien son muy difíciles de unir; además es difícil y caro partir estas piedras por la excesiva dureza que presentan: estas rocas no son frecuentes en la Península.

No nos ocuparemos de otras clases de rocas poco abundantes, ni de las que como las arcillosas y las yesosas no tienen aplicacion á los afirmados por su poca resistencia; pasaremos á examinar las influencias que pueden tener en las piedras los agentes atmosféricos y algunas de sus propiedades mecánicas y físicas.

Piedras heladizas

Cualquiera que sea la clase de piedra si es heladiza, no conviene para ser empleada en los afirmados, particularmente, en provincias del Norte. Esta circunstancia proviene de que introduciéndose el agua en los poros de la piedra, al helarse se cristaliza, aumenta de volumen y hace hendir aquella y saltar en pedazos. A veces piedras que son heladizas en la cantera, evaporada el agua de esta, despues de esplotadas no presentan ya dicha propiedad, porque se endurecen las materias que el agua contenia en disolucion.

Segun Vicat no siempre las piedras de grano fino y cerrado son menos heladizas que las porosas y permeables, pues en estas obran los esfuerzos aisladamente en cada poro y se debilita su efecto por verificarse una trasudacion que empieza á efectuarse cuando el agua tiene todavía fluidez; en las piedras compactas en que no puede efectuarse libremente esta trasudacion, se esfolian las superficies, deshaciéndose en pedazos pequeños ó en polvo.

Modo de hacer los experimentos para ver si es heladiza una piedra.

Para averiguar si una piedra es heladiza se toman fragmentos de diversos puntos de la roca, y se labran formando cubos cuyas aristas estén bien cortadas y de unos 5 centímetros de lado, se disuelve en agua sulfato de sosa hasta que se sature es-

ta, bastando para 0,7 litros un kilogramo de dicha sal, estando el agua á 12° Reamur. En seguida se hace cocer hasta hervir y sin retirarla del fuego, se sumergen los cubos, dejándoles cocer media hora, despues se retiran, para lo cual se suspenden de un hilo y se cuelgan aisladamente, poniendo debajo un vaso lleno de la disolucion referida. Cuando se cubre el cubo de agujas blancas salinas, se sumerge en el vaso para que las suelte, se saca y se procede á la misma operacion á medida que se formen, terminándose la prueba á los cinco dias, en los cuales si no hay eflorescencias salinas, la piedra no es heladiza. Se pesan las piedras despues de la prueba estando bien secas y se compara este peso con el que tenian antes.

El verificar el esperimento haciendo la saturacion de la sal en frio, es mas conveniente, porque las piedras suelen resistir al hielo y saturacion en frio, y no á la verificada en caliente: y lo mismo se verifica si se prolonga á mas de cinco dias la saturacion.

Para esperimentar si las piedras son absorbentes y en qué grado, se empieza por pesarlas y se introducen en un depósito de agua; al cabo de dos dias se sacan y se pesan, se vuelven á sumergir y se observa si continúan empapándose, en cuyo caso se dejan mas tiempo hasta que se verifique la saturacion. Segun esperimentos de Vandoyer resulta para la facultad absorbente de varios materiales lo siguiente:

Absorcion
de las piedras y permeabilidad

El mármol absorbe.	0,0032 de su volumen.
La caliza grifítica ó liais.	0,06 á 0,09
El granito.	0,0060
El yeso basto.	0,37
El yeso fino.	0,39

La propiedad de las piedras relativamente á la absorcion es diferente de la que se espresa por el nombre de permeabilidad; una piedra puede muy bien absorber el agua hasta saturarse y sin embargo no dárla paso, y al contrario no absorber ó tener

poca afinidad para el agua, y dejarla pasar á través de sus poros, como sucede con las piedras areniscas, de las que se hacen filtros.

Resistencias

Las piedras pueden ser duras y sin embargo resistir poco á las presiones. Se entiende por dureza la resistencia al rozamiento, la cual se prueba por el efecto que produce en la piedra una hoja de acero sin dientes rozando su filo en ella, y empleando agua y arena para la operacion. El tiempo tardado sirve para comparar la resistencia al rozamiento.

Segun los esperimentos de Rondelet el peso específico, la fuerza, dureza y testura mas ó menos compacta, son propiedades que parece se deducen unas de otras: así en las piedras de la misma especie las mas pesadas son en general las mas fuertes, y las que tienen el grano mas fino y la testura mas compacta, son las mas duras; las piedras mas oscuras son en general mas fuertes y pesadas que las de colores claros; las de grano homogéneo y testura uniforme, mas fuertes que las de grano mezclado.

La resistencia al rozamiento es tanto mayor, quanto el grano de la piedra es mas fino, su testura mas uniforme, su color mas oscuro, el sonido mas claro y mayor su peso; la resistencia espresada no es siempre proporcional á la resistencia, á las presiones, así es que el granito duro resiste al rozamiento unas doce veces mas que el *Liais* y no resiste á una presion tres veces mayor.

Las piedras empiezan á hendirse y saltar generalmente bajo un tercio de la carga de aplastamiento; segun algunos esperimentos y tomando el resultado entre varios verificados con el granito, el peso que le aplasta por centímetro cuadrado varía de 44 á 65 kilógramos. De otros esperimentos hechos con piedras calizas se deduce que el peso que las rompe por presion, es de 25 á 78 kilógramos por centímetro cuadrado; en las mismas la fuerza de cohesion ha resultado de 8,2 á 60 kilógramos por centímetro cuadrado; lo cual prueba las grandes variedades que hay de esta clase de rocas.

Vallés emplea coeficientes para medir la relacion de calidades de la piedra estableciendo estas desde 0 para las tierras arcillosas que no se emplean para afirmado hasta 20 para las piedras de mas resistencia.

El objeto de la convexidad que se dá á la superficie del firme la que vulgarmente se llama *bombeo*, *bombao* ú *alomado* es el de hacer que las aguas corran á las cunetas con facilidad; si fuese excesivo este bombeo, los carruajes se inclinarían demasiado á los costados, el tiro seria mas penoso, y habria esposicion á vuelcos. El caso de ser una recta horizontal la seccion de la superficie seria la mas favorable para el tiro.

Pendiente transversal del firme y modo de fijarla en la práctica.

En general puede admitirse como suficiente una flecha de $\frac{1}{30}$ del ancho total ó $ab = \frac{1}{50}cd$ (Fig. 100). En Inglaterra se adopta en general $\frac{1}{70}$ á $\frac{1}{100}$ que puede considerarse como limite.

En muchos caminos de España se adoptó $\frac{1}{50}$ á $\frac{1}{35}$ y aun $\frac{1}{25}$ de flecha para que cuando haga asiento el firme quede con la pendiente necesaria; però es demasiado.

Para dejar de esta forma el firme, se procede en la práctica fijando estaquillas en el centro de la caja y puntos intermedios que tengan la altura que debe quedar, ó por medio de cercas de madera, en las cuales está trazado el arco de círculo que se adopte. Los arregladores van estendiendo la piedra, bien sea con el azadon, ó tambien, y es mejor, con el rastrillo, hasta que adaptando la plantilla perpendicularmente al eje, resulte de su forma la parte superior del firme. En el sentido longitudinal, se fijan las alturas del firme por cuerdas que se atirantan de estaquilla á estaquilla ó por medio de regiones.

Cuando la caja tiene tambien bombeo se le da la montea del centro atirantando una cuerda desde los bordes de la caja, y tomando la altura central de la dimension que se adopte.

Se da generalmente el nombre de *recebo* al material menudito con el cual se cubre la piedra del firme, y á la operacion de estenderle se llamar *recebar*.

Recebo.

El objeto del *recebo* es llenar los huecos que dejan entre sí las piedras de la capa superior del firme, formando un cemento que las une y hace la superficie mas compacta, sólida y suave para el tránsito.

Si en la construccion del firme se emplean piedras silíceas que tardan mucho en formar detritus y trabar, es cuando mas se necesita emplear el *recebo* conveniente. Con las piedras que por su naturaleza traban pronto ó forman *clavo*, como sucede con las calizas, las cuales se desgastan fácilmente por el tránsito y sus mismos detritus forman el *recebo* conveniente, no hay necesidad de emplearle cuando se construye el firme.

El exceso de *recebo* produce polvo y lodo que perjudica á la circulacion; así solo debe emplearse el necesario para los objetos indicados antes, sin que forme mas que una pequeña costra, como se dirá al hablar del cilindrado, lo cual se designa en la práctica diciendo *recebar á tapa canto*. Cuando se emplea mucho *recebo* sucede que al formarse los baches y rodadas se introduce y mezcla con la piedra del firme y produce un exceso de cemento, que hace muy difícil y costosa la conservación.

Arena.

La arena silícea es el *recebo* que mas comunmente se emplea, pero no todas las arenas convienen igualmente para este objeto. Las de rio muy lavadas y redondeadas no traban bien y forman firmes mas movedizos. La arena de mina suele ser la mejor cuando está mezclada con cierta parte de arcilla. Analizada la arena arcillosa con la que se obtienen mejores efectos, ha resultado que contiene 16 por 100 de arcilla próximamente. Se reconoce la arena arcillosa porque apretada con la mano se apegota y forma miga. La arcilla pura forma mucho lodo, del mismo modo que la tierra vegetal.

Los detritus de calizas producen muy buen *recebo*. Los de granitos, areniscas y materiales silíceos, solo suelen producir buen resultado cuando la humedad subsiste en el firme, como sucede en las carreteras trazadas en montaña y valles de las provincias del Norte.

Los recibos bituminosos ó asfálticos ensayados por M. Cou-laine, presentan una cohesion y elasticidad que les hace muy á propósito para el objeto.

Recibos bi-
tuminosos.

Segun sea la clase de materias con el cual se construya el firme; así deberá elegirse el recesso. Cuando aquel sea muy duro convendrá emplear recibos de arena arcillosa y con las calizas arenas mas puras y duras.

Costo de mano de obra y materiales de un firme de piedra partida.

El costo del afirmado está compuesto del valor del material en disposicion de echarse en el firme, y de la mano de obra para la construccion de este.

El costo de la piedra se subdivide en el de la saca de can-tera, de su conduccion y del machaqueo ó partido.

Subdivision
del costo.

La saca se subdivide á la vez en el costo de mano de obra para la extraccion del material, el de herramientas y el de las indemnizaciones de daños y perjuicios ó propiedad de la can-tera.

A los gastos de conduccion hay que añadir los de carga de la cantera y descarga en el sitio en que ha de emplearse la piedra, y ademas los gastos de recepcion del material.

El machaqueo ó partido de la piedra, está compuesto del costo de mano de obra y del de las herramientas.

La construccion del firme se subdivide en la mano de obra para echar la piedra y el de arreglarla en la forma que debe tener.

Segun la calidad de la piedra y disposicion de la cantera, así será mayor ó menor el costo de la saca, pues podrá ser piedra que con el zapapico ó azada pueda desmontarse, ó habrá que emplear el barreno y la pólvora y entonces es mas cara la extraccion. En cada caso, cuando quieran fijarse los precios, deben hacerse experimentos.

Saca y con-
duccion.

Los materiales para el firme suelen estar á veces esparcidos por las tierras inmediatas al camino, y en este caso se conducen esportéandolos ó en carretillas. Es necesario tener presente que las direcciones que sigan los que conducen el material no se crucen, porque de este modo se alarga la distancia y por consiguiente se aumenta el gasto de transporte.

Cálculo de la distancia media.

Cuando las canteras estén en puntos aislados y pueda transitarse sin obstáculos hasta el sitio de descarga, debe seguirse la dirección mas corta posible; pero no siempre sucede esto. En general la distancia media es la que sirve para valuar el precio de transporte.

En la figura 101 se supone que c representa una cantera de la cual se han de suministrar materiales á la carretera ab y ce el camino que ha de seguirse para llegar á esta. La distancia que habrá que andar para acopiar en toda la parte ae estará compuesta de la que hay desde la cantera á la carretera que se llamará d y de la distancia media entre a y e ó

$$d + \frac{ae}{2}$$

si han de á copiarse tambien en toda la parte eb se tendrá para ella

$$d + \frac{eb}{2}$$

Si hay otra cantera f , podrá suceder que sea conveniente el llevar la piedra de ambas canteras ó solo de una de ellas; para averiguarlo se sigue el método siguiente:

Comparacion del costo de conduccion de varias canteras.

Sea p el precio del material al pie de la cantera c , p' el precio en la cantera f , p_1 el de transporte desde c hasta el punto g en que empalma el camino de la cantera f con la carretera: p'_1 el precio del transporte desde f hasta el mismo punto g :

$$\text{si } p+p_1=p'+p'_1,$$

será indiferente tomar la piedra de una ú otra cantera para verificar los acopios en la parte de carretera comprendida entre los puntos *e* y *g*:

$$\text{si } p+p_1>p'+p'_1$$

saldrá mas caro el conducir los materiales de *c* á *g* y deberá verificarse el acopio entre *e* y *g* con los materiales de la cantera *f*, y al contrario,

$$\text{si } p+p_1<p'+p'_1$$

Llamando p'_2 el precio de precio de trasporte desde la cantera *f* al punto *e* y p_2 desde *c* á *e*,

$$\text{si } p+p_2>p'+p'_2$$

no tendrá cuenta explotar la cantera *c*. Se puede calcular cual es el punto límite á que convendria conducir la piedra de cada cantera; este punto será aquel en que el costo sea igual.

Sea *u* el precio de trasporte del peso dado de piedra á la unidad de distancia y *u'* el de carga y descarga, etc. El punto límite se supone el señalado con la letra *b* en la figura 101; sea *d''* la distancia entre *e* y *g* y *x* la distancia entre *e* y *b*, el precio del trasporte de la cantera *c* hasta el punto *b* será

$$p+u(d+x)+u'$$

el de la cantera *f* al mismo punto será

$$p'+u(d'+d''-x)+u';$$

igualando ambas cantidades y sacando el valor de *x* que fija el punto límite *b* se obtiene

$$x = \frac{p' - p}{2u} + \frac{d' + d'' - d}{2}$$

En el caso de haber varias canteras se comparan dos á dos, y si se aprovechan todas se pueden determinar los limites hasta dónde debe acopiarse de cada una de ellas. Puede suceder sin embargo que, á pesar de ser mas cara la conduccion de alguna de las canteras, convenga emplear la piedra de ellas por su calidad superior á otra.

Datos
prácticos

Segun datos que hemos adquirido en las obras, para la extraccion en la cantera de 100 metros cúbicos de piedra caliza se empleaban 68 jornales, teniendo que sacarla á barreno y venia á salir á 3,5 reales metro cúbico. En los casos en que se presente la roca en disposicion de extraerla sin emplear barreno saldrá mas barato.

El caso en que la piedra esté esparcida en los terrenos inmediatos al camino será el mas favorable para la economía de extraccion, pudiendo emplearse para recogerla mugeres y chicos; con un jornal de estos puede recogerse 1,5 metros cúbicos próximamente.

Un carro con dos mulas, con la carga de 0,6 metros cúbicos de piedra, anda unas 7 leguas en 9 á 10 horas de trabajo conduciendo piedra.

Un carro con una yunta de bueyes trabajando desde el amanecer hasta el anochecer en el mes de mayo con los descansos de comidas y almuerzo, hacia tres viajes completos á una legua trasportando 690 kilogramos de peso en cada viaje; no cargaba mas por ser el terreno quebrado.

Gastos de
recepcion

Los gastos de recepcion por unidad se obtienen dividiendo el número de metros cúbicos ó de cargos recibidos por el importe de los jornales del recibidor y peones que ayuden para recibir.

Partido de la piedra; sistemas de verificarlo y datos prácticos.

El costo del machaqueo ó partido de la piedra, depende de su calidad, medios que se emplean y práctica del obrero.

La aplicación de máquinas á este objeto presenta hasta el día grandes dificultades; así es que solo se adopta el partirla por medio de almadenas cuando es de gran tamaño, y con martillos de mano sobre una piedra que sirve de yunque; para reducirla á pequeño tamaño.

Al partir la piedra salta mucha parte de ella y se desperdicia bastante cantidad; para evitarlo se ha empleado el medio de rodear el espacio en que se machaca con una alambreira cuya red forma espacios pequeños entre sí. Para evitar la pérdida de tiempo en poner cada piedra del monton en el yunque, se ha empleado tambien una tolva colocada sobre la parte superior de este, con la pendiente necesaria para dejar caer la piedra sucesivamente y sostenida por un bastidor ó tijera.

Se han hecho esperiencias sobre el modo mas conveniente de partir la piedra. Berthault Ducreux comparando los diversos medios de ejecutarlo obtuvo los resultados que vamos á esponer. Los métodos experimentados fueron los siguientes:

Primer método: por andanadas ó corte abierto; el peso de la almadena era próximamente un kilogramo. Segundo: sobre yunque y con almadena de 1,4 á 1,5 kilogramos, sirviendo de yunque una piedra grande. Tercero: el peon sentado partía la piedra con un martillo de peso de 0,9 kilogramos. Cuarto: machacando sentado y con yunque de hierro rodeado con enrejado de alambre, que no deja pasar mas que la piedra del tamaño exigido; el peso del martillo era de un kilogramo y era manejado á veces con las dos manos.

El ensayo en una caliza cuya resistencia era de cerca de 190 kilogramos por centímetro cuadrado reducida á 3,8 centímetros de lado, dió para el resultado del trabajo de un peon en un día:

	<u>Metros cúbicos.</u>
Por el primer método	1,1
Por el segundo	0,95
Por el tercero	0,74
Por el cuarto	0,67

Por el primer método se producian mas detritus; el segundo y los restantes tienen el inconveniente de arrojar la piedra hácia los lados; el tercero produce tambien fragmentos mas desiguales y casi siempre algo mas pequeños; el cuarto exige mas práctica y cuando la piedra es algo dura presenta una desventaja notoria.

En piedra silicea cuya resistencia era de 374 kilogramos por centímetro cuadrado, el resultado por jornal era:

	<u>Metros cúbicos.</u>
Por el primer método.	0,5
Por el segundo.	0,33
Por el tercero	0,5

El segundo y tercer método son muy desventajosos con esta piedra; el segundo porque siendo el esfuerzo para quebrantarla mayor; no puede sujetarse bien con el pie; el tercero porque el martillo no es bastante pesado respecto de la resistencia, y si se aumentase su peso habria que emplearle á dos manos. El partido ó machaqueo que salia con mas perfeccion era el de los métodos primero y cuarto.

Al cabo de 63 dias de esperiencias adoptó el machaqueo á corte abierto.

La cantidad de piedra machacada por un operario es muy variable: una de las condiciones principales para sacar el partido posible en esta operacion; es la costumbre de verificar el trabajo; indicaremos ahora algunos resultados que hemos obtenido.

En la escuela práctica de peones que tuvimos á nuestro cargo en la provincia de Santander, un peon en 10 horas de trabajo machacaba, término medio, 0,5 metros cúbicos de piedra caliza, dejándola del tamaño de 4,64 centímetros en su mayor dimension, pero con un 10 por 100 defectuosas; es decir, que pasada cada piedra por el anillo, de 100 piedras 90 tenían el tamaño indicado y 10 eran mayores; sin embargo

se puede considerar como un buen *picado*. Algunos operarios hacían 0,6 metros cúbicos.

Con 7 por 100 de defecto, término medio, machacaban 0,45 metros cúbicos en 10 horas de trabajo, y algún operario llegaba hasta 0,58 metros cúbicos y dejando un 5 por 100, 0,54 metros cúbicos. La operación se verificaba partiendo primero la piedra con almadena de 2,8 kilogramos de peso y mango de 0,8 metros de longitud y refinando con otras de 1,4 á 1,8 kilogramos de peso. A medida que se desgastaban las aristas de las almadenas el trabajo verificado era menor. La piedra convertida en detritus ó la *merma* era de 0,07 á 0,16 del cubo total.

El gasto de herramientas era próximamente de 12 maravedises por jornal.

En otros esperimentos que verificamos, algunos operarios acostumbrados á este trabajo machacaban 0,5 á 0,6 metros cúbicos de piedra silícea en unas 10 horas de trabajo y dejando la piedra del tamaño de 3,5 á 4,6 centímetros en su mayor dimension, usando martillos de mano de 0,9 kilogramos de peso y trabajando sentados.

Dejando la piedra silícea del tamaño de 2,4 á 3,5 centímetros en su mayor dimension, operarios no acostumbrados á este trabajo, sólo hacían término medio 0,18 metros cúbicos, teniendo la piedra antes de machacarse un tamaño próximamente de 7 centímetros; se emplearon almadenas de 2,7 kilogramos de peso y luego martillos de mano de 1,3 kilogramos.

Machacando ó partiendo la primera capa del firme en caja, verificándolo por tandas de operarios, obtuvimos los resultados de 14 á 24 metros cuadrados por jornal, en 9 á 10 horas de trabajo, dejando la piedra de 5 á 7 centímetros de grueso y teniendo la capa un espesor de 11 á 12 centímetros.

El volumen de los huecos que quedan entre la piedra machacada de 4,6 á 5,8 centímetros de lado, viene á ser 0,46 del volumen total. Después de trabar el firme disminuye á ve-

Volumen de los huecos.

ces 0,20 á 0,25 el volúmen de la piedra, circunstancia que es preciso tener en cuenta para los cálculos de la cantidad que se necesite.

Esperimentos hechos en el Distrito de Valladolid en 1856.

CLASES.	Peso del mé- tro cúbico en sólido.	Peso de un volumen de 1/8 metro cúbico sin machacar con huecos.	Peso de 1/8 metro cúbico de piedra machacada con huecos.	Parte ocupada por los huecos entre la piedra siendo 1/8 de metro cúbico la unidad.	
	Kilógramos	Kilógramos.	Kilógramos	Sin machacar.	Machacada.
Caliza grosera.	2613,84	203	187,06	0,28	0,43
Id. id.	2550,59	209,76	184,61	0,33	0,36
Caliza	2299,91	200,64	179,66	0,29	0,37

Esperimentos de Bokeller Ingeniero de Hanover relativos á los huecos que existen entre los fragmentos de diversos materiales, espresados en fraccion de un volúmen.

- 1.º Mamposteria angulosa muy irregular amontonada sin orden 0,51
- 2.º Piedras en montones, mas pequeñas pero de gruesos poco diferentes entre sí
 - a ripio de mamposterias angulosas. 0,50
 - b ripio natural de piedras unas esquinadas y otras redondeadas. 0,47
- 3.º Piedras angulosas en montones, de grueso muy desigual pero en pequeños fragmentos ó ripio solo ó fragmentos con 1/10 de ripio 0,46
- 4.º Arena cuarzosa fina y seca de grano variable. 0,43
- 5.º Arena húmeda. 0,37 á 0,40

6.º	Mamposteria irregular colocada apretada en una caja.	0,40
7.º	Piedras redondeadas, en montones de gruesos diferentes mezcladas con piedras angulosas.	0,39
8.º	Piedras redondeadas, en montones de volúmenes diferentes pero pequeños.	0,37
9.º	Mamposteria regular colocada arreglada en una caja.	0,34
10.	Arena fina y seca muy apretada.	0,33
11.	Piedras redondeadas de empedrar de grueso desigual colocada en una caja.	0,28
12.	Las mismas muy apretadas.	0,26
13.	Piedras de sillería arregladas en montones pequeños.	0,27
14.	Piedras gruesas en grandes montones irregulares.	0,46
15.	Ripio de siléx del mismo grueso apretado en una caja.	0,39 á 0,40

Los aparatos para machacar piedra ideados hasta el día no satisfacen á su objeto.

Maquina ó
aparatos pa-
ra partir
piedra.

En la esposicion de Paris de 1855 se presentó uno compuesto de un martillo de mango largo rígido y de un yunque girando el martillo sobre un eje movido por un operario. Para equilibrar el peso hay en el eje una rueda en que se arrojan dos cuerdas que van á parar en una misma direccion á los estremos de un muelle de acero colocado en la parte interior.

El yunque tenia 70 centímetros de altura y alrededor de este una caja con cuatro agujeros por los cuales entrando la piedra corria por unas tolvas despues de machacada. Para verificar esta operacion el operario coloca en el yunque con la mano izquierda la piedra y con la derecha maneja el martillo. Todo descansa en un aparato con rodillo. Esta máquina no parece poder sustituir con ventaja al trabajo de un obrero práctico.

Ni estos ni otros aparatos han tenido éxito favorable. En España se han ideado también batanes y mazos que cayendo sobre la piedra podían partirla; pero el trabajo es más molesto, más desigual el tamaño que se produce y no hay economía.

Colocacion
de la piedra
en caja: da-
tos prácti-
cos.

Cuando la piedra está acopiada en los paseos ó en el terreno de las márgenes del camino á nivel de este, puede estenderse en caja en un jornal de operario, 15 á 17 metros lineales de primera capa, teniendo el firme 6,2 metros de ancho.

Estando la piedra apilada en la misma caja para la primera capa, un peon puede estender al día 100 metros lineales con el ancho anterior del firme.

Cálculo de la
piedra que
entra por
unidad lineal
del firme.

Adoptado un espesor conveniente para el firme en vista de las circunstancias que deben tenerse presentes según se indicó anteriormente, se necesita averiguar la cantidad de piedra que entra en él, para lo cual basta el calcular la que corresponde á la unidad de longitud que se adopte y multiplicarle por el número de estas unidades que tenga la carretera.

Este cálculo es muy sencillo; se tiene la sección transversal del firme, y por consiguiente no hay más que calcular el área de esta sección y multiplicarla por la unidad lineal; esta sección está compuesta de dos figuras geométricas, cuya área se puede medir fácilmente; la una es el rectángulo ó trapecio formado por la solera, la cuerda que une los bordes de la caja y los costados de esta; la otra es el segmento de círculo formado por la cuerda que une los bordes indicados y el arco que termina la superficie del firme.

Es necesario añadir alguna cantidad de piedra á la que se calcula que entra en el firme, para que este quede con las dimensiones adoptadas, en razón á que después de construido hace asiento, en particular cuando se pasa el rodillo compresor: esta cantidad hemos visto que viene á ser á veces 0,20 á 0,25 del volumen total.

Firmes empedrados.

Los firmes empedrados se diferencian de los firmes ordinarios de piedra machacada y echada en caja, en que están compuestos de piedras de mayor tamaño colocadas á mano y con cierto orden, y generalmente labradas de la forma conveniente.

Propiedades de los firmes empedrados.

Los firmes empedrados no suelen construirse sino en los sitios de gran circulacion, como sucede en las calles de las ciudades ó traversías de los pueblos en que seria muy costosa la conservacion de los firmes ordinarios, y en que lo estrecho de las calles dificultaria la construccion por no poder disponer los desagües convenientemente.

Estos firmes son más duros y molestos para la circulacion, producen mas ruido por el paso de los carruajes y tambien suelen ser mas caros; pero ocasionan menos polvo y lodo pudiendo conservarse mas tiempo sin reparacion. En las épocas de las heladas son mas espuestos para el tránsito, por resbalar con facilidad en ellos las caballerías.

El efecto útil del tiro de las caballerías, es segun Schivig-ne, de 3 á 2 relativamente á los firmes ordinarios; segun experimentos, la relacion entre la fuerza de tiro y la presion es de $\frac{1}{30}$ en los empedrados y de $\frac{1}{20}$ á $\frac{1}{25}$ en los firmes ordinarios, y segun Navier llega hasta $\frac{1}{14}$ en los carruajes al trote. Minard valua el rozamiento para los primeros en $\frac{1}{90}$ de la carga ó $\frac{1}{5}$ del que se verifica en los firmes ordinarios, ó lo que es lo mismo, que aquellos exigen una tercera parte menos de la fuerza del tiro.

En una memoria inserta en los Anales de puentes y calzadas de 1857 el Inspector general M. Marsaines, se propone comparar los firmes empedrados con los comunes de piedra machacada, haciendo ver la preferencia que debe darse á los primeros en ciertos casos.

Comparacion de los firmes ordinarios y empedrados.

La base principal de su comparacion se apoya sobre el mejor estado de viabilidad que mas constantemente puede obte-

nerse en los firmes empedrados, su menor gasto de conservacion, y mayores cargas que por ellos pueden trasportarse.

Para lo primero pone por ejemplo un pais rural y húmedo y de circulacion muy activa, en el que seria mas dificil una viabilidad constante con los firmes comunes. Respecto á la economia compara el costo de conservacion del metro cuadrado de camino ordinario en Paris, que es de 1,50 frs., y 0,50 los empedrados. El máximum, comprendida reparacion cada 10 ó 12 años, 1,80 frs. para los empedrados á 2,50 en ciertos puntos y aun en los puentes muy frecuentados que llega hasta 650. En Londres segun los datos de Mr. Darcy, de 4,87 á 6 frs. y el de los empedrados 0,40 á 0,50. En el departamento del Norte de Francia la relacion del coste de conservacion de un kilómetro de camino afirmado comun, es al del empedrado como 2 á 1, para las carreteras imperiales; 7 á 5, para las departamentales; y 6 á 5, para los caminos vecinales de gran comunicacion.

En cuanto al peso trasportado, segun las investigaciones hechas en el departamento citado, deduce que el efecto útil en el invierno fué mayor en los firmes empedrados en $\frac{5}{5}$ del peso trasportado; y en verano mas de $\frac{1}{4}$.

Tambien ha observado por los datos recogidos y que presenta en su memoria, que en los firmes empedrados esperimantan menor fatiga las caballerías, pudiendo hacer mas tiempo servicio y ser útiles mas años que en los ordinarios. El desgaste de los carruajes es menor en los empedrados.

* Presenta algunos datos y aplicaciones de los resultados de otros autores sobre la fuerza de tiro de las caballerías.

Las conclusiones de este Ingeniero aunque muy útiles, deben sin embargo considerarse de aplicacion inmediata á casos particulares y no como general por las razones que en otra parte se han indicado.

Base y encajonado.

La base ó cimiento ó mullido del empedrado es necesario que sea resistente para que no se hundan las piedras por la presion de los carruajes y al mismo tiempo para que se distri-

buya la carga convenientemente. La arena gruesa de un milímetro próximamente, pasada por la zaranda y encajonada, satisface á estas condiciones. El hormigon tambien suele emplearse, pero es caro y hace los firmes demasiado duros ó rígidos, y solo se emplea como cimientó de los empedrados en las cunetas ó arroyos.

La arena tiene la ventaja de ser incompresible cuando está encajonada y trasmite bien las presiones lateralmente, en razón á la movilidad de los granos; con el riego, y apisonado se condensa y no se deshace. En Inglaterra se ha empleado tambien como mullido ó capa inferior de los empedrados, la piedra machacada y el mastic bituminoso; pero no compensan los resultados el exceso de costo.

Para encajonar la arena se puede abrir caja como en los firmes ordinarios, ó formar los costados con una fila de piedras de mayores dimensiones que el resto del empedrado, á las cuales se da el nombre de *maestras*.

Estas maestras tambien se colocan aunque se abra caja, y forman los estribos del embovedado del firme; deben ser formadas de piedras duras y cuyas dimensiones son próximamente de doble lado que las del empedrado, y dos y media veces de espesor ó sea la parte que se introduce, á que se da el nombre de *cola*.

A la base de arena se da un grueso de 20 á 25 centímetros y es necesario contar con que esta capa tenga 3 ó 4 centímetros mas de altura que la necesaria, en razón al asiento que hace el firme despues de construido. Se echa por capas sucesivas que se riegan y apisonan hasta que hacen el asiento suficiente, cosa indispensable para evitar los baches. Para distribuir mejor la presion, se ha ensayado el colocar debajo de la arena un emparrillado de troncos delgados ó ramas; pero este sistema tiene el inconveniente de que las aguas le pudran y resulta que hace asiento el firme. Tambien algunas veces, cuando los empedrados tienen que resistir á una gran circulacion, se ha solido colocar otro empedrado invertido como base de él.

Clases
de piedra.

Las piedras rodadas ó *cantos rodados* forman malos empedrados; así es que solo por economía pueden emplearse en algunos casos, además de no conseguir buena union con ellas, forman una superficie desigual para el tránsito.

Las piedras deben ser duras para resistir á las presiones de los carruajes; así es que bajo este punto de vista los pórfidos y otras focas muy duras serian las mejores; pero tienen el gran inconveniente de alisarse demasiado por el rozamiento de las ruedas y aun de los pies de las caballerías, y producir firmes resbaladizos. Las calizas son también bajo este punto de vista poco á propósito, y si son de poca dureza se desgastan con facilidad y se forman rodadas. Los granitos tienen el inconveniente de desgastarse desigualmente en razon á la diferente naturaleza de los materiales de que están compuestos; así es que el cuarzo resiste bien á las presiones y humedad; pero el feldspato se descompone con mas facilidad y la mica es quebradiza, por lo que se forman baches y desigualdades en el firme, como puede observarse en los empedrados de Madrid. Sin embargo los granitos en que predomine el cuarzo, serán mas convenientes. De las piedras silíceas, el pedernal produce firmes demasiado duros ó rígidos para el tránsito, es difícil de labrar, y despues de verificada esta operacion forma aristas cortantes; sin embargo, da resultados satisfactorios relativamente á la duracion del firme. Las areniscas duras son las que mejor satisfacen á las condiciones de un buen empedrado por ser suficientemente resistentes y no formar una superficie tan resbaladiza.

Hay piedras anfibólicas que dan muy buenos resultados para la construcción de empedrados. En general puede decirse que convendrá emplear piedras que sean duras, de constitucion homogénea, pero cuyo grano no sea muy cerrado para que no se alise demasiado por efecto de la circulacion.

Clases
de empedra-
dos

Se dividen los empedrados en *regulares* ó *irregulares*; los primeros están compuestos de piedras de la misma forma y di-

mensiones próximamente iguales; y los segundos de piedras mas desiguales. El empedrado llamado de *adoquines* es el más regular; está compuesto de piedras labradas por todas sus caras con mas ó menos esmero, pero generalmente á *picon* y á veces solo con el martillo cuando la piedra es de cierta calidad, como sucede con el pedernal. Cuando se labra la piedra, se deja una pequeña diferencia entre las dimensiones de la parte superior é inferior; es decir, se le da la forma de *cuña* con el objeto de que al colocarse formando la curvatura del firme, no se apoyen unas con otras por una de sus aristas solamente. Cuando las piedras son pequeñas no es tan sensible este inconveniente.

Nada háy fijo todavía respecto á las dimensiones que debén tener los adoquines; se creyó algun tiempo eran los mejores los que tienen 0,16 á 0,20 metros de lado y más recientemente se han adoptado por algunos ingenieros las dimensiones de 0,25 metros por todos lados. Al hablar de los afirmados de Londres y otros puntos se volverá á tratar de este particular.

El empedrado de piedras labradas por una ó mas caras recibe tambien el nombre de *empedrado careado*; y á veces se aplica solo esta denominacion cuando se labra la cara superior con mas esmero. De todos modos el dar demasiada longitud á los adoquines en el sentido transversal del firme, los espondría á romperse al cargar sobre ellos las ruedas de los carrúajes, y si fuesen muy anchos resbalarían las caballerías con mas facilidad por no ofrecer el suficiente asidero las juntas; así es que las primeras dimensiones indicadas para la longitud y un poco menores para el ancho, parece que no deben escederse.

Las piedras se colocan por *filas* normales ó perpendiculares al eje del camino; sin embargo de que se ha creído por algunos ser mas conveniente el colocarlas oblicuas con el objeto de que no ejerzan tanta accion las ruedas, consiguiendo de este modo mayor duracion del firme. Este sistema adoptado en muchas ciudades de Alemania está indicado en la fig. 102.

Antes de asentar el empedrado se estienden las capas de

Construc-
cion del em-
pedrado.

arena de bamiento y se apisonan; se da á la caja la misma forma que ha de tener la superficie del afirmado, y se colocan después las piedras á juntas encontradas, dejando entre ellas una separación de un centímetro próximamente. Este espacio ó hueco se rellena con el recebo de arena, y de este modo no se tropiezan las piedras por sus aristas, lo cual daría lugar á la rotura de estas. La base de arena se riega al apisonarla para que se asiente bien. Se debe emplear con preferencia la arena para el relleno indicado, pues este material tiene la movilidad necesaria para adaptarse perfectamente á la variación de forma que puedan tener las juntas por las vibraciones que produce el tránsito. La lechada de cal ó el mortero no cumple bien su objeto, en razón á que al secarse se contrae y queda separado de las piedras y los choques de estas le hacen saltar; además estando formado de sales grasas las aguas le destruyen fácilmente.

Colocadas las piedras en la posición que deben quedar como se indicó antes, se las golpea con el martillo para que asienten bien, y concluida esta operación se rellenan las juntas con la hoja de hierro, se extiende una capa de arena, se riega y se apisona con pisones de 35 á 40 kilogramos de peso, ó se pasa el cilindro.

Las herramientas usadas por los empedradores se describirán al tratar de la conservación de los afirmados.

La pendiente transversal de los firmes empedrados es menor que la de los de piedra partida, en razón á que los primeros no están espuestos en tanto grado como los segundos á las degradaciones que causan las aguas; además, si la pendiente fuese excesiva resbalarían con facilidad las caballerías, particularmente en tiempo de heladas: dicha pendiente no suele exceder de $\frac{1}{50}$ del ancho.

En los arroyos es necesario colocar los adoquines de modo que no formen una junta continua en el eje; lo mas conveniente seria empedrarlos con piedras de mayor tamaño que las del afirmado general y de una forma algo cóncava. Las juntas en esta parte deben rellenarse con cal hidráulica para evitar el

que las aguas corrientes saquen la arena y las dejen al descubierto.

Para que las aguas no perjudiquen ó entorpezcan la circulación de los peatones, en el caso de colocar los arroyos contiguos á las aceras, se suelen construir debajo de estas en la disposición que se indica en la fig. 105.

En la descripción de los afirmados de Paris y otros puntos, se darán á conocer los diversos sistemas empleados en los firmes y sus ventajas ó inconvenientes respectivos.

Del mismo modo que se indicó al tratar del costo de la saca y conduccion de la piedra en los firmes ordinarios, se procede en el cálculo del relativo al material que se emplea en los empedrados. El costo del partido de la piedra en aquellos, es actualmente el de labra ó careado, y aunque son escasos los datos que tenemos sobre la construcción de empedrados, indicaremos los que hemos podido adquirir.

Costo
de los empedrados.

En un empedrado que hemos construido de piedra arenisca dura careada por los planos de junta y cara superior y cuyas dimensiones eran de 16 á 19 centímetros de cola, 14 á 16 de ancho y 18 á 25 de longitud, conducida la piedra de 418 metros de distancia media, se invirtieron en la construcción de 1536 metros cuadrados, 1270 jornales de cantero, 551 de peon, y 292 de carros. El importe de los primeros fué de 10574 reales, el de los segundos 2755 y el de los terceros 2915; además el gasto de herramientas ascendió á 198 rs.; por consiguiente dividiendo el total de 16435 rs. por el número de metros cuadrados, se obtiene para el importe del metro superficial de empedrado 10,05 rs. La piedra que se empleaba y cuya calidad se indicó antes, estaba en el lecho de un rio en forma de cantos rodados.

Leveillé y Homberg (1) dan los datos siguientes relativos

(1) Memoria sobre la construcción y conservación de los firmes empedrados; *Annales des ponts et chaussées*, 1841.

al tiempo y mano de obra que se invierte en diversas operaciones de los firmes empedrados :

Primero; una cuadrilla compuesta de tres empedradores y tres peones desempiedran y vuelven á empedrar de 75 á 90 metros cuadrados, en un día de trabajo de 9 á 10 horas, bastando para esta superficie un apisonador. El empedrado de un metro cuadrado exige 0,01 de jornal de empedrador; en un jornal completo puede colocar 180 á 400 piezas ó piedras.

Si los adoquines que se arrancan para reparar un empedrado, se limpian y apilan en la márgen del camino, clasificándolos por magnitudes, se vienen á emplear para estas operaciones 0,04 de jornal próximamente.

Un sacador ó arrancador solo puede proveer á tres ó cuatro colocadores á lo mas, segun sea la clase de arena, pues es mucho mas difícil de arrancar la piedra cuando se ha construido el firme con arena de rio que con la de mina.

La cantidad de arena empleada en el empedrado de un metro cuadrado, viene á ser de 0,06 metros cúbicos, sin contar con la estendida en la superficie.

Un peon apisona en un día de trabajo tres capas de arena en la base del afirmado de 56 metros cuadrados de estension cada una, que forman 9 metros cúbicos.

La cantidad de agua que absorbe el cimientó ó base de arena formada de las tres capas anteriores, es de 0,04 metros cúbicos.

El afirmado en que se hicieron estas esperiencias, tenia 4,5 á 5 metros de ancho, y entraban unos 25 adoquines por metro cuadrado, cuyos lados variaban de 0,17 á 0,21 metros.

Firmes de madera.

Hace algunos años que se propusieron los afirmados de madera como una mejora importante, creyendo que podria sustituir ventajosamente en muchos casos á los otros sistemas.

Los primeros afirmados de esta clase se construyeron en San Petesburgo en 1854. Estaban compuestos de trozos exago-

nales de 15 á 20 centímetros de diámetro. Despues se ensayaron tambien en Inglaterra y Francia y mas recientemente en Madrid. La figura 104 representa el sistema indicado.

El ingeniero inglés Hawkins que dirigió algunos de estos ensayos, indica los preceptos que conviene adoptar para su construccion; que son los siguientes:

El suelo debe apisonarse bien para formar una base sólida; las maderas deben cortarse del corazon del árbol, siendo las mas convenientes las resinosas, secas y empleadas así que se corten para que no cambien de forma; la altura de los tarugos debe ser una y media veces su diámetro; la forma exagonal es la mejor por el mayor enlace que resulta.

Uno de los afirmados de esta clase que dieron mejores resultados, fué el propuesto por Hogdson en 1839; se ensayó en una calle de Lóndres cuya circulacion diaria era de 7000 carruajes con peso de 200 á 500 kilógramos cada uno, y mas de 1200 caballerías. Este enmaderado formaba un piso plano, compuesto de prismas cuyas caras laterales tenian una inclinacion de 65°, de modo que los tarugos de dos filas se cruzaban (Fig. 105). Tambien se hicieron de forma triangular (Fig. 106) y de la misma disposicion que la 95 con ranuras y lengüetas laterales.

Otro sistema se ensayó tambien, al parecer con bastante buen éxito, compuesto de tarugos romboidales de pino, unidos por cabillas de madera.

Los diversos sistemas propuestos al principio de estos ensayos se describen detalladamente en el *Bouletin de la Société d'encouragement* de la industria francesa de 1844.

Tambien se ensayó un sistema misto de empedrado compuesto de arenisca y tarugos de madera.

Los afirmados de madera tienen la ventaja de ser elásticos, cómodos para el tiro y no producir ruido; sin embargo que aunque esta circunstancia es conveniente bajo cierto punto de vista, puede ser perjudicial en los pueblos; por no sentirse los carruajes hasta que están cerca; proporcionan tambien un piso mas limpio que otros sistemas en razon á no producir polvo:

Tienen la desventaja de estar espuestos a frecuentes reparaciones por atacarlos las alternativas de sequedad y humedad; y variar de volumen por estas, particularmente en los climas de temperatura elevada. Este cambio de volumen no solo los saca de su sitio y forma desigualdades en el piso, sino que empuja y levanta las aceras como se verificaba en la calle indicada de Madrid.

En la actualidad su empleo se reduce á los portales, patios, cocheras, etc., en donde es de buena aplicacion por las ventajas enunciadas que presentan, y tambien serán convenientes en las plazas ó calles contiguas á los edificios públicos en los cuales sea necesario que haya el menor ruido posible; como sucede en la proximidad de los hospitales, universidades, etc.

Firmes de goma elástica.

En Inglaterra se han empleado para los suelos de cuadras, en el patio del palacio de Windsor y otros sitios, adoquines de goma elástica. Estos parece que son muy á propósito para la salubridad de las cuadras por impedir las exhalaciones amoniacales de la orina corrompida, y son tambien mas cómodos para echarse las caballerías, y evitan que se estropeen y rocén las rodillas al echarse.

Afirmados de hierro.

Tambien se han ensayado en Inglaterra afirmados de hierro fundido, formados de prismas ensamblados á cola de milano, y estriadas las superficies para dar el conveniente asidero á las caballerías; pero estos ensayos no llegaron á generalizarse; los pisos de hierro tienen aplicacion en las fabricas de este metal, pero entonces se emplean planchas gruesas.

Los firmes de esta clase ensayados en Francia se indican al tratar de los afirmados de esta capital.

Segun el Periódico la *Invencion* en 1857, se ensayó en Londres un adoquinado de hierro fundido, compuesto de pe-

queños cubos huecos, unidos por betun y los cuales tenían asperezas en las superficies para que pudiesen hacer pies los caballos ó presentando en la superficie una cuadrícula llena de betun con los rebordes algo salientes.

En el mismo año Galy-cazalat, y Lacombe propusieron un adoquinado ferruginoso cuyo cemento es el mineral de hierro pulverizado. Este mineral se mezcla con alquitranes de todas calidades formándose un mortero duro y tenaz muy resistente á los rozamientos, al mismo tiempo que elásticos. Consta de 52 partes de asfalto, 40 partes de mineral de hierro y 8 partes de breá mineral. Se aplica por capas cuyo espesor varía de 6 á 10 centímetros verificándolo en caliente sobre un hormigon del mismo grueso, de grava y cal hidráulica. Entre el hormigon y la capa exterior se interpone una de betun ordinario mezclado con asfalto y alquitran del gas. La totalidad de las tres capas varía de 12 á 18 centímetros segun el tránsito que haya de sufrir el firme. Todos los cuerpos que se mezclen con la cal y betun deben estar bien limpios.

Firmes cerámicos.

Los firmes llamados cerámicos propuestos por Polonceau y Brosser, estaban compuestos de prismas exagonales de arcilla cocida; no llegaron á emplearse.

Pueden considerarse en esta clasificación los firmes contruidos en algunas calles de Holanda y Venecia, compuestos de ladrillos de canto; este sistema ha solido tener aplicacion en España, en portales, patios, etc.

Firmes alfaltados.

Las aplicaciones del asfalto para la construccion de aceras y pavimentos de patios, portales, etc., se ha estendido mucho de algunos años á esta parte; sin embargo, para el afirmado de los caminos ó calles en donde transitan con frecuencia carruajes y caballerías, solo se han hecho algunos ensayos en Pa-

ris. Vamos á extraer una Memoria del ingeniero Mr. Coulai-
né, inserta en los *Anales de puentes y calzadas de Francia de*
1850, el cual estuvo encargado de ellos.

Al tratar de la comparacion de los afirmados de varias ca-
pitales, en la tercera parte de este tratado, se verá la opinion
emitada respecto de los asfaltados por el ingeniero Baudemoulin.

Los primeros ensayos de firmes bituminosos ó asfálticos, se
hicieron con adoquines de 0,^m15 de espesor compuesto de cuar-
zo y mastic de betun de hulla, colocados sobre una capa de
arena; las juntas se llenaban de mastic, pero se destruia este y
quedaba un firme malísimo; otros ensayos con hormigon bitu-
minoso tan poco dieron mejores resultados.

Los defectos principales de estos betunes eran el de ser frí-
gidos y quebradizos, siendo necesario por el contrario, para
resistir á la accion de los carruajes, que pueden conservar du-
rante los mayores frios cierta maleabilidad, que les haga ceder
sin romperse, que es lo que se ha buscado en los nuevos en-
sayos.

Composicion
y propieda-
des de las
sustancias
bituminosas.

El mastic bituminoso se compone principalmente de brea
mineral y caliza; en la mayor parte de las aplicaciones se aña-
de arena gruesa limpia de tierra, se funde á unos 100° centí-
grados; por la destilacion produce un aceite que hace á esta
materia flexible, pues privada de él resulta quebradiza. De la
diferencia de calidad entre este aceite y el que produce el al-
quitran que se destila de la hulla, parece provenir la bondad
del betun natural.

Las calizas que se mezclan con la brea mineral, deben ser
puras ó contener la menor parte posible de materias estrañas,
sobre todo el azufre que hace los maticos quebradizos. Para que
la caliza pueda unirse bien á la brea es preciso que esté reduci-
da á polvo.

Antes de cocer la roca debe reducirse á polvo, bien mecá-
nicamente ó por la accion del calor; pero hay que tener presen-
te que las calizas puras exigen un fuego prolongado para unir-
se con la brea y no es fácil que se combinen bien; es mas con-

veniente emplear las calizas bituminosas ó asfalto natural, las cuales están compuestas de cal carbonatada y brea mineral.

Las sustancias indicadas dan muy buenos resultados para enlosados comunes, mas para su empleo en los afirmados es necesario adicionar un aceite fijo, con objeto de dar al asfalto maleabilidad y flexibilidad; el aceite que empleó Coulaïne fué el de resina; se podia sustituir á este, otro aceite graso que no sea secante; pero el olor es desagradable y el precio mas elevado.

Preparacion
y empleo de
los mastics
bituminosos
en los firmes
y enlosados.

La proporción de las materias que se emplearon fué:

Asfalto Deyse.	90 (1)
Brea de Bastenes.	7,5
Aceite de resina.	2,5
Arena.	60

Se empieza por fundir la brea en la caldera y despues se echa el asfalto poco á poco; cuando este se pulveriza por la accion del calor, es conveniente verificar las dos operaciones á la vez y echar el asfalto cuando está todavía caliente, pues de este modo se economiza brea, se disminuye el gasto de fundición y la preparacion del mastic se hace con mas rapidez; cuando el asfalto está completamente desleido en la brea, se echa el aceite y arena.

Durante la operacion se remueve continuamente y se advierte que aquella va á terminar cuando las burbujas de vapor revientan en la superficie desprendiendo humo azulado; entonces debe verse si la mezcla tiene el grado de concentración conveniente, pues su flexibilidad disminuye por la evaporacion del aceite. La consistencia que toma al enfriarse no depende solo de la proporción de materias empleadas, sino tambien de la composición de la brea y asfalto y de la duración é intensidad del fuego.

(1) Podrá variar algo la proporción segun la calidad del asfalto.

El mastic no debe presentar un exceso de dureza que le haria quebradizo, ni demasiada blandura que produciria deformaciones y aumentaria el tiro de las caballerías. El medio práctico empleado para ensayar si tiene la consistencia conveniente, consiste en echar sobre una caja de hoja de lata una pequeña cantidad (un centímetro de grueso); se remueve este pedazo en agua á 25° centígrados por espacio de dos minutos, se coloca sobre el pedazo referido una pieza ó punta de acero en forma de pirámide cuadrangular cuya altura es igual al lado de la base; otra punta igual se coloca sobre un pedazo de mastic preparado de antemano, de la consistencia que se quiere obtener y á la misma temperatura; el obrero se pone de pie sobre una placa á que están sujetas estas piezas de acero, permaneciendo durante 5 segundos y produciendo un movimiento de oscilacion que haga penetrar las puntas en los dos pedazos; para que el mastic tenga un grado de coccion conveniente es preciso que las dos señales ó huellas que den iguales; segun varias esperiencias siendo el peso del obrero de 60 á 70 kilogramos la impresion debe ser de 7 á 8 milímetros para el mastic que se emplea en la construccion de carreteras.

Para las aceras deberia ser la impresion de 5 á 6 milímetros, y para las cubiertas de edificios, de 6 á 7.

Cuando la impresion es menor de 5 milímetros, el mastic, que experimenta por una baja de temperatura mas contraccion que la mayor parte de los demas cuerpos, no posee durante los frios bastante flexibilidad para que este movimiento pueda efectuarse enteramente en el sentido vertical, y se abre entonces espontáneamente.

Las indicaciones anteriores son relativas al clima de Francia; habria que modificarlas en otros cuya temperatura media fuese diferente.

Si el ancho de la impresion es inferior á la cantidad indicada, se añade aceite de resina; en el caso que fuese demasiado líquida la mezcla, se añade arena y asfalto. Cuando al contrario la impresion escede el ancho indicado, se continua calentando

hasta que el mastie se haya concentrado mas; si asi se hace demasiado pastosa la mezcla, se añade brea.

Para emplear el mastie se hace como en los enlosados comunes por fajas de unos 0,75 metros de ancho, sin viéndose de cazos con los cuales se estiende. Despues se nivela con una regla cuadrada de 0,07 metros de grueso, que para la primera faja se apoya sobre otras dos reglas y para las siguientes sobre la faja anterior y sobre una sola regla.

A medida que se nivela se va echando arena con una zarampa y se iguala y golpea para introducirla en el asfalto, y con una maza de hierro se golpea tambien en las juntas para unir las. El introducir piedras en el mastie es perjudicial.

Un firme comun de piedra machacada ya consolidada por el tránsito es el sistema de fundacion mas económico, resistente y fácil de hacer. El hormigon ensayado como cimientó, aun siendo de cal hidráulica y estar un año sin abrirse á la circulación el camino, produjo malos resultados. Consiste esta diferencia de bondad en el modo de agregacion de ambos sistemas, pues en un firme de piedra machacada la trabazon de los materiales se efectua por la compresion y cuando ya ha hecho clavo, las piedras están apretadas unas con otras como cuñas, y no contienen mas que la cantidad de detritus necesaria para llenar los intersticios.

Lo contrario sucede con el hormigon; las piedras generalmente no se tocan, están unidas por mortero que siendo de poca dureza y no teniendo flexibilidad, se destruye por el peso de los carruajes. Ademas tiene el hormigon el inconveniente de aumentar de volumen con las heladas, cuando no está perfectamente seco ó se ha desagregado por la accion de los carruajes, y la capa bituminosa levantada por el hormigon se quiebra fácilmente cuando llega el deshielo. Las partes de cal no apagadas producen tambien, al apagarse despues de aplicado el hormigon, hendeduras considerables. Lo mismo sucede en las aceras; ha producido mejor efecto colocarlas sobre una capa de piedra machacada y recebada con arena. Es tambien mas eco-

Arreglo del terreno en donde ha de echarse el asfalto.

nómico este método que sobre hormigon, y se puede aplicar inmediatamente el betun tanto en invierno como en verano.

Cuando se quiere construir un asfaltado con destino á los carruajes, se coloca una base ó forma de arena ó se establece sobre un afirmado de piedra machacada de 10 centímetros de espesor, que esté bien limpia de tierra ó detritus. Se comprime con pisones de hierro de unos 20 kilogramos. Cuando se ha nivelado bien la superficie y los materiales de esta empiezan á estar bastante unidos, se va echando arena hasta llenar bien los huecos entre las piedras. En tiempo seco hay que regar durante la operacion. Cuando ya está suficientemente consolidado el firme, se da paso para que el tránsito acabe de afirmarle, cuidando de barrer durante este tiempo para quitar las impresiones y rodadas; tambien podrá emplearse en algunos casos el cilindro compresor. No se empieza la aplicacion de la capa bituminosa sino cuando el empedrado ha adquirido toda la solidez posible.

Espe-
sor del
firme y esta-
cion mas
conveniente
para la apli-
cacion del
asfalto.

Este sistema de fundacion permite reducir convenientemente el grueso de la capa bituminosa: se ha hecho hasta de 2 centímetros. Un espesor de 3 á 4 cuando mas, aumentando de los extremos al centro, es suficiente; si fuese mayor aumentaria el gasto sin haber mas solidez y haria mas dificil la colocacion y reparacion de los tubos de agua y gas en las poblaciones, produciendo ademas deformaciones en el firme durante los calores. El bombeo no debe esceder de $\frac{1}{100}$ del ancho del firme.

Para obtener los mejores resultados debe hacerse el embe-
tunado en la primavera. Haciéndolo en tiempo frio ó en otoño, el terreno tiene siempre alguna humedad y se forman entre la fundacion y la capa bituminosa vacíos producidos por el vapor del agua, y cuando la temperatura es baja, no tiene el betun bastante flexibilidad para llenar estos huecos, resultando la ro-
tura. En la primavera y el verano es bastante flexible el betun para adaptarse al suelo por la presion de los carruajes, consoli-
dada á su vez el firme del cimientó y cuando llega el invierno no hay que temer ya deformaciones.

Dice Coullaine, que segun las diversas esperiencias verificadas puede asegurar que siguiendo los preceptos indicados se obtendrán escelentes resultados.

Varios trozos de carretera asfaltados construidos por Coullaine y algunos de ellos entregados á la circulacion hacia años han producido buenos resultados, sin haberse notado degradacion sino cuando el espesor era de 2 centímetros, y en los trozos en que la proporcion de arena era muy considerable. En algunas calles que se estableció, á pesar de su tránsito de 800 coleras diarias, se mantenía perfectamente al cabo de seis años, presentando mucha superioridad á los demas métodos de afirmado en resistencia y duracion (1).

El objeto de la conservacion es reparar las degradaciones y deformaciones parciales, y réemplazar sucesivamente el desgaste.

Conservacion y reparacion de los firmes asfaltados, procedimiento en frio.

Para las reparaciones parciales de esta clase de firmes deberia cortarse todo al rededor de la porcion degradada, y construir la de nuevo ó picar la superficie á una profundidad de unos 2 centímetros y llenar esta cavidad de nuevo mastic; para reponer el desgaste habria que echar una nueva capa, limpiando bien antes la superficie.

Estos métodos tienen el gran inconveniente de exigir para la menor reparacion aparatos complicados y obreros experimentados, y ademas no tienen el carácter distintivo de toda buena conservacion, que es el de rectificar ó disminuir los defectos de construccion, sin ser necesario rehacer completa ó parcialmente el procedimiento de conservacion en frio, parece satisfacer á las condiciones espuestas; no exigiendo calderas y pudiendo verificarlo cualquier obrero. Para ponerlo en práctica se limpia bien la parte que ha de repararse, se la cubre por medio de una brocha con una capa de betun líquido, compuesto de tres partes de aceite de resina, y una parte de alquitran natural; despues se

(1) Al tratar de los gastos de conservacion se esplica qué es lo que se entiende por collera.

estiendo con una escoba asfalto en polvo sobre esta capa hasta que esté completamente saturado, y sobre todo se echa arena con un harnero. Al cabo de algunos dias se forma con la influencia de la circulación y la afinidad natural de estas sustancias una capa de mastic de 2 á 5 milímetros de espesor resistente y unida con el betun.

Para que fragüe rápidamente es necesario que la capa de aceite sea muy delgada, á razon de un tercio de kilógramo por metro superficial próximamente. La cantidad de asfalto absorbido igualmente por metro cuadrado viene á ser entonces un kilógramo. La cantidad de arena no debe ser considerable y se debe quitar la escedente así que los carruajes han pasado sobre toda la superficie del firme. Estas operaciones no deben hacerse en la estación del invierno, sino desde mayo á octubre, porque el calor del sol es indispensable para el buen resultado.

El asfalto pulverizado en frio es mas rico en materias bituminosas que el preparado al fuego; pero cuando la superficie que haya de repararse sea demasiado ondulada, debe emplearse en vez del asfalto en polvo, en pequeños fragmentos cuyas dimensiones deben estar en relacion con el estado de degradacion del firme. Este sistema se ha experimentado y ha producido muy buenos resultados, presentando una economía de cerca de la mitad sobre la preparación del mastic en caliente.

Procedi-
miento para
la construc-
cion de los
firmes bitu-
minosos en
frio.

Para construir los firmes bituminosos en frio se procede del modo siguiente:

Se parte la piedra asfáltica en fragmentos del grueso de las piedras que se emplean generalmente para la construccion y reparacion, separando las muy pequeñas, para lo cual se pasa por un harnero cuyos agujeros tienen 2 centímetros de ancho y 5 á 6 de longitud. Preparados de este modo los materiales se riegan con aceite de Collar y se mueven mucho en el mismo harnero hasta que se pongan bien envueltos con esta sustancia, se cubre en seguida el afirmado que sirve de cimiento con una capa de este material en un espesor de 4 á 5 centímetros, y se

comprime esta capa con un pison de hierro de peso próximamente de 20 kilogramos.

Cuando los fragmentos de asfalto están bien unidos entre sí, se llenan los huecos que resultan con arena bituminosa preparada de antemano con

Asfalto en polvo.	90 kilogramos.
Arena comun.	60
Aceite de resina.	7,5
Brea ó alquitran natural.	2,5

El aceite de resina y la brea pueden reemplazarse por kilogramos de resina; hecha esta mezcla se la divide con palas de dientes en fragmentos pequeños que se revuelven en el asfalto en polvo. La arena compuesta así se extiende sobre el firme con una pala, de modo que llene los huecos que han quedado entre las piedras (el mastic graso que se introduce de este modo puede evaluarse en 9 ó 10 kilogramos por metro cuadrado); se continua apisonando hasta que esté bien unida la capa, y para que no se pegue el pison se moja en agua ó se espolvorea de asfalto; el rodillo puede emplearse tambien para esta operación.

Para obtener mas pronta y completa agregacion conviene mojar la superficie del afirmado con una capa de aceite bituminosa espolvoreándola con asfalto y arena.

Es necesario que el afirmado del cimiento sea muy resistente, pues sino uniria con dificultad la caliza asfáltica y el mastic graso se introduciria por las juntas de las piedras, comunicando cierta blandura al firme que no seria fácil remediar.

Este sistema presenta varias ventajas; es fácil de ejecutar; no se necesitan los aparatos que para la aplicacion en caliente, en los que hay que temer ademas que la coccion sea incompleta; la aplicacion puede hacerse en cualquiera estacion; presenta á la accion de las ruedas una superficie mas firme que la chapa aplicada en caliente, y por fin, evita el resbalamiento de las caballerías.

Las variaciones de temperatura tienen poca influencia en es-

te afirmado, pues de las cuatro sustancias de que se compone, la brea sola puede variar de consistencia; el aceite se conserva líquido durante los grandes frios; se obtendrá mayor fijeza cuanto sea relativamente menor la cantidad de brea.

También presenta mas comodidad este sistema para la colocacion y reparacion de los tubos de conducción de agua y gas, y Mr. Coulaine asegura en su Memoria que las esperiencias de este sistema habian producido excelentes resultados.

Otro procedimiento ensayado para aplicacion en frio, consiste en colocar en vez de una sola capa de piedra asfáltica dos capas de igual espesor; la primera compuesta de piedras silíceas cubiertas con una ganga bituminosa, y la segunda de fragmentos preparados como se ha dicho antes. Las piedras destinadas para la capa inferior deben separarse de los pedazos muy pequeños por medio de una criba de alambres, espaciados 2 centímetros, y separar también los fragmentos demasiado gruesos.

La ganga con que se embetunan estos fragmentos puede aplicarse de diversos modos; el más sencillo consiste en empaparlos en el aceite de Coltar dejándolos escurrir completamente, echándolos en una mezcla de dos partes de asfalto pulverizado y de una de arena, y revolver todo con una pala dejando algunos dias la piedra con esta preparacion hasta que se mezcle bien. Después de esto pueden emplearse ya las piedras, y se verifica la agregacion con el auxilio del pison y del mastic grasoso, como en el método anterior.

En otro ensayo verificado con el Mac-Adam bituminoso estaba compuesto de piedras silíceas impregnadas de una ganga mucho más espesa. Para aplicar esta ganga se sumerge las piedras en un caldera de mastic caliente conteniendo

Brea mineral	8 kilogramos.
Aceite de resina.	2
Asfalto.	60
Arena.	40

Al cabo de un cuarto de hora próximamente se retira la

pedra de la caldera con un cazo y se la coloca en un harnero durante algunos segundos solamente, de modo que el mastic que la envuelve quede en esceso; en seguida se echa y se revuelve en asfalto pulverizado y despues se separa con un harnero el asfalto y los fragmentos de mastic que no están unidos á la piedra; y estos fragmentos se separan á su vez del asfalto por medio de un harnero mas fino.

Uno ó dos dias antes de emplearse se echa sobre la piedra preparada como se ha dicho, *Collar* en la proporcion de $\frac{1}{100}$ de su peso próximamente, y se revuelve con un rastrillo con el objeto de que se pegue mas uniformemente á la superficie de la piedra; tambien deben cubrirse los fragmentos de mastic con uno y medio por 100 de *Collar*.

El empleo de estas piedras se efectua del modo ordinario y despues de haberlas apisonado ó cilindrado, se llenan los huecos con fragmentos del mastic descrito, despues se comprime y se entrega á la circulacion.

Quando está completamente afirmado se le espolvorea con cuidado con el auxilio de la escoba y de un fuelle, y se rellenan los huecos por medio de una pala ó espátula con arena bituminosa preparada en frio con las materias y proporciones siguientes: 60 kilógramos de arena, 90 de asfalto en polvo y 15 de brea ó alquitran líquido, con base de aceite de resina. Despues de haber barrido la arena que haya en esceso, se aplica una capa de mastic con una brochacola.

La piedra que se emplea ademas de ser dura debe presentar una superficie áspera para que adhiera el mastic; arenisca dura es conveniente para el caso. Las sustancias destinadas á la agregacion vienen á ser 46 por 100 de la piedra.

En otro ensayo verificado con la piedra asfáltica empapada en *Collar* sin adición del mastic grasó, producía por efecto del tránsito desagregacion y polvo como en los firmes comunes, lo que proviene de no ser bastante rica la piedra asfáltica en materias bituminosas.

Resbala-
miento de
las caballe-
rias.

En verano tienen la ventaja los firmes asfálticos ó bitumi-
nosos de que la superficie presente mas asidero á las caballerías
que los empedrados. Esta superioridad se mantiene hasta los
45.º Reaumur próximamente, si está seca la superficie ó si es-
tá cubierta con algo de lodo seco ó polvo.

Entre 14.º y 15.º los firmes bituminosos son casi tan resba-
ladizos como los empedrados; si está seca y limpia la superfi-
cie; en cualquiera otra circunstancia es mas resbaladizo el fir-
me asfáltico pero si el lodo permanece líquido, las caballerías
marchan fácilmente; cuando el lodo empieza á desecarse for-
mando pasta, hace la marcha difícil; puede echarse una capa
de arena durante el tiempo húmedo que se remueve diariamen-
te. Se ha ensayado hacer estrías para dar mas aspereza al fir-
me, pero el tránsito las borra pronto.

En los firmes bituminosos aplicados en frío desaparecen es-
tas dificultades; el mástic graso conserva en todas las tempera-
turas bastante flexibilidad para que puedan hacer pie las caba-
llerías. El mástic no se hielá aun cuando esté el termómetro
bajo cero. En esta clase de afirmados las herraduras de las ca-
ballerías se desgastan menos, su fatiga es menor, los carruajes
pueden ser mas ligeros y exigen menos reparaciones.

Procedimiento de aplicacion en caliente.

Costo de los
firmes asfal-
tados.

El precio á que salian estos afirmados en Paris era: el si-
guiente:

	Francs.
Mano de obra por un metro superficial y un centímetro de espesor.	0,15
Asfalto, breá, aceite, resina y arena, fundicion, etc.	2,48
TOTAL	2,61

Procedimiento de aplicación en frío con piedra asfáltica y mastic blando. Este sistema se emplea para el firme de las calzadas y para el firme de las carreteras de las ciudades y pueblos. Francs.

La piedra asfáltica, machaqueo y cribado, preparación y empleo, etc., el metro cuadrado de un centímetro de espesor. 2,65

Procedimiento de aplicación en frío con mastic blando y piedra silicea con ganga bituminosa. Este sistema se emplea para el firme de las calzadas y para el firme de las carreteras de las ciudades y pueblos. Francs.

Piedra, asfalto, breá, aceite y arena, preparación y empleo por metro cuadrado y un centímetro de espesor. 1,56

En cada caso no hay más que aplicar estos precios según el espesor que se ha explicado debe tener el firme, añadiendo el costo de fundición ó afirmado que sirve de cimiento.

Según experiencias hechas en firmes á la Mac-Adam bituminosos construidos hacia cuatro años, el desgaste viene á ser de un milímetro por 1000 colleras de frecuentacion diaria.

Empedrados unidos con betun y aplicación de este sistema.

Los adoquines que se emplean son de 0^m10 á 0^m15 por 0^m20 á 0^m30 y de 0^m15 de cola bien labrados, y para prepararlos se procede del modo siguiente:

Sobre una plataforma bien plana formada de placas de fundición se colocan de canto dos tiras de hierro de una longitud de 8 á 10 metros; su espesor de 1 á 2 centímetros y de una altura igual á la del firme; estas dos tiras tienen entre sí una distancia tal que se pueda colocar entre ellas tres líneas paralelas de adoquines, separados por juntas de 2,5 centímetros; están apoyados en otra serie de tiras transversales de la misma altu-

ra, de modo que cada una presenta en su medio una ranura de 10 centímetros de profundidad y una anchura que permite establecer una ranura correspondiente en la línea central de adoquines. Estas tiras transversales dividen así el espacio comprendido entre las dos tiras longitudinales en una serie de divisiones de 0,60 á 0,70 de longitud; todo está sujeto por tirantes de hierro que vienen á comprimir la superficie exterior de las dos bandas longitudinales.

En cada una de estas cajas se colocan las tres líneas de adoquines invertidos; es decir, colocada la superficie superior aparente sobre la placa de hierro, debe cuidarse de poner las juntas transversales encontradas de modo que se toquen en estas juntas los adoquines ó estén separados solo 1 ó 2 milímetros. Para asegurar la regularidad de las juntas longitudinales conviene disponer de antemano sobre la plataforma en su sitio, pequeños prismas huecos de 25 milímetros de base compuestos de tres hilos sostenidos de distancia en distancia por discos triangulares de chapa de hierro ó de madera. Cuando los adoquines están colocados convenientemente se introduce arena fina en sus juntas de modo que cubra enteramente estos prismas, y despues con un fuelle se quita el resto de la arena esparcida por la superficie del adoquinado.

Seria conveniente hacer el mastie como se ha explicado para los casos anteriores; pero en este podrá emplearse y saldria mas barato el compuesto de alquitran de hulla, cal viva en polvo y arena, pues está preservado del aire exterior.

En esta disposicion se echa el mastie fundido entre las juntas, macizando con ripio y enrasando la superficie con una segunda capa de mastie cuando está ya bien sentada la primera.

Los adoquines preparados para estas operaciones deben estar muy limpios y secos. Al cabo de algunas horas pueden ya sacarse los trozos de sus cajas apilándolos con precaucion para que no se deformen, y para hacer el empedrado se les coloca dejando entre sí juntas de 1,5 centímetros sobre un afirmado de unos 5 á 6 centímetros, cuya superficie se cubre con 2 centímetros de arena y se nivela con un reglon apoyado sobre otras

dos reglas; se afirman dando sobre los adoquines con un mazo y se echa el mastic entre las juntas hasta llegar á unos 5 centímetros de la superficie.

Las demas juntas se han mantenido vacías hasta la misma profundidad por medio de la arena que se ha echado cuando se preparan los adoquines; y se concluye de llenar las juntas paralelas al eje de la calle; las demas no deben estarlo sino hasta unos 5 milímetros bajo la superficie de los adoquines.

Es necesario, como se ha indicado ya, que la superficie del firme sea bien plana y que los trozos de adoquines tengan el mismo grueso.

Cuando no se necesite que el empedrado sea muy impermeable, se puede dejar de llenar completamente las juntas entre los trozos, y se introduce arena fina hasta dejar unos 5 centímetros, que se acaban de llenar con el mastic. En este sistema se necesita que tenga el empedrado un grueso de unos 15 centímetros.

El viaducto de Sanmur sobre el camino de hierro de Tours á Nantes se afirmó con enlosado; uniendo las juntas con mastic colocádo sobre una capa de arena de un centimetro de espesor; no habiéndose necesitado revestimiento de mortero en la bóveda, y despues de tres años de circulacion se conserva en perfecto estado.

Las reparaciones en este sistema son dificultosas y los firmes construidos resultan caros (12 á 15 francos metro cuadrado), por lo que en general es mejor el Mac-Adam bituminoso; sin embargo tiene buenas aplicaciones en algunos casos que vamos á indicar.

En pasos subterráneos y menos espuestos á infiltraciones se ha aplicado con ventaja en el mismo camino de hierro. El enlosado unido por el mastic puede emplearse tambien para revestir las paredes de estanques: cuando no esceda de 0^m.50 de profundidad, será suficiente este revestimiento; cuando pase de esta altura, se construirá muro de mamposteria y se revestirá con el enlosado.

Aplicacion del sistema anterior: sus ventajas é inconvenientes.

También se pueden construir los revestimientos de ladrillos unidos por mastíc y recubiertos con el mismo. También se ha aplicado este empedrado en pavimentos de cuadras. Las chapas asfálticas sobre afirmado de piedra machacada, como se describió al principio, han tenido muy buena aplicación para el piso de los puentes. El verificado en el puente de Sanmar estaba al cabo de nueve años en buen estado, sirviendo de preservativo para las filtraciones y evitando el tener que construir el revestimiento de hormón que se pone con este objeto, y que está espuesto á agrietarse con las oscilaciones, lo cual no sucede con el asfaltado.

Hay que cuidar en la construcción de asfaltados, que su union con las paredes esté preservada, pues de otro modo por ella se verificarían las filtraciones.

En los puentes de madera no es conveniente el empleo del asfalto en caliente ó chapa, pues los movimientos á que están sujetos darían lugar á que se agrietara. En las aplicaciones para el uso de peatones se evita este inconveniente haciendo independientes las maderas y enchapados, interponiendo una tela poco tupida ó una capa delgada de arena fina; pero esta precaucion no sería suficiente en un afirmado destinado al tránsito de caballerías y carruajes. Podría en este caso colocarse las viguetas muy juntas ó poner un mullido de piedra machacada, pero aumentaría la carga y coste estraordinariamente. Con el Mac-Adam bituminoso aplicado en frio, no se necesita mullido y cede con facilidad volviendo á su forma primitiva; y preservando al mismo tiempo el tablero de la humedad.

En los puentes de poco tránsito y tambien en los puentes colgados se pueden dar á brocha varias capas de mastíc, segun se esplicó para la conservacion de estos firmes; debiendo construir en este caso el tablero de encina ó pino del Norte. Se ha probado dar varias capas de mastíc á brocha sobre un firme comun, pero se destruyó fácilmente.

Dice Coulaire que á pesar de las precauciones y gastos que se hagan en el empedrado centun de las calles muy concurridas, al cabo de cierto tiempo se degradan considerablemente

hundiéndose las aristas de los adoquines, redondeándose y formando baches. Esto consiste principalmente en que los adoquines son independientes entre sí y la rodadura no ejerce sobre cada uno la misma acción, sea por su defecto de homogeneidad, sea por la diferencia de dimensiones y la posición de sus centros de gravedad y desigual compresibilidad del suelo: así, por mucho cuidado que se tenga en la elección de material, labra y colocación, no se puede producir asiento igual; las aristas de los adoquines que se hunden menos, no estando protegidos por los inmediatos, se rompen y se redondean.

Por esto la sustitución del asfalto traería muchas ventajas, pudiendo utilizarse el material de los empedrados en la construcción del mullido. El costo se ha visto que es (en París) por metro cuadrado de Mac-Adam bituminoso de 4 centímetros de espesor, de 11 francs. 27 cént. á 6 francs. 19 cént., y los adoquinados comunes cuestan de 9 á 10 francs y los perfeccionados 15 á 16 francs.; además los firmes asfaltados presentan la ventaja de mayor duración: no necesitan para sus reparaciones entorpecer el tránsito; se conservan muy lisos sin ser resbaladizos y son mucho más suaves que los mejores afirmados comunes; no producen apenas ruido, lo que es ventajoso para el vecindario y la conservación de los edificios; preservan el suelo de humedad y se desgastan lentamente, no produciendo lodo ni polvo.

Además parece prestarse perfectamente esta clase de firmes para la aplicación de locomotoras á los caminos comunes.

SISTEMA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS A LAS OBRAS QUE SE CONSTRUYEN EN LAS CARRETERAS PARA EL PASO DE LOS RIOS, ARROYOS, ETC., EDIFICIOS Y DEMAS ACCESORIOS DE ELLAS.

Diferentes clases de obras que se construyen.

Hemos dado á conocer el modo de construir las diferentes obras que constituyen las esplanaciones y el afirmado de las carreteras; pero además hay otras indispensables para el paso de los rios ó arroyos, y en general para salvar depresiones del terreno, bien sea que por ellas corran las aguas ó para sustituir en algunos casos á los grandes terraplenes. Estas obras son los puentes, pontones, alcantarillas, tajeas y badenes y los viaductos.

Los edificios necesarios para el servicio de las carreteras son las casas de portazgo ó pontazgo para percibir los impuestos del tránsito, y las casillas de peones camineros. Para señalar las distancias se construyen las leguarias; para indicar la dirección de dos carreteras que se desvian desde un punto, se colocan los llamados *postes ó pilas indicadoras*.

En los sitios muy espuestos á fuertes nevadas, como sucede en los puertos ó paramos, se levantan postes ó pilares, que sirven de guia al viajero durante la permanencia de aquellas en el camino.

En las obras que se construyen como accesorias de una carretera se incluyen los guarda-ruedas que se colocan en los terraplenes ó inmediaciones de las avenidas de un puente, en el primer caso con el objeto de que no se aproximen á la orilla los carruajes ó caballerías evitando así desgracias. Los malecones que se sustituyen, cuando es posible, á los guarda-ruedas en los terraplenes ó laderas, tienen el mismo objeto, y la ventaja de ser mas baratos, aunque ocupan mayor espacio. Los preti-

les, tanto cuando se construyen en los puentes como en los costados del camino en países de montaña, tienen también el objeto indicado.

Hay obras que pueden llamarse de ornato y comodidad, como son los arbolados que se plantan en las márgenes de un camino, y las fuentes y abrevaderos. Estas se construyen también con el objeto de aprovechar los manantiales que se encuentran al ejecutar las carreteras, proporcionando de este modo un beneficio á los pasajeros.

Para proyectar y construir los puentes, pontones, etc., se necesitan conocimientos especiales de mecánica y de construcción, que no son del objeto de este tratado; así es que solo haremos algunas ligeras observaciones relativas á la eleccion de la clase ó sistema mas conveniente y á los materiales de que se forman, y asimismo sobre la construcción de los edificios que se han espresado anteriormente, indicando algunas circunstancias que deben tenerse presentes relativamente á los demas objetos accesorios.

Los puentes, pontones, etc., y los edificios y demas que se construyen en las carreteras, se distinguen generalmente con el nombre de obras de *fábrica* y á veces obras de *arte*; pero ninguno de estos nombres satisface completamente á la idea del conjunto de estas obras.

La eleccion del material de que ha de construirse un puente, ponton, etc., es una de las circunstancias principales de que depende la solidez y economía de la obra; así es que ha de estar fundada dicha eleccion en la magnitud de la obra, su objeto, clima, y proporcion de adquirir los materiales, bien sean procedentes de fabricacion ó naturales, á precios mas ó menos bajos.

En general serán mas sólidas y convenientes las obras de piedra que las de metales ó maderas; y entre las primeras las que se compongan de piedras de gran tamaño (sin exceder ciertos límites), que las de pequeños materiales; y también las obras de ladrillo serán preferibles en algunos casos á falta de piedra.

Puentes, pontones, etc.: eleccion de materiales y sistemas.

El construir las obras de sillería cuando hay excesivo aumento de precio, es un *lujo* de que no debe abusarse, porque en las obras públicas deben tenerse muy presentes los preceptos de *sencillez y economía*, siempre que sean conciliables con la *solidez necesaria*; así es que se combinan con este objeto la sillería y mampostería, colocando la primera en los puntos que exigen mayor resistencia y de este modo se concilian aquellos preceptos.

A veces será necesario emplear maderas ó metales para la construcción de puentes á pesar de tener á menos precio las mamposterías, lo cual sucederá cuando haya que salvar grandes espacios y no sea posible ó sea dificultoso el verificarlo con los arcos de sillería ó mampostería, por la gran luz que exijan ó por la dificultad de verificar las fundaciones de las pilas.

Debe también evitarse el construir estas obras decoradas con molduras ú adornos complicados, pues solo es aceptable la decoración que produce la buena combinación de los materiales y las fajas ó impostas sencillas.

En cuanto á la forma de los arcos debe adoptarse aquella que sea mas á propósito para la solidez de la obra sin dejarse llevar del deseo de verificar obras atrevidas é innecesarias: así es que cuando sea posible convendrá mejor emplear el arco de medio punto que el rebajado.

El empleo de algunos sistemas de puentes de madera es arriesgado, pues generalmente en España no puede disponerse de maderas bien curadas. En este caso están los sistemas de arcos compuestos de piezas de madera sobrepuestas unas á otras como en el de Emý, en el cual los muchos puntos de contacto ó juntas que hay entre las maderas hace que se interponga la humedad entre ellas y las destruya fácilmente, como se ha verificado en algunos casos á pesar de estar construidas las obras con esmero. Los puentes del sistema americano de enrejado ó celosía también han tenido malos resultados en España.

Los diversos sistemas de puentes metálicos colgados ó fijos, pueden tener buena aplicación en muchos casos, cuando hayan de construirse grandes tramos ó las márgenes de los ríos sean

muy bajas; pero debe meditar-se bien su empleo. Los puentes tubulares de vigas huecas de palastro, han empezado á recibir bastantes aplicaciones en España para los caminos de hierro, y empiezan á adoptarse en algun caso para las carreteras, por su fácil colocacion. La circunstancia de ser necesario encargar su ejecucion en Inglaterra, puede hacer que sea costoso este sistema en algunos puntos. Los puentes formados de cuchillos de hierro fundido pueden en algunas ocasiones tener ventajoso empleo, pero en general, siendo necesario fabricarlos lejos del punto en donde han de ser construidos, se dificulta y complica mucho su ejecucion.

Quando haya de elejirse entre los diversos sistemas de puentes metálicos, será útil consultar una Memoria del ingeniero Molinos sobre la comparacion de estos, cuya traduccion se inserta en la *Revista de obras públicas*, números 5.º y 6.º del presente año.

Los *badenes* que suelen construirse en las carreteras para que pasen las aguas por una parte baja, como sucede en el encuentro de una pendiente y una contrapendiente, son obras que deben evitarse siempre que puedan sustituirse por alcantarillas ó tajeas, pues son molestos para la circulacion y nunca es conveniente que atraviesen las aguas por encima del camino.

Badenes.

La situacion de una casa-portazgo se fija segun el número de leguas por las que determine la administracion deben cobrarse los impuestos, pero ademas su eleccion depende de los puntos á que vengán á empalmar caminos de uno ó varios pueblos, y por los cuales pudiera haber *estravio* ó evadir el pago los pasajeros; sin embargo algunas veces no pueden situarse en estos puntos por otras consideraciones y se establece en ellos un ordenanza.

Casas de portazgo ó pontazgo.

El sitio en que se construya la casa debe elejirse de modo que satisfaga á las condiciones de salubridad, y ademas que se halle situada en la márgen del camino y á nivel del mismo, pues sería muy molesto el tener que subir ó bajar continuamente pa-

ra percibir los derechos. Los puntos elevados de las carreteras son los que generalmente satisfacen mejor para la situacion de un portazgo, siempre que sea conciliable con las demas circunstancias. En cuanto á los pontazgos está dada su situacion por los puntos de las márgenes en donde termina el puente. Las casas destinadas para portazgos ó pontazgos deben construirse sin lujo arquitectónico, debiendo reducirse la decoracion exterior á la que resulta de la buena proporcion entre los macizos y vanos del edificio y la combinacion de los materiales en las fachadas; sin embargo el empleo de las fajas ó resaltos podrá ser de buena aplicacion cuando se construyan estos edificios en la proximidad de un pueblo de importancia, y se quiera por esta causa decorarlos con mayor esmero; pero ni aun en este caso sera conveniente emplear órdenes de arquitectura. El ladrillo ó mampostería son los materiales que comunmente se emplean para la construccion de estos edificios; la sillería solo debe emplearse cuando sea muy barata, ó en los zócalos ó puntos de mayor resistencia, como en los ángulos, etc.; y en este caso de su combinacion con las mamposterías puede resultar una buena decoracion. En general estas obras deben satisfacer á los preceptos de *solidéz y economía*, con mas razón en España en que tan escasos son los recursos para atender á las obras públicas, y seria chocante el gastar inútilmente en la decoracion de estos edificios. Hay ocasiones sin embargo en que se escede de los límites de una economía prudente por la escasez de fondos, construyéndolos de materiales poco sólidos y de mezquinas proporciones.

La distribucion del edificio y sus dimensiones deben ser suficientes para que puedan habitar con la separacion necesaria todos los empleados; pero sin esceder de las verdaderas necesidades á que ha de satisfacer, pues el cubo de materiales crece mucho cuando se aumenta el área de la planta: un área de unos 100 metros cuadrados podrá ser suficiente para distribuir en ella las habitaciones de administrador, interventor, mozo de barrera y ordenanza, en una planta baja que es de la que solo constan estos edificios. Una parte accesoria de estas casas es el cobertizo ó soportal que suele destinarse para percibir los de-

rechos. En algunos casos se han empleado columnas ó pilas-tras de sillería con un orden de arquitectura, lo cual es un gas-to inútil; los pilares de ladrillo ó postes de madera son suficien-tes. En puntos donde pueda obtenerse la fundición á bajo pre-cio, podrán emplearse apoyos huecos de hierro, ó bien podrán *colgarse* estos cobertizos con tirantes, que es un medio eco-nómico; ó sostenerse con palomillas de hierro ó madera, pues no se necesita que tengan demasiado vuelo.

Las casillas destinadas para habitación de los peones cami-neros deben estar situadas en los centros ó distancias medias de las leguas que tengan á su cargo, ó al menos en la parte mas próxima posible de ellos. Es conveniente colocarlas en los pun-tos de divisoria, tanto para la salubridad, como para que des-de ellas pueda descubrirse mayor distancia de la carretera; cuando hay desmontes, pueden situarse en el terreno elevado de los costados de este; pero cuando su situación corresponda en un sitio en donde haya terraplen, habrá que variar su posición buscando el punto mas próximo en el terreno llano ó en el des-monte.

Casillas
de peones
camneros

Estos edificios deben satisfacer igualmente á los preceptos de la economía que se han indicado relativamente á las casas de portazgo y pontazgo. En cuanto á su estension bastará un área media de 20 metros cuadrados, cuando esté destinada pa-ria un peon.

Tambien son necesarios algunas veces en las carreteras al-macenes destinados á depositar las herramientas ó efectos per-tenecientes á las obras; pero en éstos casos suelen alquilarse locales en los pueblos para este efecto, ó destinarse alguna ha-bitación para el mismo en las casas de portazgos ó de los peo-nes camneros.

Almacenes.

Las leguarias pueden tener formas muy variadas pero en general deben ser sencillas; su forma suele hacerse con arreglo á modelos especiales aprobados por la Direccion general de

Leguarias
y señales ki-
lométricas.

obras públicas. Los materiales de que suelen construirse son la sillería, mampostería ordinaria ó el hierro hueco, pues el ladrillo y la madera tienen mala aplicación en estas obras aisladas y de pequeñas dimensiones. La forma prismática rectangular con zócalo ó base y una faja y sombrerete, es una forma conveniente para cuando se emplea sillería; también se hacen piramidales de cuatro caras, ó poligonales sobre un zócalo, las que hacen buen efecto cuando se dan las proporciones convenientes; esta forma es la que se adopta generalmente cuando se construyen de fundición, en cuyo caso se pintan al óleo de color blanco, tanto para preservarias de la humedad, como para que destaquen de los demás objetos. Suele darse á las leguarias una altura de medio metro en el zócalo y al resto 2 metros. La numeración de la legua debe estar en dos costados para que se vea en las dos direcciones.

Pilastras indicadoras.

Las señales ó *marcas kilométricas* son mas pequeñas que las leguarias, y pueden reducirse como en Inglaterra y Francia á un prisma rectangular ó triangular de un metro de altura. En las intersecciones de dos carreteras se colocan las pilastras que indican el punto principal adonde se dirigen. Puede ser su forma análoga á la de las leguarias, solo que en este caso suelen hacerse de mayores dimensiones. El nombre de la capital ó punto indicado se escribe en el costado correspondiente.

Guías.

Los postes ó *guías* para los sitios espuestos á grandes nevadas deben hacerse sólidos, pero de muy poco costo; basta colocar pilares toscos de sillería en los puntos en que esta abunde, prismas de mampostería, postes de madera ó troncos de árboles descortezados. Su altura debe esceder bastante de la mayor á que comunmente lleguen las nieves, para poderlos ver desde grandes distancias, y en los puntos en que la carretera tenga muchas inflexiones, como sucede en las montañas, deben ponerse en todos los vértices ó puntos de cambio de dirección.

La colocacion de guarda-ruedas, debe ceñirse á los puntos puramente indispensables como no sea en países abundantes de piedra; del empleo de estos se ha abusado en la ejecucion de las carreteras construidas antiguamente en España, invirtiendo sumas de consideracion, tanto por el gran número empleado, como por su labra esmerada, cosa inútil en esta clase de objetos. En los terraplenes elevados pueden sustituirse á los guarda-ruedas los malecones construidos de tierra, y cubiertos de tepes para conseguir su mayor duracion.

Guarda-ruedas, malecones y pretilles.

En los caminos abieitos en ladera suele ser indispensable, para la seguridad de los pasajeros, el construir obras de defensa en las márgenes del lado de la caída; en este caso no tienen buena aplicacion los malecones por el mucho espacio que ocupan y suelen colocarse guarda-ruedas toscamente labrados, separados de 2 en 2 metros ó á mayores distancias; tambien suelen construirse pretilles cuando la mamposteria es abundante y en este caso para que sea mas económica su construccion se hacen interrumpidos por trozos de 2 metros de longitud próximamente, separados por un intervalo de la misma distancia u otra segun convenga; á veces en estos intervalos suelen colocarse guarda-ruedas.

La plantacion de los árboles en las carreteras, tiene el objeto no solo de embellecerlas y formar alamedas y paseos en la proximidad de las poblaciones, sino tambien el de preservar de la accion del sol á los viajeros y guiarlos de noche ó en tiempo de nevadas en el camino que deben seguir; tambien preservan el firme de la accion del sol, lo cual es conveniente en los climas cálidos.

Arbolados.

Pueden tener el inconveniente de conservar demasiada humedad en el firme en los sitios espuestos á frecuentes lluvias ó que estén poco ventilados, como sucede en las carreteras construidas en los valles ó sitios bajos del terreno. La objecion hecha por algunos á la plantacion de árboles en las carreteras, por creerlos perjudiciales para la seguridad de los viajeros, en razon á poderse esconder detras de ellos malhe-

chores, es poco fundada, y no debe retraer para su plantacion

Los árboles pueden colocarse en las carreteras en la solera de las cunetas, ó en el borde superior de estas, bien sea hácia la parte interior ó á la exterior del firme; tambien suelen ponerse en la parte exterior del paseo ó de ambos lados. En el primer caso tienen la ventaja de poderse regar mejor, pero interceptan el paso de las aguas; cuando se ponen en el borde de las cunetas puede conseguirse el riego conveniente sin la exposicion indicada y en este caso es mejor el colocarlos en la parte situada hácia el exterior, porque en el interior interrumpen la caída de las aguas del firme á las cunetas. En los terraplenes se colocan en el borde para que fortifique esta parte sus raices, y sirven al mismo tiempo para la seguridad del tránsito.

La distancia que debe quedar entre los árboles, depende de la clase de estos y crecimiento de sus ramas; se colocan generalmente al *tresbolillo*; es decir, que los de un lado del camino correspondan á los puntos medios de los espacios en el lado opuesto. La clase de árbol que se elija, debe ser aquella que dé un pronto crecimiento; proporcione sombra conveniente y adquiera suficiente altura para que sus ramas no tropiecen en los carruajes mas elevados y proyecten la sombra á mayor distancia; así es que en general se plantan álamos, chopos ú otros análogos.

No nos detendremos en explicar el conocimiento de las calidades de los árboles y de los modos convenientes de plantarlos, tanto en las carreteras como en los viveros ó criaderos; refiriéndonos á los artículos publicados sobre este objeto en la *Revista de obras públicas* de 1853 y 1854, en los cuales se explican las diferentes circunstancias que deben tenerse presentes, arregladas á nuestros climas; tambien puede consultarse los *Anales de puentes y calzadas de Francia* de 1851, en que se insertan las instrucciones y pliegos de condiciones para las plantaciones en las carreteras; del mismo modo podrá ser útil el tratado sobre plantaciones en carreteras publicado en Francia por Mr. Breuil en 1850.

ESTACIONES OPORTUNAS PARA EJECUTAR LAS DIVERSAS OPERACIONES
EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

Quando hayan de emprenderse obras de construcción de carreteras, es el invierno la peor época de verificarlo, particularmente en las provincias situadas al Norte. En esta época del año los días son muy cortos y aunque puedan obtenerse jornales mas baratos y encontrarse los carros y acémilas mas fácilmente, no compensa sin embargo generalmente esta circunstancia la menor cantidad de trabajo que puede hacerse, pues

Invierno.

viené á ser término medio $\frac{7}{10}$ del que se efectua en el verano: así es que solo por medida de gobierno podrá ser aceptable el verificar las esplanaciones de carreteras en esta época.

Pero no es solo la circunstancia indicada la que contribuye al aumento de coste, lo produce tambien la dificultad que hay de verificar los desmontes en las épocas de lluvias continuadas ó hielos. En el primer caso las tierras se reblandecen con exceso, se forman depósitos de agua en las escavaciones, es mas difícil de extraer el lodo y no es posible dejar bien concluidas ó reparadas las esplanaciones. Quando las heladas son continuadas, particularmente si ha llovido antes, las tierras se endurecen de tal modo que algunas veces aquellas que antes exigian solo el empleo de la azada para desmontarlas exigen despues el del zapapico. Si los desmontes son en roca, la humedad entorpece ó impide igualmente las operaciones.

En las provincias del Mediodía se modifican algunas de las condiciones que se han indicado en segundo lugar; pero subsisten parte de las demas.

El invierno es la estacion mejor para el asiento de terraplenes.

Para las obras del firme cuando se construye de piedra machacada se ha visto al tratar de ellos lo conveniente que es el que la caja esté seca cuando se echa la piedra; pues de lo contrario se desperdicia material por hundirse esta, etc.; así es

que tampoco convendrá construirle en este tiempo; pero si que lo esté ya, pues puede convenir en países secos aprovechar las aguas primeras del invierno para consolidar el firme por medio del cilindro. Los firmes empedrados tampoco deben construirse en esta época, como se ha visto, de suerte que casi subsisten para estas obras que para las de esplanaciones, las mismas razones de pérdida de tiempo y dificultad de construcción.

Las obras de fábrica, con mayor motivo que las anteriores, no deben emprenderse ó continuarse en este tiempo, particularmente las de alguna entidad como los puentes; las fundaciones son difíciles y arriesgadas, si es que no hay imposibilidad completa de verificarlas en rios de alguna consideracion; los morteros están espuestos á descomponerse por las aguas; hay que suspender los trabajos con frecuencia y es molesto el verificarlos. Aun cuando las fundaciones sean en seco, se embalsan las aguas en ellas y reblandecen el terreno: en una palabra, es el invierno la época peor del año para esta clase de obras.

Primavera

En la primavera suelen empezarse ó continuarse las obras de esplanaciones, en particular en las provincias del Mediodía, porque los días son mas largos, no hay tanta espesición á las heladas, y pueden obtenerse trabajadores con facilidad; sin embargo, en algunas provincias, particularmente en todas las comprendidas en la costa Cantábrica, la primavera es mala época de verificar obras, en razon á lo continuo de las lluvias, y hay que dejarlas para épocas mas avanzadas del año; así es que en estas provincias las campañas ó épocas de construcción de las obras son mas cortas que en otras y debe contarse con esta circunstancia al calcular la duración de aquellas. La construcción del afirmado no puede por consiguiente hacerse, puesto que se supone que no se han verificado las esplanaciones; sin embargo, es buena época generalmente de pasar el cilindro, si el afirmado estaba ya construido desde la campaña anterior.

Esta época es la que mas dificultades suele ofrecer para las fundaciones de las obras de fábrica en los rios; los derretimien-

tos de las nieves causan grandes crecidas, y no solo dificultan ó iniposibilitan la construccion, sino que causan á veces grandes pérdidas de material. No deben por consiguiente emprenderse obras de esta clase en primavera, y cuando lo estén ya es preciso tener todas las precauciones imaginables para ponerlas en disposición de resistir á las crecidas, retirar el material de las márgenes á sitios seguros, y estar á la vista para tratar de evitar los daños que podria causar el acarreo de troncos ú otros objetos por el río.

Antes de concluir la primavera suele, sin embargo, emprenderse ya las obras, pues en algunas provincias el mes de mayo es á propósito para verificarlo, y en general se acopian y preparan los materiales para las obras de fábrica y del firme.

El verano es la estación de las obras; en ella se abren las campañas y se continúan los trabajos emprendidos, sino se ha verificado ya en la estación anterior; los dias son largos y no hay interrupciones de trabajo, como no sean momentáneas ó poco apreciables en los casos de tempestades.

Verano

Es la época que en las provincias del Norte particularmente debe aprovecharse para adelantar en las obras, tanto de tierra como en las de fábrica y aun para echar las capas del firme aunque sin concluirle, pues no es el tiempo conveniente de recibir y cilindrar. Los rios tienen sus aguas bajas y las fundaciones se adelantan mucho en esta época. En las provincias del Mediodia, suelen ser demasiado calurosos los dias y ser espuesto para la salud de los operarios el excesivo calor; ademas la tierra en este caso suele estar mas dura y difícil de escabar en los desmontes, y mas aterronada para los terraplenes, lo cual dificulta la construccion; así es que en los climas de grandes calores suele aprovecharse mas parte de la primavera y el otoño para las obras. Los materiales para el firme se acopian tambien y se preparan para emplearlos en tiempo oportuno.

El otoño es una estación muy conveniente en general en todas las provincias de España para hacer obras de tierra, por-

Otoño.

que tienen estas mejor disposición para escavarse, y cierta humedad conveniente para emplearlas en los terraplenes. Para las obras del afirmado sobre todo, esta época es mas conveniente, porque las lluvias moderadas hacen que pueda emplearse bien el recebo, verificar el cilindrado, y quedar bien preparado para la circulacion. Las obras de fundaciones pueden adelantar generalmente en dicha estación, porque las aguas tienen su altura minima; la temperatura es á propósito tambien para no fatigar á los trabajadores como en los dias de estío.

En general puede reasumirse lo que antecede diciendo:

Invierno: Inconveniente para la ejecucion de obras de toda clase.—**Primavera:** regular para las de tierra y firme, acopios y preparacion de materiales, mala para las de fundaciones en el agua, y aun fuera de ella y en general para las obras de fábrica.—**Verano** bueno en general para las obras de tierra y fábrica, para acopios de material y preparacion de este y aun para echar las capas del firme, aunque no para concluirle.—**Otoño** bueno para toda clase de obra.

de las obras de conservación de una carretera, que se ejecutan para mantener su piso ó superficie en estado de viabilidad conveniente, y no dejar deteriorar las obras que se construyen en ella.

TERCERA PARTE.

CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

PRIMERA SECCION.

Consideraciones generales.

Se designa con el nombre de *conservacion* de una carretera las diferentes operaciones que se ejecutan para mantener su piso ó superficie en estado de viabilidad conveniente, y no dejar deteriorar las obras que se construyen en ella.

Qué se entiende por conservacion: partes de que consta ó sus divisiones.

Para satisfacer á estas condiciones hay que conservar el firme y las obras de tierra, que contribuyen tambien en gran parte á sostener la viabilidad indicada. Los puentes, pontones, etc., es necesario que se conserven transitables y que no haya esposicion á que se destruya alguna parte, por cuya causa se interrumpiese la circulacion ó se comprometiese la seguridad de los viajeros. Las demas obras tambien necesitan repararse oportunamente, pues si esto no se verificase llegarían á destruirse.

Se ve segun lo espuesto, que debe establecerse cierta division en las operaciones de conservacion de una carretera, y se admite la de conservacion del firme, de las obras de tierra y de las obras de fábrica.

Los deterioros que sufre el firme por la circulación son: las *roderas*, *rodadas* ó *carriladas*, pues se da indiferentemente todos estos nombres; las depresiones ó *baches*; el salirse las piedras de su sitio y el polvo y lodo que se forma con los detritus del firme mismo y de materias acarreadas por el tránsito ó por el viento.

Para remediar estos efectos en el firme ó *conservarle*, hay que verificar varias operaciones que son: reparar las rodadas y rellenar los baches, ó *bachear*; quitar las piedras que salen de su sitio, ó *descantar*; limpiar el polvo ó lodo, ó *desenlodar*, y además *picar* el hielo y *espalear* las nieves.

La *conservación* de las obras de tierra se compone de las operaciones necesarias para mantener las cunetas de modo que las aguas corran sin obstáculo limpiándolas, á cuya operación se llama *desembrozar*, y rectificándolas. Los paseos se *recargan*, *recrecen* y *rectifican*. Los puentes, pontones, alcantarillas y tajeas se *limpian* y se mantiene en ellos espedito el curso de las aguas; se reparan también los edificios y demas obras cuidando de mantener su solidez y buen aspecto. En los arbolados y plantíos es necesario igualmente atender á los cuidados que exige su crecimiento y su dirección.

Hechas estas ligeras indicaciones respecto á las operaciones que comprende la conservación de las carreteras, explicaremos los diferentes sistemas que se emplean; las causas y efectos de los deterioros y los métodos que se siguen para remediarlos ó precaverlos; tratando con alguna extensión de los *gastos* que se originan para conservar una carretera, su *valuación* y cuestiones á que dan lugar.

El exámen de la influencia que pueden tener los carruajes y caballerías en el deterioro de los firmes, según las circunstancias en que se encuentren y las cuestiones á que estas dan lugar para el establecimiento de portazgos, ofrece un gran interés; por lo que se indicarán algunas investigaciones verificadas sobre los objetos indicados.

Como medio de formarse idea mas exacta relativamente á

Diversas cuestiones de que se tratará, relativas á la conservación de carreteras.

las ventajas é inconvenientes de los diferentes sistemas de afirmados; tanto en la parte relativa á su construcción como á su conservacion, se describen los de varias capitales de Europa dando á conocer la opinion formada por personas competentes relativamente á ellos. Por último, nos ocuparemos de la organizacion del servicio de carreteras; tanto en España como en otros países.

Conservacion permanente de los firmes ordinarios

6.º de piedra partida.

Uno de los efectos inmediatos del tránsito de los carruajes sobre un firme es el producir *roderas*; las cuales se forman por la acción de las ruedas de aquellos. Estas roderas serán tanto mas profundas, cuanto mas pesadas sean las cargas y mas estrechas las llantas; dependerá tambien del sistema y esmero de construcción del firme y su consolidacion; y del estado de sequedad ó humedad de la caja.

Degradaciones del firme, causas y efectos.

El efecto que producen las ruedas al formar las carriladas puede ser el de hundir las piedras ó el de aplastarlas ó hendirlas, y tambien el hacerlas salir de su sitio echándolas á los costados. Los *baches* son unos hoyos mas ó ménos profundos que se forman en el firme y pueden producirse por la desigualdad de asiento de su base, ya sea en los terraplenes, ó ya en la solera en los desmontes; á causa de la calidad del terreno ó de la humedad; por la desigual resistencia del material ó poco grueso del firme; y en algunos casos resultando de la combinacion de varias ó de todas estas causas reunidas. Se forman generalmente con mas frecuencia en los llanos que en las pendientes. Los efectos se producen generalmente por la presion y rozamiento de las llantas de los carruajes y los pies de las caballerías.

Cuando no se acude en tiempo oportuno á reparar los baches y roderas, se aumentan y convierten por fin en verdaderos hoyos, en donde los carruajes están espuestos á volcar, produciendo además deterioro en estos y mal movimiento, mayor fa-

tiga en las caballerías y por consiguiente entorpecimiento en la circulación, molestia á los viajeros y mayores gastos en los transportes.

Ademas de los efectos indicados produce la circulación el desgaste del firme, haciendo por consiguiente disminuir continuamente su grueso. En las diferentes degradaciones que tienen lugar en un firme, influyen con mas ó menos intensidad las causas atmosféricas; así es que en el invierno puede ceder el material con mas facilidad bajo la presión de los carruajes, produciéndose baches y rodadas en mayor número que en tiempo seco; despues de las heladas se verifican tambien mayores deterioros en el firme. En estos casos el material se desune y pueden ejercer por esta causa mayor acción sobre él los carruajes y caballerías; por esto en el verano resisten mejor los firmes que en el invierno á las grandes cargas. Al hablar de la influencia ó acción de los carruajes y caballerías sobre los firmes, se indicarán varias cuestiones relativas á la que pueden tener la forma y dimensiones de las diferentes partes de los carruajes en los deterioros que sufre el afirmado.

Sistemas de conservacion.

Los diferentes sistemas de conservacion que se adoptan en las carreteras se reducen á tres clases que son: el de *conservacion permanente*, el de *conservacion periódica* ó *reparacion* por medio de recargos, y el *sistema misto* que proviene de la combinación de estos.

El primero consiste en remediar oportunamente ó á medida que se forman, los desperfectos de todas las obras. El segundo en verificarlo en épocas mas ó menos lejanas; pero no continuas, y el tercero en adoptar para cierta clase de efectos la conservacion permanente y para otros las reparaciones en periodos determinados.

Reparacion de las roderas ó rodado.

Hemos visto los efectos producidos por las ruedas al formar las roderas y entre ellos el hacer que la piedra salga á los costados y forme *rebordes*, efectos que se verifican con mas frecuencia en los firmes nuevos; esta piedra se restituye á su si-

tió con la rastra de hierro ó *rastrillo de dientes*, que se explicará luego, teniendo cuidado de no mezclarla con el polvo ó lodo. Generalmente se va macizando la piedra con el hierro del mango del azadón ó rastrillo; pero de este modo se estropean las herramientas y es mas conveniente el uso del pison para afirmarla, para lo cual suele dejarse algo saliente con el objeto de que despues de macizado quèden los reparos á la altura ó nivel del resto del firme. Hay ingenieros, y entre ellos BERTHAULT DUCREUX, que no consideran el uso del pison conveniente por no producir el efecto que se desea; sin embargo, por este medio se coloca mejor en su sitio el material, y se consigue que pueda resistir mas á la accion de las ruedas de los carruajes y pies de las caballerías.

Vallés en su tratado de conservacion, aconseja el dejar la piedra nueva mas baja que el firme, con el objeto de que las caballerías no la esparzan, ni huyan de seguir la rodera, lo cual contribuirá á macizar la piedra.

La piedra nueva que se eche para reparar las faltas de las roderas tiene que ser de pequeño tamaño, es decir, como el que se ha indicado para la capa superior del firme. Tambien este material nuevo es conveniente macizarle como se ha dicho antes y recebar sobre él, en caso que su clase lo exija; en fin, se toman todas las precauciones que se indicarán para los bacheos y se ejecutan en las estaciones y épocas que para estos se espresan.

Cuando un firme está recién construido ó recargado y se entrega á la circulacion, es cuando se forman con mas facilidad las rodadas y exige mayor vigilancia para repararlas.

Los baches se deben *rellenar* ó cubrir así que llegan á tener la profundidad necesaria para que la piedra que se echa en ellos pueda colocarse convenientemente, sin formar partes muy salientes en la superficie del firme; lo cual se verifica cuando tienen ya de 3 á 4 centímetros próximamente de profundidad.

Bacheos.

Algunos ingenieros aconsejan el dejar saliente la piedra de los bacheos, para que el tránsito mismo contribuya á macizar-

la y al mismo tiempo se reúnga sucesivamente el desgaste; pero tiene los mismos inconvenientes espuestos al tratar de las roderas. Vallés aconseja el dejarlos mas bajos, para que las ruedas al caer contribuyan á comprimir la piedra recién echada. Creemos conveniente que la piedra entrase con la superficie exterior del bache pues se evitan los inconvenientes de los baches salientes.

Si para la construcción de los firmes es conveniente que sea la piedra *angulosa*, con tanto ó mas motivo debe serlo para rellenar los baches; para que pueda unir ó trabarse del modo conveniente; así es que la piedra debe estar bien machacada y ser de pequeño tamaño, en particular cuando sean materiales duros. Este tamaño será el que se ha designado para la última capa del firme ó mas pequeño todavía segun su clase ó la profundidad del bache.

Algunos ingenieros exigen un esmero grande para bachear, prescribiendo *picar* el fondo del bache, limpiándole bien, apisonar la piedra y regar despues de empleada y recebada, ó tambien antes de esta operacion. Hay otros que no conceptúan necesario *picar* el fondo del bache, pues aun suponiendo que sea mayor el efecto producido, no compensa el gasto que causa esta operacion; hay sin embargo, algunas ocasiones en que podrá convenir *picar* el fondo y bordes del bache, como sucede cuando está muy lisa y dura la superficie y es poco profundo, en cuyo caso puede tener demasiada movilidad la piedra y salirse con mas facilidad de su sitio si no se toma esta precaucion.

Aunque haya algo de lodo en los baches, con tal que esté blando, no importa echar la piedra sobre él sino pasa de un centímetro próximamente de grueso; pues en este caso no hay cantidad suficiente para esceder los límites que pueden tolerarse para los detritus. Conviene cuando se emplean materiales duros, como sucede con las piedras silíceas, recebar el bache siempre que el material menudo ó detritus que contenga la piedra no sea escésivo; con las calizas, segun se dijo al tratar de la construcción, no suele ser conveniente el recebo, pues ha-

cen muy pronto clavo, y se forma el detritus suficiente con su desgaste. La clase de recebo que debè emplearse es el mismo que se indicó al hablar de la construccion del firme, y del mismo modo debe emplearse solo el indispensable para igualar la superficie ó á *tapa canto*.

En algunas carreteras de Francia se sigue actualmente un sistema de conservacion, que consiste en verificar los bacheos, con mezcla de piedras de distintos tamaños y material de agregacion, el cual puede ser el mismo lodo que se estrae. Se trata estensamente de este sistema y de las ventajas que se le suponen, en una memoria del ingeniero M. Mounet inserta en los anales de puentes y calzadas de 1857. Girard de Candunberg al reclamar la prioridad de este método, dice que es su sistema de firmes perfeccionado.

Bacheos con
piedra mez-
clada con
detritus.

Las estaciones mas convenientes para verificar los bacheos son el otoño ó invierno y la primavera, cuando llueve lo suficiente para que haga pronto clavo la piedra. En el verano no debe verificarse este trabajo como no sea en caso urgente, aprovechando alguna lluvia ó regando si es posible, pues con la sequedad no unen los materiales, se esparcen por la accion de las ruedas y pies de las cáballerías ó animales de tiro, y hay que volverlos á su sitio continuamente, ó separarlos para tiempo oportuno, lo cual produce esceso de gasto. En los paises de montaña suele haber épocas, aun en verano, en que puede bachearse y en mucha parte del invierno no puede efectuarse por las excesivas lluvias ó nieves. El tiempo de heladas y deshielos es perjudicial para verificarlo, porque los materiales no unen bien y se desperdicia mucha parte.

Suele haber la costumbre de regularizar el perimetro del bache haciéndole rectángular ó de formas mas regulares que las que naturalmente tiene. Esta costumbre creemos que no conduce en la mayor parte de los casos sino á gastar mas tiempo y material del necesario, y quitar cierta porcion de firme en que estaba ya trabada la piedra, sustituyéndola por otra en peores condiciones.

Como aconsejan algunos ingenieros, conviene que los bacheos se hagan alternadamente, es decir, no verificándolo en todo el ancho de la carretera á la vez, sino por *piezas* en distintas direcciones; de este modo se obliga á las caballerías á marchar en distintas direcciones tambien y se descompone menos el firme.

Medida de los bacheos y datos prácticos.

La medida de la cantidad de obra verificada para reparar las roderas ó baches, suele verificarse por la estension superficial; es decir, por los metros cuadrados que forma la figura que resulta en la superficie del firme, despues de empleada la piedra. El principal objeto es el de saber la obra que verifican los peones; pero se comprende bien que no es el medio mas conveniente de verificar la medida, pues no da idea de la *cantidad de material* invertido, que es un dato esencial para averiguar el costo. La estension superficial que un operario podria bachear en un tiempo dado, depende de la profundidad de los baches, cantidad que es muy variable. Determinar el volumen de piedra empleada en un tiempo dado, es la verdadera medida de la obra hecha por el peon, y da cuenta exacta al mismo tiempo del material gastado.

Ademas de lo indicado antes resulta que la medida superficial de los bacheos es muy difícil ó casi imposible de verificarla siquiera con alguna exactitud, por las complicadas figuras que resultan de la forma de los baches, y si se quiere hacer con alguna aproximación, hay que perder mucho tiempo; estas circunstancias son mas notables, porque generalmente se verifica la operación por peones camineros ó capataces; por consiguiente se obtiene por este método una medida inexacta, ó pérdida de tiempo considerable.

Segun nuestros datos, en un jornal de 10 horas de trabajo, un peon buen trabajador puede emplear en bacheos 3 metros cúbicos de piedra picando él mismo los bordes del bache.

Revocado del firme.

Cuando las depresiones del firme son muy pequeñas y el empleo de material es en corta cantidad, solo para igualar la

superficie, se da generalmente en este caso á la operacion el nombre de *rebocar* el firme.

Como se ha indicado ya, el firme se desgasta casi en toda su estension por el tránsito, además de verificarse en él las degradaciones que se han explicado antes; por consiguiente, para que se mantenga con el grueso que debe tener segun se ha dicho al hablar de su construccion, necesita reponerse este desgaste, bien sea continua ó periódicamente, además de la conservacion permanente á que dan lugar los demas efectos. Cuando se trate del sistema de conservacion misto, se examinarán los diferentes modos de verificarlo, y en la seccion relativa á los gastos de conservacion se tratará detalladamente de la valuacion del desgaste, etc.

Desgaste del firme.

Las piedras del firme suelen salirse de su sitio por efecto de la circulacion; esto tiene lugar en los firmes nuevos ó recién recargados y mas frecuentemente cuando se ha empleado material en tiempo seco, pues entonces no unen y se desagregan con facilidad. Estas piedras deben recogerse, á cuya operacion se llama *descantar*, y se amontonan ó apilan en los paseos ó márgenes del camino.

Descantado y remachaqueo.

Cuando los firmes se han construido de piedra gruesa, como sucedia en las carreteras antiguas, y hay que restaurarlos, se necesita partir las que sobresalen, que se llaman *calaveras*, por medio de las almadenas ó de la maza, operacion á que suele darse el nombre de *remachaqueo*.

La estension de *remachaqueo* que puede ejecutar un peon es muy variable, pues depende de la calidad de la piedra que hay que partir. En algunas carreteras en que hemos hecho la observacion sobre este trabajo y en las cuales las calaveras eran de piedra caliza, un peon recorria de 10 á 20 metros lineales de firme de 7 metros de ancho en 10 horas de trabajo. El costo de compostura de herramientas ascendia á 9 mrs. por jornal.

Estraccion
de lodo y
polvo

Una de las operaciones que tienen lugar en la conservacion de un firme es la de limpiar ó extraer el polvo y el lodo que se forma; son producidos por el desgaste del firme y tambien, aunque en menor escala generalmente, por las materias acarreadas en las llantas de los carruajes, por el viento ó por las aguas de lluvia.

El polvo y el lodo que este desgaste forma, molesta para el tránsito cuando es abundante y ademas de esto perjudica para la buena conservacion del firme, en razon á que produce mayor cantidad de detritus que el que conviene se mezcle con la piedra; conserva la humedad, lo cual cuando es con exceso perjudica tambien; y, por último, dejando las ruedas impresion en el polvo ó en el lodo, las caballerías tienen la tendencia á seguir la misma huella desgastándose con mas desigualdad el firme por esta causa y produciendo roderas.

Hay ingenieros y entre ellos Berthault Ducreux, que opinan debe quitarse solo el polvo ó el lodo que pueda incomodar demasiado á la circulacion, siendo perjudicial el quitarle con mucha frecuencia, pues deja la piedra descubierta pudiendo así actuar mas directamente los carruajes y caballerías sobre ella y destruirla; al mismo tiempo sucede que pasando muchas veces sobre el firme los útiles que sirven para limpiarle, pueden desagregar la piedra y estropearle.

Otros ingenieros, por el contrario, hacen depender gran parte del éxito de una buena conservacion, en quitar esmeradamente el lodo y el polvo; Dumas es el ingeniero mas exagerado en este punto fundando en el barrido frecuente de un firme la base de un buen sistema de conservacion. De este modo dice que se mantiene unida la superficie y de buen aspecto, los carruajes y caballerías siguen indistintamente cualquiera direccion, produciéndose así menos desgaste y destruccion, y menos gasto de material; de este modo podrá obtenerse con mas facilidad un firme al estado normal; de aquí el principio sentado por este ingeniero, á saber, *máximo de belleza, mínimo de gasto.*

No deben exagerarse los principios y por lo tanto, siendo

indudablemente perjudicial el que haya esceso de polvo ó lodo en un firme; deberá quitarse cuando pase de ciertos limites; puede adoptarse el de un centímetro próximamente para el que conviene tolerar. Para que no haya desagregacion del material convendrá emplear útiles de poco peso, ó ejercer con ellos solo la presion necesaria para estraer el detritus.

Para la estraccion del polvo se emplea mas frecuentemente la rastra de madera, que se describirá al fin de esta seccion; con ella se arrastra el polvo á los costados del firme ó paseos, en donde se recoge y apila. Debe separarse lo mas pronto posible el polvo fuera de la carretera para evitar de este modo que el viento le lleve nuevamente al firme, ó que cuando llueva forme lodo y sea mas difícil su conduccion.

Cuando reinen fuertes vientos periódicos, no hay necesidad de quitar el polvo por medios artificiales, pues aquellos dejan con frecuencia demasiado limpio el piso y descubierta la piedra.

Para estraer el lodo cuando está blando se emplea tambien la rastra de madera; pero cuando se pone duro ó de consistencia muy pastosa, es necesario emplear la rastra de hierro, cuidando de no apretar con ella demasiado sobre el firme. No se debe dejar endurecer el lodo, pues en este caso, si es algo abundante, lastima los pies de las caballerías y peatones y se hace tambien mas difícil de estraer, siendo necesario á veces emplear la azada para verificarlo. Debe cuidarse tambien de estraer el lodo antes que haya heladas, porque en este caso se endurece de tal modo, que es necesario emplear algunas veces el zapapico.

Si se estraer el lodo cuando está muy líquido, deberá dejarse apilado hasta que tome alguna consistencia, para poderse entonces echar con la pala á los terrenos inmediatos ó trasportarle por medio de la carretilla. El lodo suele aprovecharse cuando está ya consistente para recargo de los paseos.

La estraccion del polvo ó lodo puede tambien hacerse bariendo el firme. El uso de la escoba es conveniente cuando se emplea con prudencia; el barrido se hará únicamente de modo que no desagregue la piedra. Se emplean para este objeto es-

cobas de brezo, usadas ya, cuando el polvo es en corta cantidad, ó el lodo está líquido, y mas fuertes ó nuevas cuando el primero es excesivo, ó el lodo está consistente.

En las travesías de las poblaciones suele regarse para evitar el polvo; en los firmes ordinarios el desgaste será mayor cuando se verifique el riego con exceso, produciéndose por consiguiente efectos análogos á los que se verifican en invierno.

Se han empleado escobas y rastras mecánicas para los firmes, las cuales se describen al fin de esta seccion, dando á conocer las ventajas é inconvenientes que presentan. Tambien se describe un carro de riego empleado en Inglaterra.

Cualquiera que sea el útil ó herramienta que se emplee para limpiar el firme, deberá cuidarse de pasarle con tanta mayor precaucion, cuanto menos tiempo haga que se ha construido este ó verificado los recargos ó bacheos, pues la piedra en este caso se sale de su sitio con mas facilidad.

Segun nuestras observaciones la estension de firme desendolado por un peon buen trabajador en 10 horas de trabajo, empleando la rastra, viene á ser 340 á 460 metros cuadrados, dependiendo este trabajo de la cantidad y consistencia del lodo.

La cantidad de polvo estraído en el mismo tiempo empleando la rastra y escoba, era de 560 á 730 metros cuadrados.

Empleando solo la escoba ó el *barrido*, 1270 á 1400 metros cuadrados.

Los efectos del hielo en las carreteras son el de hacer que resbalen las caballerías y personas, y ademas en tiempos de deshielos, producen lodo y humedad en el firme, lo cual se ha visto es un inconveniente, por lo que se debe tener la precaucion de estraerle. Para esto se pica con el zapapico ó azada cuando está demasiado duro.

El quitar el hielo es mas indispensable todavia en las pendientes algo fuertes, pues si no se verifica hay gran esposicion de que las caballerías resbalen y se lastimen, y pueden volcar los carruajes.

Suelen levantarse las piedras por efecto de las heladas, en

Estraccion
del hielo y
de la nieve.

razón á que el agua de lluvia que se deposita aumenta de volumen al helarse y obra como una cuña. En las épocas en que esto sucede no debe hacerse bacheos, pues uné mal la piedra.

Cuando haya nieves deben tambien quitarse para que no perjudiquen al firme manteniendo escesiva humedad en él, particularmente al deshacerse, ó incomodando para el tránsito y aun á veces interrumpiéndole. Cuando el grueso de la capa de nieve es pequeño, basta generalmente el empleo de la rastra, pala de madera ó escoba para llevarla á la cuneta, y cuando se deshela corre por esta el agua que resulta: dicha operacion es inútil si se verifica cuando continúa nevando mucho, pues vuelve á acumularse nuevamente.

Quando la nieve pasa de medio metro próximamente de altura, es ya necesario verificar el *espaleo*; abriendo la calle necesaria para el paso de los carruajes, operacion que se ejecuta por cuadrillas de peones prácticos del pais, que la verifican partiendo la nieve en prismas con el borde de la pala, y cojiéndolos con esta los arrojan al costado.

El espaleo de nieves es uno de los gastos considerables en algunas carreteras que pasan por los páramos y puertos, pues á veces forman alturas considerables en que es necesario abrir en el espacio de leguas una verdadera calle.

Las carreteras que atraviesan las montañas de Guadarrama, Navacerrada y Somosierra, las de la provincia de Burgos y Santander, en los páramos de Villalta, Escudo y Canduela, alguna de las provincias de Leon, de Cataluña, etc., se hallan en este caso.

Quando las nieves tienen muy poca altura ha solido emplearse las rastras mecánicas, ó mejor todavia un bastidor compuesto de tres viguetas formando un triángulo, el cual se arrastra por medio de hombres ó caballerías, y por este medio se conduce ó echa la nieve á los puntos que convenga. El empleo de aparatos mas complicados solo tiene aplicaciones convenientes en los caminos de hierro, en los cuales pueden ponerse en accion con las locomotoras.

Acopios
de material.

Los acopios de material para conservacion se colocan en los paseos ó márgenes del camino, para que estén próximos á su destino, y en el mismo sitio los machacan y preparan los peones camineros.

Su recepcion se hace por cargos que se miden en cajones, los cuales tienen comunmente medio metro cúbico, pues si hiciesen mayores sería difícil manejarlos, en razon al gran rozamiento que ejerce la piedra en las paredes (1).

Las pilas ó peces de piedra están compuestos de uno ó mas cargos, y tienen la forma cónica que resulta al levantar el cajon, ó bien una análoga á la de los malecones de tierra.

Las dimensiones y forma de los peces de piedra mas generalmente adoptada en las carreteras de Francia, es la que indica la figura 107; cubican 1,042 metros cúbicos.

Una vez arreglados los montones ó peces, se emplea para la confrontacion de medidas una falsa regla de madera figura 108. Esta se aplica despues de regularizar los montones con la forma indicada, en los costados y despues se hace girar para ver la altura. Si hay defecto en la longitud, diferirá del pez tipo en un prisma que tiene por base la seccion transversal normal y por altura la diferencia entre la longitud prescrita, y la que resulte.

La seccion transversal tiene por medida $0,50 \times \frac{150+0,50}{2}$, ó 0,50, y el volúmen del prisma que tiene por medida el producto de su base por su altura, es numéricamente la mitad de la longitud que falta al pez. Si tuviese por ejemplo solo 2,40 el defecto del cubo sería $\frac{0,10}{2}$, ó 0,05 de metro cúbico.

Debe cuidarse cuando están acopiados mucho tiempo, no dejar acumular tierra al rededor de ellos, pues á veces se entierran y es necesario limpiarlos para poder emplear la piedra, lo cual aumenta la mano de obra. Tambien si se descuida el

(1) En la descripcion de herramientas y útiles se describe el cajon de medir piedra.

arreglarlos, cae piedra á la cuneta y se desperdicia mucho material. Las ruedas de los carruajes y las caballerías, que suelen entrar por los paseos, descomponen y entierran mucha parte, y es necesario tener cuidado de volverlos á arreglar. El *rastrillo de dientes* es el útil mas conveniente para apilar la piedra por no arrastrarse tierra con el material, como sucede empleando la azada; sin embargo, tambien se usa la pala para este objeto, cuando haya que echarla desde la pila á la carretilla en vez de cargarla directamente en la espuerta. El rastrillo está compuesto de cuatro ó cinco garfios de hierro de 12 á 15 centímetros de longitud, separados entre sí unos 4 centímetros y colocados en la disposición que la rastra; las puntas se hacen acoradas y en bisel.

Conservacion de las obras de tierra.

Uno de los cuidados indispensables para mantener el firme en buen estado, es el que no se detengan las aguas en el firme y paseos cuando llueve, verificando su salida á las cunetas y corriendo sin obstáculo por estas.

*Desembroce
y rectificacion de cunetas.*

Para esto es necesario cuidar que no haya aterramientos ó crezcan yerbas verificando la operacion de *desembrozar*. Es necesario tambien rectificar y alinear cuando lo exigen, tanto la pendiente de la solera, como las aristas ó bordes de su *boca* y sus costados. Estas operaciones se hacen generalmente en la estacion en que no se puede trabajar en el firme; pero cuando es necesario sobre todo una vigilancia grande para dar curso á las aguas, es en los fuertes temporales de lluvias, como en las tempestades; pues en este caso sufren mucho las obras y en las cunetas se producen aterramientos, tanto porque se desmoronan sus márgenes y solera, como por la caída de las tierras de los taludes y paseos. Dicha solera, por efecto de la gran velocidad que llevan las aguas, se surca y descompone; las aglomeraciones de tierras represan las aguas y desbordando por los paseos y firme se deterioran, y á veces se destruyen completamente.

La rectificación de las cunetas se hace como su rompimiento, alineándolas por medio de las cuerdas y piquetes, y cortándolas con el azadon ó pala inglesa de mango curvo; tambien se emplean éstas herramientas para desembiozar, del mismo modo que la rastra de madera ó hierro. Las tierras que se esfraen se sacan á las márgenes, ó sirven para recargar los paseos. Cuando para evitar las formas irregulares que quedan en la solera ó costados de las cunetas por efecto de los desmoronamientos, se emplea tierra postiza, es necesario tener cuidado de apisonarla con esmero para que resista á las aguas que corren por ella.

Recargo ó
recrecido y
rectificacion
de paseos.

Los paseos necesitan *recargarse* ó *recrecerse* cuando su rasante se altera por el asiento causado por el tránsito, ó por desaparecer las tierras á causa de las aguas. Tambien es necesario rectificar sus costados ó *alinearlos*.

Estas operaciones se verifican del mismo modo que se esplicó al tratar de su construccion, empleando para la rectificacion de rasantes las niveletas, el reglon y nivel de albañil y las cuerdas y piquetes para su alineacion; cuando se recrecen es necesario apisonar la tierra que se eche nueva.

Tambien es necesario limpiar los paseos y quitar las yerbas que suelen crecer en ellos, y que impiden á las aguas del firme caer á las cunetas: para verificarlo se usa la azada ó azadilla de jardinero, la cual puede emplearse del mismo modo para cortar las yerbas de las cunetas.

Estas operaciones se verifican (á no ser en un caso urgente) durante las épocas que no conviene trabajar en el firme.

Reparacion
de taludes
ó escarpes.

Los taludes ó escarpes de los desmontes ó de los terraplenes es necesario mantenerlos con la inclinacion conveniente; así es que los terraplenes será necesario recargarlos y macizar los surcos producidos por las aguas; las yerbas de sus bordes deben quitarse, pues sino impiden correr las aguas. Cuando se descuida el verificar la reparacion de las grietas en un terraplen, resulta que se producen desprendimientos que algunas

veces arrastran consigo el firme. Estas operaciones tienen que verificarse generalmente despues de las fuertes lluvias de tempestad, que son las que mas daños causan en las obras de tierra.

Además de las reparaciones de albanilería ó cantería que sean necesarias en las obras de fábrica, exigen que se cuide de limpiar sus paramentos, quitando las yerbas que se crien entre las juntas.

Limpia de las obras de fábrica.

Los peones deben cuidar de tener desembrozadas las tajeas y alcantarillas, de modo que cuando sobrevengan las aguas, puedan correr bien; de otro modo se embalsarian, perjudicando á la obra misma y á las de tierra contiguas, particularmente cuando por encontrar obstáculos en su curso tuvieran que abrirse nuevo cauce. Este cuidado debe tenerse sobre todo en las lluvias fuertes de temporal. Para verificar el desembroce de estas obras, suelen emplearse largas perchas ó azadas de mango muy largo, por medio de las cuales se estraen los aterramientos, yerbas ó fango que obstruye el paso de las aguas; pues á veces no es fácil el entrar en ellas, bien sea por tener poca luz, ó por estorbarlo las aguas.

La limpia de las yerbas que puedan criarse en las juntas, tanto en los puentes, pontones y alcantarillas, como en los muros de sostenimiento, se verifica por medio de hoces ó azadillas.

Estas operaciones se ejecutan en verano, que es cuando no hay que atender á las del firme, y tambien la época en que se hacen con mayor facilidad.

Reparacion ó conservacion periódica.

El sistema de reparaciones periódicas consiste en verificar recargos de piedra en el firme por medio de cuadrillas, cuando las desigualdades en el piso han llegado á un término que producen demasiada molestia para el tránsito, ó no hay el grueso de piedra suficiente para resistir á las presiones de los carrua-

jes sin que estos penetren en el terreno. Este sistema puede referirse, respecto al modo de efectuarlo, á lo espuesto al tratar de la construcción del firme, pues se reduce á reponer el espesor por capas de piedra machacada, verificándolo con las condiciones indicadas entonces. Está sujeto este método á los inconvenientes de un firme nuevo, es decir á la movilidad de la piedra, sino se maciza suficientemente por medio del cilindro compresor, y tambien causa el perjuicio de tener que entorpecer la circulacion; para evitar esto suelen hacerse las reparaciones en cada mitad del firme sucesivamente; pero no pueden así verificarse aquellas con perfeccion.

Este sistema á pesar de tener todavía algunos partidarios, no es el que en general se sigue cuando se trata de obtener un firme en buen estado de viabilidad en todo tiempo. Hemos visto anteriormente los efectos que producen los carruajes y caballerías y los inconvenientes que resultan de ellos para el tránsito; estos efectos son continuos y por lo tanto constante y asiduo debe ser tambien el cuidado y vigilancia para reparar las degradaciones que resultan.

Aun en el caso de que fuere mas barato el verificar los recargos que el cuidar y reparar constantemente el firme, no debería adoptarse aquel sistema, pues ademas de los perjuicios que causa, que pueden valuarse en dinero, hay otros en que no puede verificarse esto y que sin embargo son dignos de tenerse en cuenta, como son las molestias que se causa á los pasajeros. Todos estos males deben pues tratarse de disminuir ya que no puedan evitarse completamente, si las carreteras han de cumplir el verdadero objeto para que se construyen.

Por desgracia en España se está en el caso de tener que adoptar muchas veces el método de recargo, pues generalmente la falta de los recursos necesarios para atender á la conservación oportuna de las carreteras, impide que se repongan los desperfectos cuando conviene, llegando á ponerse casi intransitables; y por consiguiente, no es esacto decir que el sistema que se sigue es el de conservacion permanente.

El verificar solo en épocas lejanas las reparaciones de las

obras de tierra, en particular de las cunetas, trae el inconveniente de que las aguas no podrían tener la salida conveniente, viniendo á producir un aumento en los males enunciados.

Vallés califica el sistema de recargos periódicos de bárbaro, antilógico y ruinoso, dice que es resolver el problema de echar á perder el firme y destruir la piedra lo mas pronto posible causando al mismo tiempo la mayor fatiga posible á las caballerías.

Sistema de conservacion misto.

Este sistema consiste en cuidar de la conservacion del firme continuamente como se ha explicado, para que no se formen baches ni rodadas que molesten á la circulacion, y reponer ademas periódicamente el espesor que debe tener, cuando ya ha llegado á disminuirse de modo que no puede resistir á la presion de los carruajes.

Este sistema tiene partidarios entre ingenieros acreditados. Uno de los que le propusieron como el mejor que debe seguirse, fué Bonamy en 1847.

Critica este ingeniero el método de bachear (prescrito por las circulares en Francia) dejando saliente el material sobre el firme, con el objeto de ir reponiendo el grueso de él, pues de este modo no se obtiene jamás una superficie lisa é igual.

El método que indica es el de hacer los bacheos con el material indispensable para la cómoda circulacion, dejando desgastar el firme hasta que ya su espesor sea insuficiente, lo cual se verifica cuando llega á quedar de unos 9 centímetros.

Este período de conservacion permanente puede determinarse por sondas y perfiles referidos á puntos fijos (1).

Suponiendo por ejemplo 10000 metros de carretera de 20 centímetros de espesor, para el cual se haya encontrado ser de cinco años el período de conservacion permanente y 2 centí-

(1) Se ven al tratar de los gastos de conservacion los inconvenientes de este sistema.

tros la pérdida de espesor anual, se puede descomponer en cinco porciones, que en el origen del periodo está cada una preparada de modo que tenga 12, 14, 16, 18 centímetros; cada año se recargará una parte, de modo que al cabo del periodo habrá recobrado el espesor por igual con el que se perdió.

Cree que este sistema es económico, pues disminuye las pérdidas del material que se verifican dejando los bathes salientes, y simplifica las operaciones.

Para conseguir la pronta union de los materiales, emplea el cilindrado y aun propone emplear para esta operación los caballos del ejército.

Conservación de firmes empedrados. Para conservar los firmes empedrados, se debe tener presente que el firme es un cuerpo homogéneo, y que si se destruye alguna parte, se destruye todo. La conservación de empedrados consiste en reemplazar aisladamente alguna piedra ó adoquin que se destruya, ó por piezas y reparos por trozos, cuando lo exija el mal estado del empedrado.

Métodos que se emplean.

Reparar por trozos

Para verificar las reparaciones debe limpiarse el firme antes de levantar las piedras, y hecho esto se quitan las materias extrañas que pueda haber en la base de arena; se saca esta hasta la profundidad de unos 40 centímetros y se echa arena nueva ó la misma que habia si es suficiente, pero removida y limpia. Se procede como se esplicó en la construcción de estos firmes, por capas regadas y apisonadas, hasta restablecer el perfil que deba quedar, y se asientan las piedras despues, rellenando las juntas de arena y apisonando el empedrado.

Los adoquines que se estraen suelen volverse á emplear relabrándolos; y para hacer esto conviene no mezclarlos sino reunir los por tamaños, y formar trozos separados con adoquines de dimensiones próximamente iguales.

Handimiento de piezas ó piedra

A veces cuando se hunde aisladamente algun adoquin, para economizar el tener que levantar los contiguos, se descarnan las juntas y se apalanca para sacarlo, de modo que quede 2 ó

3 centímetros más saliente su cabeza que el resto del empedrado; se le sostiene en esta posición; se introduce arena por las juntas y se coloca otra vez apisonándole para que siente bien. Cuando se quiere aprovechar los adoquines que se estraen al reparar un empedrado, suelen invertirse; es decir, colocar la parte inferior en la superficie; pero no presentan de este modo el asiento conveniente y las juntas abren demasiado, por lo que conviene en este caso relabrarlos y destinarlos para otras hileras de dimensiones uniformes.

En tiempo de invierno cuando se verifican los deshielos, contribuyen estos á descomponer los empedrados, porque se aflojan y desunen las piedras, y hay mas exposición á que se formen baches por la acción de los carruajes. Esta circunstancia ha hecho que en Francia se establezcan en ciertas épocas del año barreras que llaman de *deshielo*, prohibiendo en ellas el paso de carruajes con grandes cargas.

Los efectos anteriores consisten, según se ha observado haciendo catas en el firme en las épocas indicadas, en la escésiva cantidad de agua que se deposita en la solera de la caja y capa de arena del cimiento. Para remediar este efecto se puede sanear ó desecar el firme construyendo acueductos rellenos de grava ó colocando tubos de barro como se indicó al tratar del saneamiento del terreno; pero es mas económico y fácil el evitarlo teniendo bien limpio el firme y promoviendo la evaporación y salida del agua por medio del cilindro compresor; como se verá al tratar de las aplicaciones de este.

SEGUNDA SECCION.

HERRAMIENTAS Y ÚTILES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS.

Varias herramientas y útiles que se emplean en la construcción de carreteras, tienen aplicación para la conservación; por

esta razon hemos preferido dejar algunas de ellas para describir las en esta parte, en la cual se indicarán, tanto los que comúnmente se usan, como los aparatos perfeccionados ó mecánicos que han recibido tambien aplicaciones en las obras.

Vamos pues á ocuparnos de las herramientas destinadas á la conservacion de los firmes llamados ordinarios ó de piedra partida, y las que se usan para la conservacion y construccion de los firmes empedrados, describiendo despues varias carretillas perfeccionadas ó mecánicas y carros para riego.

Carretillas.

Las carretillas que se han descrito al tratar de la construccion de obras de tierra, se emplean igualmente para las operaciones que se verifican en la conservacion de carreteras, para trasportar la piedra, lodo ó polvo, y tambien las usan los peones camineros para conducir los demas útiles al trozo en donde trabajan.

Palas.

La pala inglesa que se dió á conocer al hablar de la construccion de obras de tierra es muy útil para desembrzar, reparar ó abrir las cunetas, por ser su manejo más fácil que el de las comunes á causa de la curvatura de su mango; se emplea sin embargo la pala comun de madera para el espaleo de nieves, limpia ó extraccion del lodo ó polvo.

Rastras.

Las herramientas que se indicaron al tratar de las operaciones de conservacion del firme de las carreteras, á que se dió el nombre de rastras, pueden ser de hierro ó de madera. La figura 109 representa su forma; la parte que sirve para rastra es generalmente semi-circular con un ojo para colocar el mango, y en vez de formar un ángulo recto en este mango es conveniente que sea algo agudo; cuando la rastra es de hierro puede formarse de una hoja gruesa de palastro, y de tabla delgada cuando es de madera; su diámetro tiene próximamente 24 á 30 centímetros.

Azadas.

Tambien las azadas que se usan en la construccion de car-

reteras se emplean en la conservación para estender el material del firme y desenlodar; más para estas operaciones no tienen tan conveniente aplicación como la rastra, por su mucho peso, que produce demasiada presión en el firme.

Los piquetes son unos clavos de hierro de 0^m25 de longitud; sirven para alinear las cuerdas que se colocan con el objeto de alinear los paseos y cunetas. Cada peon debe tener cuatro, para poder colocar dos de cada lado en los bordes de las cunetas ó paseos, cuando se rectifican ó abran de nuevo.

Piquetes
ó clavos.

Las cuerdas para el objeto indicado antes deben ser de cáñamo bien torcido, y tener un grueso próximamente de un centímetro ó ménos; es conveniente prepararlas sumergiéndolas en aceite hirviendo para conservarlas mejor, y que no varien tanto de longitud con la humedad.

Cuerdas.

Las escobas son de brezo y cada peon debe tener dos, para que pueda haber una más desgastada para los usos que se indicaron al tratar de la conservación del firme. El peon necesita tener también espuelas para conducir las tierras, polvo, etc. En algunas provincias se sustituye á estas los cestos ó capachos.

Escobas
y espuelas.

A la unidad de medida empleada generalmente para la piedra del firme de las carreteras se llama cargo. En unas provincias este cargo es una cantidad de piedra de peso determinado y en otras un volumen dado que es lo más general: actualmente se toma para *cargo* una fracción del metro cúbico.

Cargos
para medir
piedra.

Esta medida consiste en un cajón sin fondo con asas suficientemente resistentes para poderle manejar. Aun haciendo estos de la mitad de un metro cúbico de capacidad es muy embarazoso su uso: así lo mejor es que tenga un tercio de metro cúbico. Los adoptados en el Distrito de Madrid tienen 0^m85 de lado por 0^m47. Resulta con estas dimensiones 0^m018725 de exceso en metro cúbico se construyen de tabla portadilla de pi-

no con asas de madera ó de hierro; cantoneras de este metal y 12 escuadras para asegurar los ángulos.

Herramientas de empedrador.

Rascador ó piquetilla. Las figuras 110 y 111 dan á conocer la herramienta llamada piquetilla ó rascador, la cual puede ser recta ó curva; está compuesta de una parte de hierro y el mango de madera. Se emplea para extraer la arena de las juntas del empedrado. En la figura se ponen acotadas sus dimensiones.

Palanca ó alzaprima. Para levantar y sacar las piedras se emplea la palanca ó alzaprima, cuyo peso viene á ser de 10 á 12 kilogramos; su forma la de las palancas comunes y su grueso de $3\frac{1}{2}$ á 4 centímetros. También se emplean para el objeto indicado los azadones de forma análoga á la que se representa en la figura 100, pero de mayor tamaño y peso.

Retundidor. Para rellenar las juntas de los empedrados se emplea una hoja de hierro con mango de madera; y de la forma que indica la fig. 112, que representa la vista de frente y costado.

Martillos de empedrar. Los martillos de empedrador son en general de dos formas; una es la indicada en la fig. 113 en que está representado un martillo de frente en *a* y por el costado en *b*, con las acotaciones de sus dimensiones; su mango es de madera, suele pesar 11 kilogramos y se maneja generalmente á dos manos.

Otra forma de esta herramienta es la representada en la figura 114; en este caso suele pesar 5 á 6 kilogramos.

La parte que forma la *pala* sirve para arreglar la arena de la fundición ó base; etc.; el martillo para apretar las piedras y relabrarlas.

Pisones. Los pisones que se emplean para afirmar los empedrados, son de peso variable y pueden ser para manejarse por uno ó dos operarios. Pesan de 18 á 35 kilogramos; deben construirse de

una madera fuerte, como la encina; sus formas son generalmente las indicadas en las figs. 115 y 116; los bordes inferior y superior deben herrarse para que no se astille la madera al apisonar.

Tambien pueden emplearse estos pisones en los firmes ordinarios y en las obras de tierra.

Para medir la profundidad de los baches se puede emplear una regla horizontal; unida á dos montantes verticales en medio de los cuales corre una varilla que se baja por un tornillo hasta el fondo del bache. Las reglas se aseguran á los montantes por medio de tornapuntas, las cuales mantienen á aquellos perpendiculares entre sí; la regla puede aplicarse ó replegarse á los costados de los montantes por medio de charnelas; este aparato está representado en la fig. 117. Tambien se construye de modo que pueda tomarse la flecha en un punto cualquiera del bache; lo cual se consigue haciendo la regla horizontal de una sola pieza y disponiendo la vertical de modo que puede correr á lo largo de la primera.

Aparato para medir la profundidad de los baches.

Las carretillas para trasportar las piedras son análogas á las descritas para las demas obras, pero con solo la plataforma y la tablilla delantera, para que no se caigan aquellas al inclinarlas hácia la rueda durante el transporte; los otros tres lados se suprimen para descargar mas cómodamente.

Carretilla de empedrador.

Aparatos mecánicos.

La escoba mecánica de Witworth fué empleada primeramente en Manchester y en otros puntos de Inglaterra desde 1842, en que su inventor la aplicó para barrer las calles y carreteras. Está compuesta de una cadena sin fin á la cual van unidas varias escobas suspendidas en un bastidor; este va colocado en la parte posterior del carreton. Por medio de un piñon y una rueda de engranaje, toma la cadena un movimiento en sentido contrario del de las ruedas. Cuando anda el carreton empiezan á

girar las escobas, recojen el lodo y le hacen subir por un plano inclinado, vertiéndole en una caja colocada en la parte superior, y en esta hay un travesaño de hierro en el cual se limpian las escobas. Por medio de un mecanismo sencillo se puede aumentar ó disminuir la presión que ejercen sobre él suelo. Con este aparato pueden barrerse 15000 metros cuadrados en un día, que viene á ser el trabajo de 15 operarios, que verifique el barrido con escobas de mano; su coste en Inglaterra era de unas 100 libras esterlinas. Deben emplearse con poca velocidad para que produzcan mayor efecto.

Las figuras 118 y 119 representan las proyecciones vertical y horizontal. *AA* es el contorno de la caja; *BB* el aparato de hierro forjado para la carga; *CC* travesaños; *EE* pies derechos que sostienen el aparato y muñoneras del eje; *F* eje de las poleas *GG* y de la rueda *H*; *YY* pasadores que sirven para hacer engranar la rueda anterior con la *K*, la cual está unida con varillas á la rueda derecha del carretón; *OO* cadenas sin fin; *Q* plano inclinado; *M* ejes de las poleas *L*, que giran en los cojinetes de acero móviles *N*, y que pueden ajustarse á voluntad al marco *B*; *R* tablero colocado en la parte superior, para impedir que caiga el polvo por entre el plano inclinado y la parte superior del carro.

El plano *Q* está asegurado por roscas *S* á la parte *BB*, y puede hacerse de palastro. Por medio de las roscas, se ajustan las escobas al plano á medida que van gastándose.

Las escobas están compuestas de fajos metidos en agujeros cónicos abiertos en los travesaños de madera y pegados á ellos con pez, ó asegurados por cuñas; se colocan muy próximos entre sí, según indica la figura 120. La cadena está compuesta de anillos alternativamente abiertos y cerrados; los extremos *V* del anillo abierto están aplanados para colocar entre ellos la travesa *w* de la escoba, la cual se asegura con un pasador. Uno de los anillos abiertos de cada cadena está formado de dos partes unidas entre sí por la charnela *X*; por este medio se ajusta la cadena quitando la escoba ó introduciendo su estremo por el inmediato cerrado.

Todo el aparato gira sobre los apoyos DD (Fig. 118 y 119) por medio de las muñeiras E . La presión de las escobas se equilibra por un peso Y , el que tiene agujeros con el objeto de calibrarse por medio de otros pesos adicionales. Este peso está colocado en la delantera del carro y suspendido dentro de un cajón Z por las cadenas aa que pasan por las poleas b .

Para levantar el aparato de carga y ponerle horizontal, hay en el eje de las poleas b un piñón d , el cual hace girar á la rueda e montada en otro eje f paralelo al referido. Este eje es al mismo tiempo el de las poleas de hélice g , en cuyas gargantas se arrollan las cadenas h ; los extremos de estas están sujetos por un lado á dichas poleas y por el otro á los segmentos. Haciendo desengranar la rueda e del piñón d por medio de la palanca v (lo cual se verifica con la rosca sin fin k), puede el conductor por medio de la manija m levantar el aparato dejándole suspendido sobre la rueda. La rosca debe estar lo mas próxima posible al piñón d , para que pueda engranar con la rueda e antes de que desengrane completamente con el piñón d .

Quando el aparato de carga está horizontal cesa el movimiento de rotación de las escobas; para lo cual se afloja el pasador F . Esta operación se verifica por medio de la pieza inclinada g . A este efecto va empujando lateralmente dicha pieza g á la palanca n , la cual tiene su punto de apoyo en o sobre la pieza p . En la misma pieza p hay un resorte r , que cuando baja el aparato ajusta el pasador F , haciendo que las escobas vuelvan á girar.

Los travesaños s sostienen las barras t , que sirven para limpiar las escobas; estos travesaños tienen unas morlajas para ajustar la posición de las rodajas á la longitud de las escobas.

Para que el aparato de carga pueda quitarse, se doblan los apoyos D , por medio de una charnela.

La figura 121 es la vista de costado de la parte superior del carro; y la 122 de la parte inferior del mismo; la 123 la vista por detras; dicha parte superior es la w de la vista general y la inferior la x , unidas en el punto g . Cada parte está compuesta de un marco fuerte de hierro con traveseros á los cuales se

sujetan las hojas de palastro. El eje z del carro atraviesa la parte superior; es de hierro forjado, muy fuerte y reforzado con un brazo en cruz 4 ; la caja inferior x que contiene el polvo; está suspendida al eje z por las cadenas 2 . Para descargar la caja se baja hasta el suelo, se desprende la cadena de la parte inferior y estando horizontal el aparato de carga, sigue el carro su marcha dejándose aquella detrás para poderla vaciar cómodamente. Para bajar la caja x por medio de las cadenas 2 , están sujetas estas por uno de sus extremos á las poleas 5 , montadas en el eje 3 , el cual se apoya sobre las piezas 4 acodadas, que sobresalen del eje 2 . La rueda 7 , montada también en el eje 5 , engrana en la rosca sin fin 8 , cuyo eje 9 se apoya en los puntos 10 . Las ruedas y las poleas se hacen girar por medio de la manija 11 .

La caja x se coloca otra vez en su sitio haciendo rodar el carretón hasta que la parte w caiga sobre ella, se engancha la cadena 2 y dando á las manijas 11 movimiento inverso del anterior, se hace subir la caja sirviendo de guías las piezas 12 . El tubo 13 sirve para dar salida al agua que contengan los detritus. Para no perder tiempo pueden tenerse varias cajas; estas máquinas pueden también servir para desenlodar, sustituyendo á las escobas, rastras de hierro.

Otro aparato análogo al anterior es la rastra mecánica, representada en las figs. 124 y 125. Está compuesta de 8 rastras colocadas en un bastidor unidas por charnelas al mismo, en un travesaño horizontal. La presión sobre el suelo se ejerce por el peso del aparato y de unos resortes, y las rastras son independientes entre sí; todo el sistema se apoya en un eje con dos ruedas pequeñas.

Cuando trabajan las rastras se levantan las ruedas, cargando todo el peso del aparato sobre la traserera.

Cada rastra está compuesta de dos chapas de 0^m1 de ancho, formando entre sí un ángulo de 85°, sostenidas por una tornapunta curva de hierro, y se comprimen por un resorte de 15 centímetros de longitud.

Rastra
mecánica

Las uñas ó salidas de las rastras tienen 2 centímetros de largo y 4 centímetros de grueso; su forma es cóncava por la parte interior. Las maderas del bastidor son de roble, álamo negro ó encina, para que tengan bastante peso; para asegurarlas en la posición que deben tener, hay en la parte superior dos pernos con rosca y tuerca; uno de estos pernos está colocado en el extremo inferior de la tornapunta.

Los resortes colocados en el extremo de la plancha superior y por debajo de esta, se sujetan por un extremo por medio de dos roscas y por el otro se apoyan en un travesaño redondo de hierro, cuya barra sirve de apoyo á las chapas superiores cuando caen. La parte del bastidor que sienta en el suelo, está revestida de hierro para que no se desgaste; sus bordes posterior y superior sobresalen de los rascadores ó rastras sobre 25 centímetros, protegiéndolos así por todos lados.

Este aparato que es una modificación de otro ensayado antes, el cual tenía el defecto de ser más ligero, ha producido buenos resultados en su aplicación para la extracción del polvo ó del lodo, cuando tiene este una consistencia regular; pero no si está muy duro ó muy líquido; en este último caso puede sustituirse la máquina de escobas. También se empleó esta rastra para quitar la nieve cuando tenía poca altura. Este aparato se hace actuar transversalmente al camino, dejando amontonado en los costados el polvo ó lodo.

Otra escoba mecánica empleada también es la representada de dimensiones análogas á la de rastras de las figs. 126 y 127; está compuesta de dos aros de hierro colocados uno encima del otro, separados entre sí 7 centímetros; y su forma es de dos cuartos de círculo unidos por una recta; estos aros sujetan 10 escobas muy próximas entre sí; todo está dispuesto detrás de una carretilla que el operario dirige con las dos varas ó brazos, como las carretillas comunes. Del mismo modo que se indicó para las rastras, se pueden levantar las varas y ruedas cargando así el peso sobre las escobas, y bajando aquellas que

Otra escoba
mecánica.

otra
escoba
mecánica

dan suspendidas las escobas dejando amontonado el polvo ó lodo. Puede acortarse ó alargarse las escobas y reponerse cuando sea necesario; para esto van sujetas por medio de puntas de hierro colocadas en los aros, y abrazadas por collares de hierro *dobles*, que pueden aproximarse ó apartarse por medio de ros-cas y tuercas; se ponen hebillas para sujetar las correas que se pasan por los hombros del operario. Todo el aparato es de hierro excepto los brazos. Pesa 20 kilogramos sin las escobas; pero hay que cargarlas mas cuando el barro es algo espeso.

El trabajo con estas máquinas parece salir un 25 por 100 mas económico que el efectuado con la rastra de mano.

Otra carretilla barridora.

Otra carretilla barridora empleada con buen éxito está representada en las figs. 128, 129 y 130. Consta de dos tablas de un metro de longitud y 48 centímetros de ancho unidas por tres pernos, con cabeza por un extremo y rosca y tuercas por el otro. Estas tablas son las que sujetan las escobas; tiene dos brazos dispuestos como en las carretillas comunes. Puede limpiar el camino en una anchura de un metro á la vez. Para emplearla, el peón la dirige perpendicularmente al camino y coloca las tablas, según sea su fuerza y estatura, más ó menos próxima á la rueda, apoyándose convenientemente en el extremo de los brazos, según quiera conseguir más ó menos efecto en el barrido. Puede un peón barrer 800 metros de longitud de firme en un día.

Rastra de Olivier.

Las figs. 131 y 132 representan una rastra construida por Olivier en 1839, análoga á otras empleadas en Inglaterra. Un operario verificaba con ella próximamente tres ó cuatro veces el trabajo verificado con la rastra de manos.

Carro de desenlazar de Chardot.

El carro para desenlazar de Chardot, que se emplea hace 12 años en algunos departamentos de Francia, está compuesto de rastras que funcionan independientemente unas de otras, para aplicarse mejor de este modo á todas las ondulaciones del camino.

Las figs. 133, 134, 135 y 136 representan este aparato; *RR* son las rastras colocadas unas á continuación de otras recubriéndose sucesivamente sobre una cuarta parte de su ancho; de este modo presentan una línea continua de 30 rastras; por esta disposición se consigue también que el barro no pueda fluir por las juntas.

BB (Fig. 134 y 135) son brazos de palanca que se cruzan; están sostenidos por un extremo con ejes horizontales *aa* (Figura 134) empotrados en la pieza de madera *cc*, en los cuales pueden girar. En el otro extremo, después de atravesar las rastras, terminan en una cabeza de madera *b* (Fig. 136) destinada á impedir que se levante la rastra cuando conduce el lodo.

La pieza de madera *cc* en la cual están fijados todos los ejes de las rastras, está bien sujeta á la parte inferior de un carro de dos ruedas, formando un ángulo de 30° con su eje; además está sostenida en su frente por un rodillo de fundición *D* (Figura 135 y 134), que puede girar al rededor del eje vertical *dd* (Fig. 133), según las resistencias que se encuentren en el camino.

La travesía de madera *EE* (Figs. 133 y 134) está colocada sobre el brazo de palanca *B* paralelamente á la línea de rastras, para poder levantar estas cuando no se quiera funcionar. La maniobra se efectúa por medio de las cadenas *FF*, *F'F'* (Figuras 133 y 134), las que fijadas por un extremo inferior á la travesía *EE*, pasan por las poleas *GG* y se arriollan al árbol de un cabestante colocado en la parte superior del carro. El cabestante le mueve el operario, el cual va durante la marcha en un asiento colocado al lado derecho en la prolongación del bastidor. Para que cese de funcionar el carro, el operario maneja el cabestante por medio de una rueda horizontal (Figs. 137 y 138), que sirve de manibela, para lo que hay al extremo de sus radios manijas *m m m*. El husillo *f* colocado en un agujero de los del segmento inferior *SS* retiene la manibela, sostiene las rastras y puede cerrar á voluntad la pieza *T*.

Si al contrario, para que funcione la máquina se quita el husillo *f*, se afloja *T* y caen las rastras. La resistencia de los

cuérpos sobre que obra la línea de rastras se descomponen en dos fuerzas, una normal á ellas y otra paralela que arrastra el barro y esta es proporcional al seno del ángulo que forma la línea de rastras con el eje del carro: así cuanto menor sea este ángulo, mas pronto será arrastrado el lodo al costado; pero por no dar una forma embarazosa al aparato, se ha adoptado la inclinacion de 50° .

Puede desenlodar de ida y vuelta una longitud de 15 kilómetros por dia, siendo en un ancho de 5^m4 , haciendo así el trabajo de 60 operarios.

En 1852 se nombró en Francia una comision de ingenieros para examinar esta máquina, y dar cuenta de los resultados obtenidos con ella. Para su informe tomaron como dato, que para desenlodar por los medios comunes un kilómetro, echando el lodo fuera del camino, se necesita término medio 5,67 jornales de un peon, suponiendo que puede desenlodar 250 metros lineales al dia, ó amontonar y echar el lodo fuera en una longitud de 600 metros; tuvieron tambien en cuenta el gasto de tres caballerías que exige el carro, el jornal del conductor y el de un operario para la maniobra de las rastras; la amortizacion é interés del capital gastado en la compra de la máquina, etc. Resultando por último de su informe que puede obtenerse con esta máquina una economía en la relacion de 2,66 á 1 cuando los materiales son de buena calidad, y de 6,56 á 1 con materiales calizos tiernos, comparando su efecto con los medios comunes empleados.

Indicaba tambien la comision, que cuando haya *bacheos* recientes hechos, no conviene emplear esta máquina, porque los descompondria, y que el modo de transmitir el movimiento á las rastras era poco espedito y debia mejorarse.

Se ha propuesto emplear este aparato para quitar la nieve; pero solo tiene buena aplicacion cuando es de poco espesor, y será mas económico y sencillo emplear en este caso el triángulo de viguetas que se indicó en el lugar correspondiente.

Las figuras 136 y 137 representan en mayor escala el cabezante destinado á elevar los rascadores.

Otra carretilla barredora.

En 1856 se presentó á la sociedad de Fomento de la industria Francesa una carretilla barredora cuya descripción y dibujo se inserta en el boletín que publica dicha sociedad, de setiembre del año referido. Consta de escobas que pueden girar alrededor de su eje verificándose el movimiento de rotación por medio de una rueda dentada que rodea al cubo del carro y una excéntrica. La basura resbala por su plano y cae á un depósito, del cual puede salir por una compuerta. Según experimentos parece barria 2500 á 3000 metros superficiales al día. El carretón puede ser de brazos para un operario ó para caballerías y al extremo tiene el bastidor una armazón que lleva un par de ruedas pequeñas.

No se dá descripción mas detallada pues creemos suficiente las ya descritas y difiere poco de ellas.

Uno de los sistemas de carro de riego empleado en Inglaterra y Francia, consiste en una caja dividida en dos partes iguales por una pared vertical.

Cada una de ellas comunica con el depósito principal por una válvula que se abre ó cierra por medio de una cadena que pasa por dos poleas, y esta se une á una palanca que el conductor del carro puede mover con los pies apoyándolos en pedales.

Cuando se bajan los dos pedales funciona toda la regadera y puede regar una estension de unos 5 metros de ancho, y la mitad cuando solo funciona un solo pedal; tiene tambien agujeros por los costados para regar mas estension.

La capacidad del depósito es de 1847 litros, pudiéndose regar 3523 metros cuadrados; este carro cuesta 3000 rs. próximamente, y le conduce un caballo. La figura 459 representa la seccion longitudinal del carro.

Los carros de cuba con manga de cuero se emplean en España, tienen algunas ventajas por poderse regar á voluntad un ancho mas ó menos considerable.

Los carros contruidos en el distrito de Madrid del sistema de caja indicado, tiene esta 1,^m80 de longitud 1,^m22 ancho y 0,^m73 de altura y capacidad de 1,60 metros cúbicos; exige 185

Carros de riego.

cubos para llenarse y tres caballerías de tiro. Pueden regar 300 metros lineales de carretera de 8 metros de ancho en 40 horas. El coste de cada carro ha sido de cerca de 8000 rs. con adición de manga y enchafes para regar arbolados; y el atalage para las tres caballerías.

TERCERA SECCION.

GASTOS DE CONSERVACION.

Descomposicion de los gastos de conservacion.

Los gastos que ocasiona la conservacion de una carretera, admitiendo el sistema de conservacion permanente ó el misto, pueden dividirse en varias clases; los unos son los causados por el coste del material que hay que emplear para mantener el firme en buen estado, reparando los baches y rodadas; y para reemplazar el desgaste ó disminucion de su espesor; otros son los relativos á la mano de obra para el empleo de estos materiales y para las demas operaciones que exige el firme y que se han indicado al hablar de la conservacion; los ocasionados por la mano de obra para conservar las obras de tierra, que tambien se indicaron, y por último los gastos generales de vigilancia ó sean los sueldos de capataces, sobrestantes y demas empleados en este servicio.

El material que se gasta en reponer el grueso del firme y reparar las desigualdades que se producen en la superficie, depende directamente de la circulacion en union con la naturaleza de esta y demas causas que se indicarán luego.

Desgaste del firme

La cantidad que disminuye el grueso de un firme por efecto de la circulacion, es un dato importante para resolver varias cuestiones económicas relativas á las carreteras.

Los firmes no se desgastan uniformemente, pues no es posible que la circulacion actue del mismo modo sobre todos los

puntos; influye tambien la calidad de los materiales y causas atmosféricas, estando conformes las opiniones en que el desgaste es mayor en invierno que en las estaciones secas.

El desgaste se da á conocer por los detritus que se forman en la superficie del firme; y ocasionan el polvo y lodo producidos por el rozamiento y choques de las ruedas y los pies de los animales y personas; y puede decirse que estos detritus miden la *fatiga* ó *trabajo* del firme.

El desgaste de un firme se supone generalmente proporcional á la circulacion; ó frecuentacion de carruajes; pero esto no puede tomarse en sentido absoluto pues el peso útil arrastrado es distinto segun la clase de caballerías, disposición de tiro, clase de animales, etc. Varía tambien el desgaste con el clima; clase de material y posición del camino.

La cantidad de material desgastado por unidad de longitud del firme no puede establecerse exactamente; de un modo general pues los experimentos hechos por varios ingenieros dan distintos resultados, como es natural, segun la calidad del material, carga de los carruajes y estaciones.

Se han dado diversos resultados relativos á la cantidad desgastada en un firme; bien sea expresándola por la pérdida de espesor ó grueso, ó por el volumen de detritus y su equivalencia en piedra.

Cantidad de desgaste.

Segun el ingeniero Muntz, en un firme de granito, el desgaste que resultaba anualmente por cada kilómetro de carretera y cada coltera de tiro (1) de frecuentacion diaria, ó era de 0,28 metros cúbicos en la piedra granito y 0,21 en la caliza.

Berthault Ducreux ha verificado tambien experimentos, de los cuales deduce 1,4 centímetros para la disminucion de espesor ó grueso de un firme por año y 100 colteras de frecuentacion diaria, lo cual equivale á 150 metros cúbicos de detritus.

(1) Véase la nota al fin de esta seccion.

tus á 82 metros cúbicos de piedra machacada por tonelada y legua francesa.

También se ha valuado por este ingeniero la equivalencia de una capa de lodo ó polvo formado en el firme, relativamente á la cantidad de piedra que la ha producido, deduciendo de sus observaciones que una capa de lodo algo consistente, de un milímetro de espesor, 5 metros de ancho y 4000 metros de longitud, indica un desgaste de 28 á 29 metros cúbicos de piedra. Una capa de polvo de las mismas dimensiones representa 16 metros cúbicos de piedra. Un metro cúbico de lodo consistente representa cerca de un metro cúbico de piedra. Un metro cúbico de polvo, algo más de medio metro cúbico de piedra desgastada.

La circulación ó frecuentación de 50 colleras en 24 horas, desgasta anualmente unos 45 metros cúbicos de piedra por kilómetro de longitud de carretera, distribuidos en un ancho de 5 á 4 metros y representa un espesor de 5 milímetros de desgaste de firme.

El ingeniero Dupuit, según experimentos de dos años verificados en siete carreteras, asigna un desgaste de 50 á 55 metros cúbicos por cada kilómetro y por 100 colleras de frecuentación diaria, contando por una tercera parte de las colleras cargadas las que tiran barro sin carga, y siendo los materiales silíceos de buena calidad y estando las carreteras en buen estado.

Gayffier asigna 30 metros cúbicos de material por kilómetro y 100 colleras de frecuentación, cuando la piedra es cuarzo.

El ingeniero Jordan deduce de sus observaciones 47,53 metros cúbicos por kilómetro y 100 colleras de frecuentación diaria, en un firme compuesto de caliza de mediana dureza, por lo cual juzga que puede admitirse 50 metros cúbicos.

En los documentos oficiales de la administración francesa relativos á la distribución de consignaciones correspondientes á 1850, se asignan 40 metros cúbicos de desgaste anual por kilómetro y 100 colleras, contando los carruajes vacíos por una cuarta parte de los cargados.

El ingeniero Vallés, ya citado, segun observaciones hechas en 800 kilómetros de carreteras que se debe considerar el desgaste del firme como proporcional á la circulacion. El consumo de material que vió se verificaba por el desgaste anual fué, de 18,4 á 57,6 metros cúbicos por kilómetro y 100 colleras diarias, siendo piedra de mediana dureza y 12 á 15 metros cúbicos siendo neix.

Estos datos y otros que indican algunos ingenieros, hacen ver la diferencia de resultados obtenidos, lo cual es causa de que no pueda establecerse de antemano cuál será la cantidad de materiales que se desgastará en un firme dado, pues depende de muchas causas como se indicó antes, y tambien del sistema que se haya empleado para averiguar el desgaste. Estos resultados podrán servir para una apreciacion aproximada en circunstancias análogas, pues para obtenerlos mas exactamente habrán de verificarse esperimentos directos.

Segun hemos indicado antes, se han seguido diversos métodos para valuar el desgaste de un firme, ya midiendo la disminucion de su espesor en épocas determinadas y para cierta frecuentacion, ya por la cantidad de los detritus formados, teniendo en cuenta la circulacion, carga, etc.; pero en ambos métodos se encuentran grandes dificultades. Vamos á ocuparnos de ellos espresando las ventajas é inconvenientes que presentan, tratando igualmente de las subdivisiones que pueden considerarse en los gastos de conservacion y los medios empleados para su valuacion.

Para medir el desgaste de un firme, ó su *fatiga*, se ha propuesto por algunos ingenieros verificarlo por el número de colleras que transitan; pero es muy inexacto este método, pues no se ejerce una accion proporcional al número de caballerías, y subdividiendo las diferentes clases de carruajes, sus cargas son distintas, distinta la fuerza de los animales de tiro, é igualmente su accion en los diversos casos.

Tambien se han verificado nivelaciones en el firme para medir directamente el desgaste en intervalos determinados, re-

Métodos para medir el desgaste y gasto de material.

firiendo estas nivelaciones á puntos fijos colocados en los costados de aquel. Pero este método, por bien hechas que estén las operaciones, es inexacto, porque pequeños errores pueden representar una cantidad de material, que corresponda al desgaste de muchos años.

El método admitido por Bardonnaut y seguido por otros ingenieros, como el único para hallar el desgaste de un firme, es el de medirle por la cantidad de material desgastado, para lo cual se recogen esmeradamente los detritus, el polvo y lodo por un tiempo dado y en cierta longitud de carretera, dejándolos secar y pesándolos despues, tomando al mismo tiempo nota de la circulación que se ha verificado en este tiempo. Estos experimentos son delicados y es necesario tener la precaucion de hacerlos en distintos trozos de carretera, con distintos materiales, lejos de poblacion, llevando cuenta de los materiales empleados en conservacion, su peso, composicion y ancho del firme, dias de lluvia, etc.

El ingeniero Gasparin en una Memoria sobre los gastos de conservación de las carreteras inserta en los *Anales de puentes y calzadas de 1853* (4), hace ver que este método vendria á ser impracticable en los paises espuestos á vientos ó lluvias fuertes y en las pendientes grandes.

Ademas, aun suponiendo que se pudieran recoger casi todos los detritus producidos por el desgaste, é impedir á los carruajes el marchar en verano por los paseos (cuya tierra se adhiere á las llantas y luego cae en el firme), faltaria conocer la transformacion interior de este, la cual representa tambien un trabajo.

Para apreciar la composicion interior del firme cree Gasparin que deben medirse los detritus por cortes ó catas transversales abiertas al principio y al fin de cierto período, teniendo en cuenta el volúmen de los materiales empleados en conservacion, para obtener el conocimiento del desgaste y de la disminucion de material. Este método no está sujeto á error ver-

(4) Fué una de las premiadas aquel año.

ficándolo con precauciones; se necesita practicarlo en tiempo de sequias prolongadas y temperatura próximamente igual, y determinar por un ensayo el agua contenida en los materiales del corte, si hubiese humedad. En la parte de carretera que se experimente, los *cortes* deben hacerse bastante próximos para sacar un término medio, y los hechos al fin del experimento no deben ocupar exactamente el mismo sitio que los primeros, pues sin esta precaucion las modificaciones que se verifican por efecto del *corte* introducirían confusion en los resultados.

Para deducir el trabajo ó fatiga del firme, hay que recordar que se compone de dos partes: primera, del gasto de material reducido á polvo y lodo: segunda, de la disminucion de grueso de los materiales que quedan en el firme. La primera parte se obtendrá determinando el peso del material de los *cortes* al principio y fin de los experimentos, teniendo en cuenta el agua que contengan y el peso del material empleado en la conservacion. La segunda parte es mas difícil de obtener, pero puede hallarse aproximadamente. Para esto se tendrá en cuenta que los cortes abiertos al principio del experimento tendrán cierta cantidad de material que esceda del grueso, por ejemplo, de 2 centímetros de lado; estos cortes ó trozos sometidos á la misma circulacion y conservados del mismo modo, tendrán desgastes diferentes, y la diferencia entre los números que representan el desgaste será una aproximacion del *trabajo ó fatiga*, que corresponde á la *atenuacion* ó disminucion de grueso de los materiales del firme. Cuando se compare la composicion de un corte al principio y al fin de un experimento, la diferencia de composicion indicará una diferencia de *fatiga* correspondiente á la diferencia de desgaste que se haya observado para dos *cortes*.

Representando por 1, 2, 3, etc., los cortes; por *a, b, c, d, e*, el desgaste durante los experimentos; por P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 , el peso del material sólido (que esceda de 2 centímetros de lado); por p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 los pesos indicados, al fin del experimento;

$c + (b - e)$ será la fatiga ó trabajo de la parte de carretera correspondiente al corte ó trozo núm. 3, si se tiene $P_3 - p_3 = P_2 - p_2$.

:

Pero hay en este método la dificultad de tener conocimiento exacto del volúmen de material empleado en puntos limitados de la carretera. Esta dificultad no tiene gran influencia en la determinación del desgaste, cuando se trata de una carretera bien conservada, pues dos cortes próximos presentarán al principio y fin del experimento las mismas diferencias de volúmen. Pero respecto de la cantidad de material sólido puede haber grandes variaciones por causas accidentales, y producirse errores por esta causa.

Esta dificultad se salva cuando se emplea el sistema misto, ó de recargos periódicos cilindrados hechos cuando se ha desgastado cierta cantidad el firme, pues se sabe en este caso el material que ha entrado por kilómetro y el tiempo que ha tardado para reducirse un décimo, por ejemplo, ó sea la duración y el material gastado en bachear en la conservación permanente en este tiempo: así se tiene el total volúmen de material y el espesor de firme que representa el desgaste. Es fácil de determinar también al principio del experimento la cantidad de material sólido ó que excede de 2 centímetros de lado.

Si se quiere comparar la parte experimentada con otro trozo de carretera de la misma clase de material, pero de diferente composición interior, bastará, después de examinar la cantidad de material sólido que contiene, verificar el mismo experimento, conservar unida la superficie y dejarla desgastar hasta el mismo espesor medio. Si la cantidad de material empleado en mantener unida la superficie ó en conservación permanente, es la misma, la sola relación de los tiempos invertidos en desgastar el mismo grueso, será la del valor de ambos firmes.

Hay otro medio de comparación: cuando permanece constante durante el experimento la composición del firme que se quiera comparar, basta mantenerle al mismo nivel por medio de la conservación durante cierto número de años, y concluir el consumo anual de material.

Siguiendo este método, deduce el ingeniero Graeff en una nota inserta en los *Anales de 1851*, que en un trozo de carretera sin cilindrar se habían gastado 260 metros cúbicos de pie-

dra por año, cuando en otro cilindrado solo habia sido este gasto de 158,90.

Hace observar Gasparin la atención que reclaman estas observaciones; en el caso citado de la comparacion de dos firmes no debe olvidarse que en uno de ellos, el desgaste se ha formado á espensas de los materiales sólidos, mientras que en el otro proviene en parte del detritus que se ha empleado en el cilindrado. Por ejemplo, de los 158,90 metros cúbicos de desgaste anual de la carretera cilindrada, quitando 25 empleados en la conservacion, quedan 133,90 que se han consolidado por medio de 40 metros cúbicos de detritus, de modo que el desgaste total es de 199 y la relacion del valor del firme sin cilindrar y el que consideramos es de $\frac{199}{260}$.

Suponiendo que el firme sin cilindrar contenga 0,52 metros cúbicos de materiales que escedan de 2 centímetros, término medio, que toma Gasparin para las carreteras de Francia, y el cilindrado 0,90, para esta diferencia de 0,38 en la composicion del firme, el desgaste aumenta 62 (1) metros cúbicos, y se deduce que la diferencia de composicion del firme puede aumentar el desgaste un tercio en una carretera con las mismas condiciones de materiales y circulacion.

Gasparin dice que cuando quiera determinarse la resistencia de un firme al desgaste, habrá que tener en cuenta la composicion de él, ó sea el grado de atenuacion ó disminucion del volúmen de los materiales que contenga.

Recapitulando las circunstancias que hay que tener presentes para calcular el desgaste de un firme, se ve que la circulacion no es elemento fijo, pues para serlo habria que tener en cuenta las cargas. La fatiga ó desgaste crece mas rápidamente que las cargas para la misma calidad del material, y esta no puede entrar como elemento fijo para determinar la fatiga ó

(1) Esta cantidad se deduce del material gastado en la conservacion, la cual se indica en la memoria.

desgaste de un firme, pues para la misma calidad el desgaste varia segun el grado de atenuacion del material.

No siempre la diferencia de composicion de los firmes al principio y fin de la esperiencia será toda debida á la circulacion ó falta de cuidado de conservacion, sino tambien á la descomposicion por causas atmosféricas; el desgaste variará con el clima, y el resultado que se obtenga solo podrá servir con regular aproximacion, para calcular aquel en la misma carriera en que se verifique el experimento.

Se debe apreciar la cantidad de materiales desgastados por el peso, y no por su volúmen, en razon á las variaciones que experimentan los huecos que hay entre las piedras, cuando se emplean, y á la densidad que adquiera el firme despues (1).

Gasparin establece la fórmula que liga las condiciones de desgaste ya enunciadas, que es:

$$u = P + p - P' + A(w - w'),$$

u desgaste; P peso del corte al principio de la esperiencia; P' peso del mismo al fin; p peso del material desgastado durante

(1) Gasparin critica el modo de valuar el desgaste indicado en la circular del ministerio de Obras públicas de Francia de 1850, y tambien el de la mano de obra para el empleo de materiales, que se ha fijado en dos jornales por metro cúbico de material, pues influye en este el tiempo perdido, la longitud del trozo que tiene el peon á su cargo, las interrupciones de trabajo, etc. Tampoco la mano de obra total, que se aprecia en dicha circular en 40 jornales por kilómetro, no está justificada, pues varia con el ancho del camino, clima, longitud de trozo, etc.

Critica la Memoria de Dupuit sobre gastos de conservacion y la apreciacion de estos por Graeff de 1851, por haber tomado los datos de la circular referida.

Dupuit tambien contesta á su vez, en los anales de 1855 y hace cargos á Gasparin por haberse este apoyado en experimentos de Bardonnaut, de lo cual resulta sestuplicar el desgaste cuando solo triplicaba el número de colleras. Insiste en que el desgaste es proporcional á la circulacion y en que la fórmula presentada por Gasparin difiere muy poco en principio de la suya; insistiendo por último, en los principios que espuso en 1852 y en los de la circular de la administracion francesa de 1839 relativos á la conservacion de carreteras.

el experimento; w peso de los fragmentos que pasan de 2 centímetros al principio del experimento; w' , al fin; A diferencia de desgaste, en peso, correspondiente á la unidad de diferencia en la proporción de materiales que pasan de 2 centímetros, que contiene el firme.

$P+p-P'$ será la disminución en peso del firme.

$A(w-w')$ la disminución de resistencia.

Si x es el precio de la piedra machacada, u el cubo medio de material correspondiente al peso que representa la fatiga anual de un kilómetro, ux será el gasto por kilómetro.

La valuación de la mano de obra que corresponde al desgaste, puede descomponerse en una cantidad constante relativa á la carga de las carretillas para estracción del detritus fuera de la carretera, etc., y otras variables, en razon de la superficie en que ha de emplearse un metro cúbico de material y que se componen de la conduccion ó maniobra de la carretilla, una parte de la estracción de detritus, etc.

Mano
de obra que
corresponde
al desgaste.

Por los experimentos de Bardonnaud, Dupuit, Dumas y Berthault se ve, que el quitar una capa de 1 á 2 centímetros de polvo ó lodo, cuesta casi lo mismo que quitarla cuando tiene de 2 á 4. El tiempo gastado en el empleo de un metro cúbico de material, varia con el cuidado ó esmero en verificarle, pues Dumas, que es el que ha llevado mas al extremo esta circunstancia, llegó á invertir mas de cinco jornales por metro cúbico. Dupuit en una carretera, cuyo desgaste era de 126 metros cúbicos por kilómetro y año, valuaba este tiempo en jornal y medio.

La mano de obra varia independientemente de la circulación, con el clima, ancho del firme y perfil longitudinal: tomando los resultados obtenidos por varios ingenieros, deduce Gasparin

$$p'n (0,92 u + 41,67)$$

para el gasto correspondiente á la mano de obra por año relativa al desgaste de un firme por un kilómetro; p' es el jornal

del peon caminero, n la mano de obra por metro cúbico, u el desgaste por kilómetro, cuyo mínimo fija en 25 metros cúbicos por año y en 300 el máximo.

Mano de obra en los accesos del firme.

Para obtener los demas gastos examina la pérdida de tiempo del peon en llegar hasta el punto en que esté el trabajo, y suponiendo que tiene que andar diariamente 36 kilómetros, deduce 8,35 jornales anuales por este concepto,

Los trabajos que tiene que efectuar el peon de recorrido de obras de tierra, limpia de nieves, etc., varia con las diversas circunstancias de posicion, trazado, etc., y es independiente de la circulacion. Si se designa por l la longitud en kilómetros que tiene que andar el peon diariamente, y son 300 los dias de jornal anuales, deduce para el gasto de mano de obra de las obras accesorias, $p' \frac{300}{l}$.

Gastos de vigilancia.

Los gastos de vigilancia son variables con la longitud del trozo, y se componen de una parte constante, que depende de la longitud que tiene que visitar el capataz, la cual no debe esceder de un dia de marcha, y otra parte variable de la longitud de carretera, que el capataz tenga á su cargo. La fórmula que da este gasto de vigilancia es

$$p' [13,50 + \frac{25}{l} + n(0,08u + 3,40)]$$

y el gasto total

$$G = xu + p' [13,50 + \frac{325}{l} + n(u + 45)].$$

Deduce tambien los límites del gasto, que varian en la relacion de 1 á 26, aun en las circunstancias mas desfavorables y no en la de 1 á 150, 1 á 100 ó 1 á 40, que establece Dupuit.

En la Memoria á que nos referimos se deduce cuál ha de ser la distribucion general de los fondos de conservacion de carretera, según el desgaste, ancho del firme, longitud de tro-

zos, etc., que será útil consultar, por aquellos que tengan que ocuparse de esta parte del servicio de obras públicas.

Se volverá á tratar de esto en la seccion correspondiente á la organizacion del servicio de carreteras.

Las observaciones para deducir el desgaste deben verificarse en gran estension de carretera y no en puntos aislados.

Los gastos de conservacion de las carreteras varian de un punto á otro y por las diversas circunstancias que pueden tener lugar, segun se ha visto anteriormente. Para deducir un término medio algo exacto, era necesario tener la estadística, exacta tambien, de los gastos de las carreteras que pudiesen considerarse en estado de *conservacion normal*, ó sea en buen estado de viabilidad. No es posible obtener estos en España, como no sea en algunos casos particulares porque no se encuentran la mayor parte de sus carreteras en este caso; sin embargo; teniendo en cuenta el valor de los jornales y material, creemos que el valor de 12,000 rs. por legua y por año para mantenerlas en buen estado, es un término medio que podrá adoptarse para el gasto total de conservacion, suponiendo que estuviesen ya en estado normal. En Francia sale de 12 á 14,000 reales por legua española. Se entiende esta cantidad, tomado el conjunto total de carreteras.

Gasto total
de conser-
vacion.

En la carretera de Francia, provincia de Guipúzcoa, en buen estado salia todo gasto de conservacion (revista de Obras públicas 1855) á 9675 que puede considerarse como un mínimo en carretera general.

La oportunidad de las consignaciones para atender á la conservacion de las carreteras, es una circunstancia que debe tenerse muy en cuenta por la administracion, porque de no verificarlo de este modo, los deterioros son cada vez mas sensibles, los gastos despues mas considerables y los perjuicios causados al público incalculables. Por esta razon, los distritos deberían saber con tiempo de qué consignacion pueden disponer, verificar los gastos segun las necesidades de cada carretera y en las épocas que los ingenieros conociesen era oportuno verifi-

carlo. De otro modo sucede, que se piden á los distritos presupuestos de los gastos que exigen las carreteras, por ejemplo para material destinado al firme; en el caso de haber fondos se consignan, pasando mas ó menos tiempo en la tramitacion; se procede á las subastas en el tiempo marcado para la licitacion; si se verifica esta, pasa á la aprobacion superior y aprobada se procede á los acopios, machaqueos, etc. Con frecuencia sucede, que en todos estos trámites se obtienen los materiales para el firme en estacion inoportuna para emplearlos, y hay necesidad de esperar algunos meses para verificarlo; el resultado viene á ser; por último, el que la carretera exija ya en este caso mayores gastos que los que se presupuestaron al principio.

NOTA. En la circular pasada por el gobierno francés á los departamentos en 1844, relativa al censo de circulacion, se dice: «El nombre de *collera* (*collier*) se aplicará indistintamente á todo animal de tiro tanto á las mulas, machos y bueyes como á los caballos; un par de bueyes se contarán por dos colleras.

La circular pasada en 1851 con el mismo objeto dice así: La gran desigualdad que existe entre la fuerza de los diversos animales de tiro, impide el aplicar indistintamente el nombre de collera; se deberá en general no contar las mulas, los machos y los bueyes sino por su fuerza real tomando el caballo por unidad: así es que en ciertos departamentos un par de bueyes no se cuenta sino por una collera, pero como por otra parte es necesario que el número real de colleras de fuerza igual figure en el censo de cada departamento, no se hará abstracion de las caballerías de refuerzo á no ser teniendo en cuenta su número y la distancia que andan, en el cálculo del peso medio asignado á una collera.

Se tomará en general por collera una caballería mayor arrastrando un carro á toda carga; $\frac{1}{3}$ de collera cuando arrastre una diligencia ó un carro vacío; $\frac{1}{4}$ tirando de un coche; $\frac{1}{3}$ cargada á lomo; $\frac{1}{6}$ suelto y sin carga.

Segun Berthault Ducreux en su tratado *Arte de Conservar las Carreteras*; una collera cargada arrastra 1000 kilogramos marchando al paso y sin contar la parte correspondiente del peso del carro que es 150 kilogramos. Si se toman las carretas tiradas por bueyes, que conducen harinas en Castilla (segun se espresa en una memoria del Ingeniero Señor Orense, inserta en la revista de obras públicas de 1856) como tipo corresponden 843 kilogramos por collera ó sea para cada buey de los del tiro. La carreta pesa 460 kilogramos y la carga 2020 kilogramos.

CUARTA SECCION.

EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS CARRUAJES Y CABALLERIAS SOBRE LOS FIRMES Y SU INFLUENCIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PORTAZGOS.

Examinados los sistemas de construccion y conservacion de carreteras, creemos interesante analizar la influencia que el tránsito puede ejercer sobre ellas y las consecuencias que se han deducido en su vista relativamente al establecimiento de portazgos. Se verá las grandes dificultades que presenta el establecer derechos equitativos en compensacion de los daños causados por la circulacion en las carreteras, en razon á la imposibilidad de apreciar la influencia de cada motor ó de su combinacion en el tiro, de las cargas, del estado ó construccion de los carruajes, naturaleza del firme, etc.

Observaciones sobre las cuestiones que han de tratarse.

Indicaremos primeramente las observaciones y experimentos de Mr. Morin, sobre los efectos producidos por los carruajes en los firmes, estractando despues las investigaciones de Courtois, fundadas en parté en las de Lowel; Edwort, Schwilgné y Morin; daremos á conocer tambien las opiniones de Dupuit y Berthault Ducreux sobre las influencias de los carruajes y caballerías en los firmes, y por último estractaremos el informe de la comision nombrada en Francia en 1849, relativo á la policía de circulacion, y las conclusiones á que dan lugar las distintas circunstancias que hay que considerar en estas cuestiones.

Al tratar Mr. Morin de los experimentos verificados por él relativamente al tiro ejercido por las caballerías en diversos casos, analiza del modo siguiente los efectos observados:

Experimentos de Morin

Influencia
del diámetro
de las
ruedas.

Las ruedas de gran diámetro disminuyen la fuerza de tiro que han de ejercer los animales que arrastran los carruajes, y por consiguiente, deben causar menos desagregación en los materiales del firme, que cuando se emplean ruedas de pequeño diámetro. Los experimentos verificados en ruedas de 0^m872 de diámetro, de 1^m453 y 2^m029, y cargadas con pesos iguales, lo han comprobado dando por resultado mayores degradaciones en el carril que formaban las de diámetros menores.

Influencia
del ancho de
las llantas y
cargas.

Los experimentos verificados con carruajes iguales en todo, menos en el ancho de las llantas y en las cargas, dieron á conocer, que la proporcionalidad en las cargas y el ancho referido es mas bien desfavorable que conveniente para los firmes. Los mismos carruajes cargados con pesos iguales, cuando sus llantas tenían 0^m060 de ancho produjeron degradaciones mayores que las de 0^m115, pero escediendo de este ancho no ofrecían apenas ventajas respecto de sus efectos. Cuando los carruajes transitan por firmes consolidados y duros y se disminuye el ancho de las llantas, aumenta la fuerza de tiro, pero en corta cantidad, deduciéndose de aquí, que cuando existen dos cargas capaces de producir degradaciones iguales, no crecen estas proporcionalmente al ancho referido.

Influencia
de la velo-
cidad

Las resistencias que tienen que vencer los animales de tiro arrastrando cargas dadas, crecen con la velocidad; así cuando marchan aquellos al trote deberán producir mayores deterioros en una carretera, que cuando lo verifican al paso. Estos efectos pueden compensarse en gran parte montando los carruajes sobre muelles. Para determinar la influencia de la velocidad empleó Morin dos carruajes, uno suspendido en muelles y otro de suspensión fija, poniendo primero una carga de 6000 kilogramos, y cuando el camino estuvo ya en mal estado de 5000 kilogramos. El primer carruaje marchó al trote con la velocidad de 11 á 13 kilómetros por hora, y el segundo al paso á razón de 3,6 á 4,6 kilómetros; las degradaciones en ambos casos fueron casi las mismas.

Los experimentos comparativos verificados con cuatro clases de carruajes, con el objeto de ver si los carros tirados por una sola caballería y con llantas estrechas degradaban mas las carreteras, que los grandes carros de transporte de ruedas con llantas anchas, dieron á conocer era ventajoso el fraccionamiento de las cargas, pues de este modo se degrada menos el firme. Fundado en el anterior resultado opinaba Morin, que convenia limitar las cargas de los carros de transporte á 3,500 kilogramos sobre cada juego de ruedas, considerando como una carga excesiva la que llega á 150 kilogramos por centimetro del ancho de la llanta.

Los experimentos anteriores se verificaron haciendo marchar los carruajes por una misma huella, y procurando mantener el firme en el mismo estado de humedad.

Courtois explica del modo siguiente las acciones recíprocas de los carruajes y caballerías en los firmes.

Investigaciones de Courtois.

La accion del acarreo depende del estado del firme, de los carruajes y de los tiros ó troncos enganchados en ellos. En los firmes lisos y resistentes las ruedas marchan sin hundirse ni chocar; cuando los firmes están en mal estado ó la superficie es desigual, una parte de la fuerza viva se destruye, crece la intensidad del tiro y hay pérdida de esta fuerza en vencer los obstáculos que presentan los baches. Para las consideraciones que siguen se supone un firme bien conservado y con la superficie unida.

Accion de los carruajes.

La accion de un carruaje puede considerarse como reducido al de sus ruedas y depende de las cargas y de la forma y movimiento de aquellas. El peso ó carga es el que produce mas efecto cuando escede cierto límite; despues sigue el que depende de la forma de las ruedas y principalmente de las llantas; y en fin; el desgaste inevitable, pero lento, de la capa superior del firme debido á la *rodadura*.

Las tres clases de accion que puede ejercer un carruaje en el firme, que son el hundimiento del material, su trituracion ó

aplastamiento y el desgaste, pueden distinguirse en degradaciones, deterioro y desgaste.

Los dos primeros efectos pueden modificarse; para reducir el primero basta fijar límites á las cargas en relacion con la resistencia del material del firme, y en ciertas épocas del año, modificar la circulacion. El segundo efecto se atenuaria estableciendo cierta relacion entre el ancho de las llantas y los pesos autorizados para distribuir la presion sobre mayor superficie. El tercer efecto, cuando solo resulta del movimiento no podria modificarse; pero crecerá considerablemente si aumentan las desigualdades del firme, ó sean los dos primeros efectos.

Si en la estacion en que los elementos de la capa superior del firme están desagregados, transita un carro de llantas estrechas y muy cargado, estas hacen oficio de cuña, separan la piedra con facilidad y forman rodadas; este efecto puede evitarse prohibiendo las llantas muy estrechas.

Si las llantas en vez de ser cilíndricas son cónicas, como las de algunos carruajes en Inglaterra, la circunferencia interior de la llanta, que es la de mayor radio, se aplica al firme experimentando solamente el rozamiento de rodadura, mientras que la exterior sufre á la vez el de resbalamiento, y produciendo este último sobre el firme un efecto mas destructor que el primero, aumenta los gastos de conservacion sin ventaja real que pueda compensar el gasto; esto puede evitarse proscribiendo las ruedas cónicas.

Lo indicado explica el mayor desgaste de las ruedas de las mensajerías del lado exterior que del interior.

Del mismo modo que es conveniente estén los firmes lisos é iguales, es tambien el que las llantas no tengan resaltos ni agujeros, porque cada resalto haria que el peso apoyase solo en una piedra por ejemplo y produciria su aplastamiento. Por esto debe obligarse á que remachen los clavos, de modo que cuando sean nuevos no escedan de medio centímetro; prohibir las llantas con rebordes y las compuestas de fajas que dejen mas de un centímetro de huelgo entre sí, obligando á

unir bien los trozos de llanta y que sus juntas sean oblicuas (1).

Siendo el firme compacto y casi plano, las ruedas bien cilíndricas, sus llantas lisas y la carga moderada, solo se producirá un desgaste lento; como el tiro y la presión son independientes de la velocidad, resulta que el desgaste que proviene de la rotación de las ruedas no variará con la velocidad, ó permanecerá sensiblemente constante, cualquiera que sea la rapidez del movimiento, con tal que estén las cajas suspendidas en muelles; estos disminuyen la fuerza del tiro y permiten pasar sobre una piedra ú otro obstáculo poco saliente sin que se eleve el peso y la caja.

Las caballerías enganchadas en los carruajes obran sobre el afirmado por la presión de sus pies cuando van al paso, y además por el choque cuando van al trote ó galope. Si arrastran un carro cargado y van al paso, el choque es muy pequeño y la acción de los pies se reduce á rozar y comprimir la capa superior del firme. Como la presión que puede efectuar el pie de una caballería, produce rara vez un efecto mayor de 400 kilogramos, se concibe que una caballería que marcha sobre un firme, sin inclinar su casco ó pezuña, apenas causará daño. Cuando se apoye en el firme inclinando aquel, como sucede al subir una rampa, y en general cuando ejerce un gran esfuerzo, obra entonces la presión oblicuamente sobre la superficie del firme, desune los elementos de la capa superior y causa daños, que varían según el estado del camino y la mayor frecuentación.

Acción
de las caba-
llerías.

(1) En varias provincias de España es muy frecuente el uso de llantas con clavos de resalto en las ruedas de las carretas; con esta disposición encuentran ciertas ventajas los carreteros para subir las cuestas de las montañas; pero además de lo espuesto por Courtois, los resaltos al girar las ruedas obran como martillos en el firme, y contribuyen de este modo á su deterioro; por estas causas se ha tratado de desterrar su empleo, recargando los derechos de portazgo cuando las carretas llevan dicha clase de ruedas.

Existe cierta relacion entre el desgaste de las herraduras y el rozamiento. Segun las observaciones del ingeniero inglés Macueil, este desgaste es una sesta parte mayor que el de las llantas del carro á que van enganchadas las caballerías; admitiendo tambien que esta relacion subsiste del mismo modo entre el daño causado en el firme por las ruedas y el causado por los pies de las caballerías, se puede decir que el primer daño es al segundo como 1 á 1,16, ó que la accion de los pies de las caballerías produce un efecto algo mayor que el que resulta del movimiento de las ruedas; por consiguiente sino se tiene en cuenta mas que el daño producido por el movimiento de las ruedas, no se aprecia la mitad del daño causado por el paso del carruaje.

Considerando el tronco de una mensajería, la velocidad no aumentará el desgaste de las llantas debido al movimiento de las ruedas, porque en un firme bien construido el rozamiento de rodadura es independiente de la velocidad y proporcional á la presión; pero los choques producidos por los pies de las caballerías aumentarán el daño de un modo notable.

Segun observaciones del mismo Macueil, únicas sobre este objeto, el desgaste del hierro en las llantas de las ruedas de diligencias, no es mas que un tercio del desgaste de las herraduras de las caballerías de su tiro; en este caso no puede admitirse como en el de las caballerías enganchadas á los carros, que el daño causado en el firme sea proporcional al desgaste de las herraduras, porque respecto de los pies de las caballerías se descompondrá en dos partes; la primera igual al desgaste de las llantas, debe considerarse destinada á vencer la resistencia debida al rozamiento, y la segunda parte doble de la primera es el resultado de los choques, los cuales producen en el firme un daño que crece con la velocidad, en una relacion que varia con la naturaleza de los materiales.

En resumen se puede concluir, que sobre firmes en buen estado, el tronco ó tiro de un carro cargado convenientemente y marchando al paso, produce un daño que parece ser algo ma-

yor que el causado por el movimiento de las ruedas; que el daño causado por las caballerías de tiro de un carruaje que marcha con velocidad, causa un daño triple del que produciría si fuese al paso, y, por último, que cuando una caballería va enganchada á un carruaje y marcha con velocidad, debe atribuirse al choque producido por sus pies, mas de los dos tercios del daño que causa por las demas circunstancias.

Se ve por lo que antecede la influencia que, segun Courtois, pueden tener sobre los firmes de las carreteras, las cargas la forma de las llantas, los pies de las caballerías, las diferentes velocidades con que marchen estas, y las demas circunstancias que presenta el acarreo. Navier creía tambien no ser posible obtener buenos firmes sin la limitacion de las cargas; Boisvillite tambien opinaba que no convenia admitir por cada centímetro de ancho de la rueda y en carruajes al paso una carga que escediese de 100 kilógramos. Morin considera esta carga excesiva cuando asciende á 150 kilógramos por centímetro del ancho de la llanta, y limita á 5000 kilógramos la carga sobre cada par de ruedas.

Resultados de varias opiniones.

Dupuit es uno de los ingenieros que mas se han ocupado de las cuestiones relativas á la conservacion de carreteras, y en sus escritos sobre estas, y fundándose en sus propias esperiencias, hace las siguientes observaciones.

Opinion de Dupuit sobre la industria de transportes.

Dice que esceptuando el caso de ser demasiado estrechas las ruedas, en el cual no pueden aplicarse bien las leyes del rozamiento y del tiro de caballerías, debe dejarse á la industria de transportes el resolver las cuestiones relativas al ancho de las llantas, consultando la estabilidad de los carruajes, y la solidez y duracion de las ruedas. Respecto de su influencia sobre el firme hay que considerar, que desgastándose los bordes de una llanta de 17 centímetros de ancho, por ejemplo, queda reducida á 11 centímetros al cabo de algunos meses, y es ilusoria la ventaja atribuida á las de mayor ancho. Segun sus experimentos el diámetro de las ruedas ejerce mayor influencia en el deterioro de un firme, que el ancho de las llantas.

Es de opinion que lo mas esencial seria el disminuir las cargas, de modo que no escediesen del límite de resistencia del material que se emplee en el firme, y cree que si se impusiese como límite una carga de 4000 kilogramos, los materiales no se desgastarian sino por el rozamiento.

La industria de trasportes tiene interés en aumentar las cargas, pues el tiro permanece proporcional á la presion, y el peso inútil y los gastos de conduccion disminuyen cuando los cargamentos aumentan. Es al contrario de interés para la conservacion de carreteras el fraccionar los cargamentos para obtener presiones absolutas inferiores, como se ha dicho, á la resistencia de los materiales del firme.

El aumento del ancho de la llanta, es un remedio ilusorio del mal causado por el exceso de carga, y es una traba de que se puede sin inconveniente desembarazar á los trasportes, y en recompensa podria bajar aquella á 2000 kilogramos por rueda sin aumentar el precio de la conduccion. Basta exigir un ancho mínimo de rueda y una presion máxima para conciliar el interés de los trasportes y el de las carreteras.

Observaciones de Berthault Ducreux.

Berthault Ducreux se ha ocupado tambien de las diversas influencias que ejercen en el firme las dimensiones de las ruedas, cargas, etc., deduciendo consecuencias relativas á la policía de circulacion de las carreteras; vamos á indicar sus observaciones sobre el particular.

En primer lugar no está conforme con los esperimentos verificados por Dupuit, y cuyos resultados han sido, que tiene mayor influencia el diámetro de las ruedas, que el ancho de las llantas en el deterioro de un firme. Tampoco está conforme con el modo de verificar los esperimentos de Morin.

Partidario Berthault Ducreux de la circulacion por las carreteras sin que haya trabas de ninguna especie, cree que si no se impusiese límites á las cargas, no por eso se adoptarían grandes por el tráfico, pudiendo admitirse que no cargarían mas los carruajes que 200 á 210 kilogramos de peso por zona de un centimetro de ancho de la llanta, pues de lo contrario se

desgastarian estas demasiado. Las llantas anchas dice que aunque desgastasen mas el firme, sin embargo, hacen por otra parte buen servicio, y la adopcion de llantas de forma curva, aunque aumentasen algo los gastos de conservacion, podrian tener ventajas para los trasportes.

El contacto real de las llantas sobre el firme depende en general del grado de compresibilidad de este, del ancho de aquellas y del peso del carruaje; ademas de esto varia tambien la carga por unidad de contacto por varias causas, pues no siempre se apoyan las llantas por todo su ancho, sino que generalmente tienen la tendencia á verificarlo mas por su canto exterior.

La cifra total de colleras que transitan por una carretera, dice Ducreux, no da idea alguna de su fatiga ó desgaste, pues este es debido esclusivamente al peso de las cargas. Ni la cifra de circulacion, ni la cantidad de materiales empleados anualmente puede dar á conocer las necesidades reales del firme; el único medio exacto de averiguar las degradaciones y los gastos necesarios, es el de recoger y medir con cuidado los detritus en sitios convenientes, y deducir de esto cuanto material se desgasta por kilómetro. La fuerza de tiro es sumamente variable, pues depende no solo de la naturaleza de los animales, de su complexion, etc., sino de la union de los materiales del afirmado, de las pendientes ó sea del trazado, del estado mas ó menos desigual de la superficie del suelo, de su compresibilidad, del polvo ó lodo que contenga, de la adherencia mas ó menos considerable de la costra del firme con las llantas, y de otras causas (1). Por consiguiente, toda medida fundada en la cifra de frecuentacion para deducir los efectos producidos, no dará resultados exactos ni será equitativa.

El número de animales de tiro no dá tampoco idea exacta

(1) La resistencia debida al estado de union del material es de $\frac{1}{23}$ á $\frac{1}{25}$ de la carga; la fuerza de tiro es generalmente proporcional á las pendientes; las resistencias debidas al estado mas ó menos desigual, puede variar muchísimo; se toma desde $\frac{1}{4}$ á $\frac{1}{30}$ de la carga; la compresibilidad puede hacer duplicar ó mas la fuerza de tiro.

de las cargas de los carruajes, en razon al diferente esfuerzo que ejercen aquellos segun su edad, complexion, estado de salud, etc.

Dictámen de
la comision
francesa.

La comision nombrada en Francia para formar el reglamento de policia de acarreo en 1849, discutió ampliamente sobre las ventajas é inconvenientes de la libre circulacion para las carreteras (1).

La minoría queria conservar los puentes básculas en los portazgos ó la limitacion de cargas, haciendo ver que si se establecia la libertad de estas manteniendo la limitacion de caballerías de tiro, se tenia el grave inconveniente de hacer una ley injusta para las provincias en que los caballos fueran de poca fuerza y no se podia tampoco prever las eventualidades que hacen variar la fuerza de tiro. Así un carruaje con 4 á 5 caballos malos faltaria á los reglamentos, siendo así que llevaria menos carga que otro que tuviese menos caballerías, pero de gran fuerza. Ademas que no podia admitirse que todos los empleados faltasen á su deber, como se habia supuesto por algunos de la comision, presentando esto como un obstáculo para el establecimiento de los derechos de portazgo segun las cargas.

La mayoría creia no ser mas justa la limitacion de cargas, pues supone que la carga está repartida igualmente sobre las ruedas, lo cual rara vez sucede y era necesario pesar la carga sobre cada rueda, lo cual se habia tambien tratado de efectuar; seria necesario multiplicar estraordinariamente los puentes de báscula para que la disposicion fuese justa. Ademas la supresion de aquellos no haria aumentar escesivamente las cargas, pues no siempre los carruajes van en completa carga y se limita tambien esta por la resistencia de las ruedas y carruajes y el desgaste escesivo de las llantas.

En consecuencia del proyecto presentado por la comision y

(1) Puede verse el estenso informe de Dupuit sobre este proyecto de ley, en los *Anales de puentes y calzadas de 1852*, en el cual analiza las disposiciones que han regido en Francia sobre la policia de acarreo y trata de algunas cuestiones relativas á la conservacion de carreteras.

modificado por el gobierno y las cámaras, se suprimieron en 1851 los puentes de báscula estableciendo libertad de pesos y ancho de llantas. Sin embargo, para la mejor policía de circulación se limitaron al *máximo* de 8 las caballerías de tiro para los carros de dos ó cuatro ruedas, y á seis para las diligencias en los casos comunes; en los casos extraordinarios ó especiales del transporte de grandes piedras ú otros análogos, puede aumentarse el número pidiendo autorización para ello; en los casos de fuertes pendientes señaladas al efecto, en tiempo de nieves ó hielos y cuando hubiese reparaciones en las carreteras, tambien pueden ponerse caballerías de refuerzo. En algunas carreteras se establecen barreras en tiempo de hielos, fijando anuncios para que circulen carruajes con ciertas cargas.

Tambien los reglamentos fijan la limitacion de la salida de las cargas y cubos de los carruajes, la altura de estos, la velocidad en los puentes, y prohiben los clavos de resalto, estableciendo reglas sobre otros puntos relativos al tránsito.

Puede verse por lo espuesto las graves dificultades que ofrece el establecimiento de portazgos sobre bases justas, pues es imposible el establecer derechos proporcionales al daño que causan los carruajes y caballerías que transitan por una carretera. En efecto, no puede tenerse en cuenta la combinacion de causas que contribuyen al deterioro del firme; unas que dependen del estado de este, otras del estado y clase de los carruajes y de las cargas, otras, en fin, de la clase y naturaleza de los animales de tiro y de su número. Así todo lo mas que puede hacerse para el establecimiento de tarifas es verificarlo por tanteos mas ó menos prudentes, pero siempre lejos de la verdadera equidad. En el apéndice puede verse el sistema observado en España para el establecimiento de aranceles de portazgos.

Conclusiones.

QUINTA SECCION.

DESCRIPCION Y EXÁMEN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE AFIRMADOS CONSTRUIDOS EN DIVERSAS CAPIIALES.

Los diversos sistemas de afirmados deben apreciarse por las ventajas económicas que presenten y por las de conveniente viabilidad que proporcionen, y estas circunstancias en donde mejor pueden estudiarse es en las grandes poblaciones, cuyas calles están muy frecuentadas; por eso hemos creído útil el extractar la parte relativa á nuestro objeto de un informe presentado en 1850 al ministro de Obras públicas de Francia, por el inspector de puentes y calzadas Mr. Darcy, relativo á los afirmados de Lóndres y Paris; en este informe se indican, no solo los diferentes sistemas de su construccion sino tambien de su conservacion.

Se extractará igualmente un artículo del ingeniero Baudemoulin, inserto en la *Revista de arquitectura* publicada en Francia en 1854, en el cual se da idea de los afirmados de las principales ciudades de Italia y se analizan tambien las ventajas é inconvenientes de los de Paris.

Afirmados
de Madrid.

Los empedrados de Madrid están á cargo del Ayuntamiento el cual delega á un comisario regidor para este servicio. Y bajo la inspeccion de un arquitecto de la Villa y en la actualidad de un inspector de ingenieros de caminos.

Las superficie empedrada de las calles es de 648,542 metros ó sea cerca de una quinta parte de los de Paris y una décima parte de los de Lóndres.

El movimiento máximo de carruajes en 24 horas y segun las observaciones de 18 dias en la puerta del Sol punto de mayor tránsito es de 4000.

El empedrado de cuñas es el que se ejecuta en Madrid mas

generalmente, con piedra ó pedernal de Vicálvaro ó Vallecas. También se emplean los adoquines de granito. Estos servicios están contratados

Pueden verse mas detalles en la excelente memoria que acerca de los empedrados de Madrid ha publicado en 1857 el ingeniero inspector D. Carlos María de Castro y que se ha insertado en la coleccion de memorias de la Revista de obras públicas del mismo año.

Darcy hace una reseña de la circulacion que tiene lugar por algunas calles de Lóndres y de los sistemas de afirmados ensayados en ellas. La inmensa circulacion, dice, de muchos puntos, pues los hay, como por ejemplo, el puente de Lóndres en el que se calcula 15,000 carruajes diarios, hace necesario, tanto por su número como por su velocidad, que el firme proporcione á las ruedas á la vez un firme resistente y compacto y en el que tambien puedan hacer pie las caballerías: así se han ensayado casi todos los sistemas desde el empedrado de goma elástica, hasta el empedrado de las piedras mas duras, de grandes y pequeñas dimensiones; tambien diversas inclinaciones respecto de las filas ó hiladas de los empedrados y los afirmados de madera; sin embargo no se habia ensayado el bituminoso. En algunas calles se construyeron tambien enlosados que sirviesen de carriles para las ruedas, con el centro afirmado para las caballerías.

Afirmados
de las calles
de Lóndres

El afirmado á la Mac-Adam parece que presentaba mas ventajas para las caballerías, evitando tambien el ruido producido en los empedrados. Esta última circunstancia ha sido la que mas particularmente ha hecho que se tratase de estender su construccion á las calles céntricas, en las cuales es insufrible el ruido y porque á causa de las vibraciones suelen salir de su aplomo los edificios; habiéndose solo limitado á ciertos puntos, en razon al gran gasto que su conservacion ocasiona.

El empedrado tiene algunas ventajas relativas sobre los firmes comunes ó de piedra suelta, siendo una de ellas la salubridad, pues en calles estrechas y muy frecuentadas construi-

das por el último sistema indicado, es casi imposible tenerlas en el estado de limpieza conveniente, lo que no sucede con el empedrado, el cual se puede barrer y regar convenientemente. También tiene ventaja cuando transitan carruajes muy cargados y que marchan lentamente, produciéndose en este caso disminución en la fuerza de tiro.

El primitivo empedrado de cantos rodados se desechó y fué reemplazado por adoquines de granito de 8 á 9 pulgadas inglesas de ancho, 10 á 20 de longitud, y 9 de cola, colocados sobre el terreno natural y rellenadas las juntas con cal y arena. Este sistema tenia el inconveniente de que se hundian ó desplazaban los adoquines por el paso de los carruajes, desgastándose con facilidad; eran resbaladizos y producian tambien mucho ruido, por lo que se abandonó este método, y se trató de estudiar una fundacion ó cimiento mas conveniente.

En el sitio mas concurrido de Lóndres, que es la Cité, se toman muchas precauciones para la construccion del empedrado; el método seguido generalmente es abrir la caja y rellenarla con una capa de piedra de granito machacada; sobre esta se echa una primera capa de arena, se coloca sobre ella los adoquines, se apisonan y despues se echa segun costumbre la segunda generalmente compuesta de $\frac{1}{6}$ á $\frac{1}{7}$ de cal por uno de arena, y luego se cubre con arena gruesa la superficie del firme durante dos ó tres semanas.

En otros sitios menos frecuentados, el método general de construccion es el de abrir 6 á 7 pulgadas inglesas de caja, rellenándola con una especie de hormigen compuesto de dos partes de piedra, uno de arena y $\frac{1}{7}$ á $\frac{1}{8}$ de cal y colocando sobre este el empedrado.

Todas las administraciones locales, á pesar de la independencia con que entre sí obran, han llegado á la conclusion de ser conveniente el dar á los adoquines solamente unas 4 pulgadas inglesas de ancho, 9 de largo y la misma cola próximamente. La ventaja de los adoquines estrechos, parece ser el desgastarse casi uniformemente en vez de ponerse convexos al cabo de algunos años, como sucede á los anchos; ofrecen al mismo

tiempo mas seguridad para las caballerías y producen menos ruido. El empedrado del puente de *Lóndres* se hizo de adoquines de granito de 3 pulgadas de ancho, 8 á 16 de longitud y 9 de cola, reposando sobre un almohadillado de piedra machacada de 18 pulgadas, como el que se indicó anteriormente, y á pesar de la gran circulacion, no se habia renovado al cabo de 8 años; se empleó con preferencia el granito de *Aberdeen* y *Sorrel*, que es una roca anfibólica

Segun el informe de los encargados del empedrado de la *Cité*, podia este durar 50 años reparándose cada 8, y en el resto de la ciudad, cada 14 años.

Se va generalizando el hacer dos arroyos laterales en vez de uno central, tanto para dividir de este modo las aguas, como para evitar la inclinacion de los carruajes á un mismo lado, que puede producir choques, evitando tambien con esta disposicion los regueros transversales.

Para evitar el desgaste lateral de las juntas y el redondeamiento rápido de la superficie, se ideó el colocar las filas del empedrado inclinadas; pero las caballerías no pueden de este modo ejercer un esfuerzo normal al marchar, y cuando resbalan, la junta inclinada que encuentran no es suficiente para retener los pies; ademas se rompen con facilidad los ángulos de los adoquines; por esto se prefiere hacer las hiladas perpendiculares al eje y á juntas encontradas.

No se habia ensayado en gran escala el método seguido en *Milan* de hiladas longitudinales que presentan algunas ventajas para evitar el resbalamiento lateral de las caballerías; pero con la gran circulacion de *Lóndres* se destruiria pronto este sistema.

Relativamente á los precios de los empedrados de *Lóndres*, son variables segun el material que se emplee, pero indicamos á continuacion para que pueda servir de término de comparacion los precios de mano de obra.

Un empedrador gana en Lóndres.	24 rs.
Un ayudante.	15
Un cantero.	23
Un carro de un caballo.	39

Un operario empedra, término medio, 50 metros cuadrados al día.

Empedrado
Taylor.

El ingeniero inglés Taylor al presentar en el instituto de Lóndres su sistema, hacia notar los defectos de los adoquines de grandes dimensiones, que son los que indicamos al principio, y el de producir roturas en los ejes y muelles en los carruajes.

Su sistema ensayado con éxito en Birmingham en la estación de Euston y en una calle de Lóndres, consiste en abrir la caja de 16 pulgadas inglesas de profundidad, con la flecha adoptada para el firme; sobre esta colocar una primera capa de 4 pulgadas de grava gruesa; sobre esta, otra con algo de mortero, ambas apisonadas, siendo su objeto dar elasticidad al firme; despues otra tercera capa como las precedentes, cubierta con una pulgada de arena fina y finalmente los adoquines de 4 pulgadas de longitud, 3 de ancho y 3 á 5 de cola, segun el tránsito lo exija, apisonando despues y echando una capa de arena. Segun Taylor, construido el empedrado bajo este sistema, un carro de 10 toneladas no produce efecto alguno en él, y ofrece tambien mas seguridad para los pies de los caballos; resulta ademas una tercera parte mas barato que el antiguo sistema y sino ha producido tan ventajosos resultados en algunos puntos, consistirá en no haber seguido el sistema de fundacion prescrito.

Respecto de la duracion, los ensayos hechos al cabo de tres años y medio estaban en perfecto estado.

Hace notar Taylor que el éxito de los afirmados á la Mac-Adam consiste, como en su sistema, en mantener cierta elasticidad en las capas de fundacion del firme, lo que no tiene lugar en el sistema de Telford, en el que reposa sobre una verdadera mamposteria, destruyéndose como sobre un yunque,

por la accion de los carruajes y produciendo ruido excesivo. Dice Darcy que los trozos que vió de este empedrado le parecieron muy buenos.

El sistema de empedrados con carriles de losas fué introducido en Lóndres por Wood é importado de Milan: su principal objeto era el de disminuir los sacudimientos, el ruido y el tiro de las caballerías; pero este sistema solo ha tenido ventajas en calles accesibles á una sola fila de carruajes y con una caballería ó varias en reata.

Empedrados
con carriles
de losas

Los firmes á la Mac-Adam se han construido hasta la Cité, siendo mas numerosos á medida que se alejan de los puntos de circulacion activa, pues lo mas perjudicial para ellos es el continuo paso de los omnibus; sin embargo aun en parajes muy frecuentados, se han preferido á pesar del lodo y el polvo que producen y el excesivo gasto de conservacion, para evitar el ruido y el deterioro de los carruajes; pero aun el mismo Mac-Adam convenia en la imposibilidad de construir esta clase de afirmados en el gran centro de circulacion de la Cité, en donde se calculan 500,000 personas las que diariamente acuden.

Firmes á la
Mac-Adam

En las grandes líneas del Oeste al Este y de Norte á Sur, á pesar de los crecidos gastos de conservacion, que ascendian á 18 reales anuales por metro cuadrado, y hasta 22 en el puente de Wesminster no podian conservarse en buen estado; y fué necesario sustituir un empedrado. En el puente citado habia un desgaste anual de 15 centímetros.

Segun las notas dadas á Darcy por Mac-Adam, hijo del inventor de los afirmados de este nombre, el método que se sigue es el mismo que se ha explicado al tratar de los sistemas de construccion. El espesor del firme tiene unas 10 pulgadas inglesas en carreteras muy frecuentadas (de 9 á 10,000 carruajes diarios), 7 pulgadas en las de segundo orden (de 1000 á 3000 carruajes de circulacion) y 5 en los de poco tránsito. El peso de cada piedra es unas tres onzas á lo mas. Se considera como preferible bachear cierta estension á la vez, picando el

fondo, aprovechandó el tiempo húmedo ó regando en verano.

Pigott Smith empleado muchos años en la conservacion de las carreteras de Birmingham, opina que podria construirse sin inconveniente los firmes macadamizados aun en las calles concurridas de las poblaciones, pues aunque fuese mayor el gasto de conservacion, tendria la ventaja de proporcionar comodidad á la circulacion. Este práctico establece casi los mismos principios de Mac-Adam que son el conservar el terreno seco, emplear buenos materiales en la parte inferior y piedra machacada de igual tamaño; mantener el firme bien unido y con el perfil conveniente, igualándole con la rastra y recebando con el detritus sacado del barrido. Aconseja regar para que no se desunen los materiales recién empleados, y quitar toda la piedra que se salga de su sitio, y en fin, el cuidado continuo. Para quitar el lodo cree lo mas conveniente el empleo de la escoba mecánica, y prohíbe para este uso la rastra, pues dice que desarregla el firme; aconseja el regar antes de barrer para que pueda obrar la escoba mas convenientemente. Este sistema difiere de Mac-Adam en el empleo del recebo.

No se empleaba todavía en 1850 el rodillo compresor á pesar de sus ventajas, debiendo considerarse, segun Darcy, que la superioridad de los firmes ingleses no es debida á progresos especiales en su construccion, sino á los cuidados minuciosos de establecimiento, á lo mucho que se gasta en su conservacion y á la buena calidad de los materiales que se emplean, pues no se perdona gasto alguno para obtenerlos de gran dureza; el mas generalmente empleado es una roca anfibólica y feldspática.

Gastos
de construc-
cion y con-
servacion.

Los gastos de conservacion de los afirmados de Lóndres se descomponen en los de riego, desenlodado y recargos.

El riego se hace dos veces al dia durante 6 ó 7 meses y á veces mas; su objeto es, no solo evitar el polvo, sino tambien para reducir este á barro y quitarle mas fácilmente con la escoba comun ó la mecánica. Para el costo de construccion y conservacion de los firmes empiedrados y á la Mac-Adam, resultan,

segun las notas dadas por encargados de diferentes distritos de Londres, los siguientes:

Precios medios

	Reales.
Construccion del empedrado con adoquines de 0 ^m 10 de ancho; el metro cuadrado	66
Con adoquines de 0 ^m 15, que son los mas empleados en dia.	92
Conservacion por metro cuadrado anualmente.	1,8
Construccion á la Mac-Adam, metro cuadrado.	19
Su conservacion por metro cuadrado, excepto algun caso excepcional.	4,6 á 12,0

Este último precio equivale á 171425 ó 447191 reales por legua española de firme de 24 pies de ancho, y á esto hay que añadir 2,5 de desenlodado y riego.

Los adoquines de madera han sido desechados en Londres para la construccion de afirmados de las calles, pues la experiencia ha dado, que á pesar de las ventajas de no producir ruido por el tránsito de carruajes, ni lodo, ni polvo, es peligroso para las caballerías, cara su conservacion y producen miasmas en tiempo de sequía, al evaporarse la humedad.

Firmes de madera.

Afirmados de Paris.

La circulacion de Paris aun en los sitios mas concurridos, apenas llega á la mitad de ciertas calles de Londres.

Sistema administrativo y directivo.

La administracion de los afirmados está centralizada en Paris en el consejo municipal, el prefecto del Sena y el de policia, y de la parte facultativa están encargados, un ingeniero jefe director y dos ingenieros jefes á cuyas órdenes están otros seis subalternos. Segun Darcy desean en Londres un sistema análogo por la complicacion que hay en la administracion, pues de unas

calles cuidan juntas de los barrios, y de otras empleados nombrados por el gobierno.

Empedrados.

El material empleado en Paris para el empedrado es la arenisca; los adoquines adoptados tienen en general 0^m23 de cada lado ó 0^m23 por 0^m16; la primera dimension se emplea en las calles mas escéntricas por las que transitan carros y carretas y la segunda en las calles principales. Se ha tratado en Paris como en Lóndres de disminuir el ancho de los adoquines; pero no ha podido adoptarse esta mejora por la calidad del material.

El sistema de empedrar consiste en colocar los adoquines sobre una forma de arena de 0^m23 de espesor, llenando igualmente las juntas con arena sola, apisonando despues y cubriendo el empedrado con una capa de arena durante 8 días

Para precaver las deformaciones se ensayó el colocar los adoquines sobre otros invertidos, es decir, apoyados sobre la cara mas ancha; pero ademas de ser costoso este método, producía un firme demasiado duro para la circulacion. Tambien se ensayó el construir el empedrado sobre un emparrillado de madera y aun sobre hormigon con lechada de cal en las juntas, con el objeto de hacerle mas sólido y disminuir el lodo y polvo; pero no ha podido estenderse su uso por las dificultades que se encontraban para la colocacion de cañerías y tubos de gas, que con tanta frecuencia tienen que establecerse. El perfil adoptado es el de arroyos laterales junto á las aceras.

El costo de construccion por metro cuadrado es, término medio, de 44 reales; el de conservacion 1,65 rs. anuales por metro cuadrado, y se destinan 5.000,000 de rs. anualmente para estos objetos.

Las calles de primer orden se reparan cada 6 ú 8 años; las de segundo cada 15 ó 20; las de órden inferior de 20 á 30.

La inferior calidad del material respecto del de Lóndres, no ha permitido ensayar el sistema Taylor.

En los Campos Eliseos se han construido firmes ordinarios, cuya construccion y conservacion es la que hemos dado á conocer al tratar de los sistemas de esta clase.

Afirmado
de piedra
machacada.

Relativamente á las construcciones de firmes asfaltados se describen detenidamente en otra parte de este escrito las experiencias hechas en Paris, por lo que ahora solo haremos mencion de algunas consideraciones que espone Darcy respecto de este sistema

Firmes bitu-
minosos.

Dice que se han hecho dos objeciones: la primera relativa á la dificultad de descubrir y reparar las huidas de agua de las cañerías, habiéndose propuesto para remediarlo hacer en ciertos sitios un empedrado comun sobre los tubos, ó colocar tubos indicadores. La segunda objeccion es sobre el resbalamiento que pueden tener las caballerías, pero en realidad no es mayor que en el empedrado comun, y tambien puede remediarse con una capa de arena y por el asfaltado en frio.

Para hacer ver las ventajas que ofrecen los firmes bituminosos, indica Darcy, que antes para obtener una carretera empedrada sólida y lisa, no se ocupaban mas que de la resistencia parcial de los adoquines que la componian, y de aquí el empleo de piedras muy anchas y gruesas; pero el desgaste era desigual, se desplazaban girando sobre sus ángulos, habiéndose llegado á la adopcion de piedras estrechas y al sistema de Taylor, que es un empedrado macadamizado.

Los principios que dieron lugar á la construccion de firmes con piedra machacada, sufrieron las mismas modificaciones; las piedras se han ido reduciendo á dimensiones cada vez mas pequeñas, colocándolas sobre materiales menos duros y que ofreciesen alguna elasticidad; pero en el primer caso no se ha hecho desaparecer el ruido ni el resbalamiento, ni en el segundo el polvo ni el lodo, y una carretera perfecta deberia ofrecer á la circulacion una superficie lisa y compacta sin ser resbaladiza, y no producir polvo ni lodo. El asfalto empleado en caliente llena cuatro de las condiciones propuestas. El resbalamiento pudiera evitarse haciendo una superficie mas áspera por medio

de arena y batiendo la pequeña capa de lodo que se adhiere en tiempo húmedo, ó todavía mejor con el empleo en frío de la roca asfáltica; este sistema despues de un año de construido, ha resistido perfectamente á los frios, calor y lluvias, y su conservacion era de poco costo.

Limpieza de las calles.

Hay en Paris 1784 fuentes que limpian 470875 metros de arroyos; son necesarias todavía 953 para otros 279651 metros; cada una debia dar 107 litros por minuto, pero las que existen solo dan 60; funcionan 5 horas al dia. Se emplean tambien cubas de riego.

En Lóndres no hay fuentes de limpieza

El informe da muchos detalles relativos á la estadística de circulacion de Paris y Lóndres y sobre la organizacion de los consejos parroquiales de esta última capital y las informaciones abiertas respecto á la construccion y conservacion de las calles, los cuales son interesantes de consultar.

Observaciones sobre los sistemas de afirmados de las carreteras por el ingeniero Baudemoulin

Empedrados de Nápoles, Florencia y Milan

El ingeniero Mr. Baudemoulin, en sus viajes á Italia, fijó la atencion en el bello aspecto, limpieza y buen piso que presentan los empedrados de algunas ciudades y en particular las de Nápoles, Florencia y Milan, circunstancia que le hizo conocer, llevaban gran ventaja á los empedrados contruidos en Francia.

En Nápoles las calles están empedradas con adoquines de lava, regulares, cuyas hileras forman ángulos rectos entre sí; á pesar de las cuestas de las calles, las caballerías están habituada á estos empedrados y no resbalan.

En Florencia los adoquines son irregulares y de 0^m2 de grueso; su duracion es de 7 á 9 años, y el costo de su establecimiento de 23,85 reales el metro cuadrado.

Análisis de los sistemas de afirmados de las calles de Paris y comparación con los anteriores.

Las calles de Milan están compuestas de dos zonas ó fajas de losas con una parte central de dados colocados de canto, formando así una via para que las ruedas pasen por las primeras y las caballerías marchen por la parte central.

Después de las indicaciones anteriores, hace Baudemoulin algunas consideraciones sobre la sustitución del empedrado propuesta y llevada á cabo en Paris en algunas de sus calles, por el firme á la Mac-Adam, á consecuencia del mal movimiento que produce en los carruajes, y del ruido que causa.

Relativamente al precio de construcción y conservación de los empedrados de Paris, indica los ya referidos en la Memoria de Darcy, pasando después á examinar los gastos causados por la sustitución del sistema Mac-Adam, y las ventajas é inconvenientes que presenta tanto este como otros ensayados, deduciendo cuál sería en su concepto el más ventajoso para las calles de gran circulación de carruajes.

La consideración del gran costo de conservación del sistema Mac-Adam hace moderar el celo de los partidarios de la sustitución de este á los empedrados. Dicha conservación cuesta en Paris (en los bulevares) 16,5 reales al año por metro cuadrado, y el de construcción comprendido el cilindrado 11 á 13 reales. Hay que advertir que en el gasto de conservación expresado, no está comprendido el causado en la limpia de alcantarillas por la gran cantidad de lodo que se saca del firme, ni tampoco el aumento de gasto por el riego, el cual debe ser abundante para evitar el polvo.

El precio anual de conservación de las calles macadamizadas varía mucho según el tránsito: como se ha dicho, en los bulevares (entre la Magdalena y calle del Temple) es de

16,5 reales metro cuadrado por año.

0,8 reales en el camino de Ronda.

17,42 reales en el puente Nuevo.

24,33 reales en el puente de Austerlitz.

14 reales en la calle Rivoli.

Los gastos efectuados para conservación de las calles que ascendieron en 1849 á 1.840,000 frs. han subido sucesivamente

despues de la conversion de algunas al sistema Mac-Adam, á 2 500,000 frs. en 1854. Así, considerando la cuestion bajo el punto de vista económico seria necesario restablecer el empedrado, pues se sacaria el importe con la economía obtenida en 3 años de conservacion; pero como se verá despues puede sacarse mejor partido, segun Baudemoulin, por el sistema de carriles de losas.

El afirmado de asfalto, ensayado en varios puntos de Paris, merece fijar la atencion. El ejecutado en la calle Richelieu se hizo por contrata á razon de 47,7 reales metro cuadrado, y duró 6 años con poco gasto de conservacion; el gasto anual en este sistema, comprendido el costo de construccion, puede valuarse en 8 reales metro cuadrado, con un tránsito por lo menos igual al de los bulevares.

Sin embargo de todas sus ventajas los firmes asfaltados tienen el inconveniente grave de que resbalan en ellos fácilmente las caballerías, sobre todo en tiempo de humedad. Se han empleado con la combinacion de que se hablará despues en algunos puntos, en pendientes de 2 á 3 por 100, y durante el tiempo de lodo se hubiera interrumpido el paso frecuentemente, sino tuviesen estas pendientes una pequeña longitud, y no se hubiese cuidado de echar arena. Tambien se ha querido evitar este inconveniente estriando el piso transversalmente, pero desaparecen pronto estas estrías y no cumplen bien su objeto.

Este ejemplo prueba que el asfaltado es inconveniente en las pendientes, y aun en las partes horizontales lo es tambien para el tiro; ademas presenta la desventaja de que la conservacion tiene que hacerse levantando trozos é interrumpiendo la circulacion; así este afirmado no da una solucion general.

La cuestion debe estudiarse segun Baudemoulin relativamente á los objetos que debe cumplir un afirmado y á las acciones á que está sometido. El principal objeto es obtener el *máximo de efecto útil*. Los *agentes* son los vehículos y el firme; ademas la accion de los carruajes en el firme, de la cual resulta el desgaste, es producida por las ruedas y las caballerías; la primera es mayor que la segunda en la relacion de 4 á 3.

De estos principios se deduce que un firme no debe ser homogéneo, sino compuesto de dos partes distintas; la una resistente y lisa para las ruedas, la otra mas áspera ó desigual aunque sin salir de la forma regular, destinada para las caballerías y esta no exige ser tan resistente ni costosa, presentando así tambien el firme buen aspecto y limpieza. De este modo se disminuirían las causas de accidentes y el tiro de las caballerías, y la circulacion no se entorpeceria por las frecuentes reparaciones á que dan lugar los demas sistemas de afirmados.

La solucion anterior es la que se ha obtenido por el sistema de empedrados de Milan, que antes hemos indicado. Todos los viajeros admiran su regularidad y aseo. En las calles de Londres y de Paris se ha logrado crear nuevos gastos y embarazos por la sustitucion del sistema Mac-Adam, en vez de aplicar otros mas en armonía con los elementos destructores tan considerables en estas poblaciones. Así este ingeniero propone adoptar el sistema de Milan poniendo dos ó mas vias de losas segun el tránsito. La mejor solucion seria el poner cuatro vías, dos en el centro para los carruajes que marcharan al paso en sentido contrario, y las otras dos para los que fuesen al trote. Este sistema podria establecerse conservando la parte macadamizada para las caballerías.

Existe un producto industrial resistente, con el cual se ha ensayado construir empedrados llamados metálicos, y con él podrian formarse las losas de los carriles, sin embargo de ser inferior en dureza al granito. Este producto está compuesto de mineral de hierro pulverizado, asfalto y turba; el ensayado en Paris constaba de 12 kilogramos de asfalto y 5 de turba para un kilogramo del mineral de hierro y costaba unos 40 reales el metro lineal de carril de 5 centímetros de espesor y con 0,7 de ancho cada faja, ó sea una tercera parte menos que cuesta el de granito. Esta composicion produce un piso escurridizo si se aplica en todo el ancho de las calles.

En resumen, el sistema de carriles de losas de piedras ó metálicas, presenta segun Baudemoulin la ventaja de disminuir el desgaste de las ruedas, el del firme y el ruido, el ser mas lim-

pio y reducir á una mitad el tiro que han de verificar las caballerías.

SESTA SECCION.

ORGANIZACION DEL SERVICIO DE CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

Exámen de
diversos sis-
temas de or-
ganizacion

Desde que se consideró necesario el atender á la conservacion de las carreteras de un modo permanente, se trató de establecer peones fijos que se ocupasen de ella distribuidos en secciones ó trozos, cuyas longitudes fuesen las convenientes, segun el cuidado que en ellos se exigia; pero no todos creian esta institucion ventajosa opinando algunos que debian ejecutarse los trabajos de conservacion por cuadrillas ambulantes.

En el caso de haber peones fijos encargados de los trabajos de cada trozo, se ha discutido tambien si convendria auxiliar los trabajos de estos con peones temporeros en ciertas épocas del año, ó disminuir la longitud de los trozos de cada peon, para que pudiesen acudir á todos los trabajos oportunamente sin necesidad de auxiliares; y por último cual sería la longitud que convendria tuviese á su cargo un peon caminero.

Sistema de
peones fijos
y de auxilia-
res.

Berthault Ducreux fué de los primeros en proscribir el empleo de cuadrillas ambulantes y de auxiliares. En apoyo de su opinion dice que siendo distintos los útiles que exigen las carreteras de los que acostumbran á manejar los trabajadores del campo, no puede exigirse que los auxiliares ejecuten bien los trabajos de conservacion, acostumbrados á otra clase de herramientas. El desenlodado es un trabajo que generalmente se confia á estos trabajadores y es de los mas difíciles para que lo ejecuten bien, y aun suponiendo que lo hiciesen, los intérvalos á que están sujetos harian perder tiempo y dinero. Será mas conveniente gastar las consignaciones que se destinen para auxilia-

res y machaqueo de piedra, en peones camineros que ejecuten todos estos trabajos, acudiendo oportunamente á donde sea necesario.

Observa Ducreux que el empleo de la piedra en los baches, sino se hace con oportunidad gastando solo el material necesario, y en el sitio conveniente, ocasiona igualmente pérdida de dinero. Estas operaciones no pueden hacerlas bien los auxiliares; es necesario para ello peones prácticos y enseñados; los demas trabajos que se ofrecen en las carreteras no son tan urgentes y pueden ejecutarlos los peones camineros en épocas oportunas.

El machaqueo de la piedra necesaria para conservacion pueden ejecutarle los peones camineros (se trata de carreteras en estado de conservacion), cuando no tengan en qué ocuparse sobre el firme ó no lo permita la estacion; la saca y transporte del material no debe ejecutarse por ellos, como no sea en el caso de estar la piedra contigua á la carretera, en cuyo caso podrá convenir que lo verifiquen: así que solo en el caso de una carretera en estado de reparacion, es cuando podrá convenir valerse de peones auxiliares.

Al examinar el ingeniero Moline la opinion anterior de Berthault Ducreux dice que es un error el creer no deben emplearse auxiliares y opina que lo que debe hacerse es aplicar los oportunamente, pues es practicar el principio de la subdivision del trabajo. Trata de probar esto por el ejemplo de carreteras que estaban á su cargo, en las cuales habia épocas del año en que era necesario triplicar los trabajadores, siendo inútiles en otras. Tambien opinaba que salia mas económico el machaqueo verificado por los auxiliares que por los peones camineros, pudiendo ocuparse tambien ventajosamente en conducir piedra al peon caminero, y sacar el lodo fuera de la carretera.

El ingeniero Vignon opinaba que no siendo posible ocupar á los peones en ciertas épocas del año, ni en ciertas localidades en el machaqueo de la piedra, era aventurado haberse presentado por Berthault Ducreux como aplicable su doctrina en todos los casos. Una buena organizacion de peones camineros y

algunos auxiliares, cree ser el método mas conveniente para obtener el máximo de efecto útil ó la mejor conservacion con el menor gasto. Tambien dice que el sistema de Ducreux es el de máximo de gasto; pues el tener peones todo el año es equivalente al empleo de auxiliares, teniendo estos la ventaja de que se despiden cuando no son necesarios, encontrándose con facilidad y economía en el invierno, que es cuando lo son.

Longitud de
los trozos de
carretera de
cada peon

El ingeniero Doré investiga en una Memoria publicada en 1857, cual será la longitud de carretera mas conveniente que deberá darse á los peones camineros, y cuál es la relacion que debe haber entre la distribucion de consignaciones y la mano de obra repartida entre peones camineros y auxiliares, y hace las siguientes consideraciones.

Si una carretera está en mal estado, hay que saber si se han distribuido en ella los fondos oportunamente, y si será conveniente con cierto número de peones camineros reservar parte de los fondos para auxiliares y material; aun conociendo por esperiencia el precio que se debia pagar á los peones por cada obra, habria que examinar si seria conveniente el aumentar el número de peones fijos, si podria dárselos trabajo en toda estacion, y si el material machacado por ellos podria salir al precio que se paga á los contratistas; así la cuestion principal consiste en averiguar si debe aumentarse el número de peones camineros, y qué longitud debe darse á cada trozo.

Dice Doré que no es económico como algunos han supuesto, el tener solo los peones camineros en ciertas épocas del año; esto seria un mal por la falta de organizacion de trabajos y la mala ejecucion de ellos; lo que debe buscarse es el mínimo de pérdida, viendo la longitud que debe tener cada trozo de que cuida un peon. Tampoco de las cuadrillas ambulantes cree este ingeniero pueden esperarse buenos resultados.

Supone el caso de una carretera en buen estado, que es el mas desfavorable para la cuestion que se considera, en la cual el peon no tuviese que hacer sino desenlodar tres veces en el año; pudiendo desenlodar un peon 100 metros lineales por día,

habría que darle un trozo de 6000 metros lineales á lo mas, para no tener que poner auxiliares.

Establece Doré fórmulas para hallar la longitud que en general debe tener cada trozo, teniendo en cuenta el tiempo perdido y los dias de trabajo, y halla que debe ser de 2485 á 5866 (1) metros lineales.

Berthault Ducreux al ocuparse nuevamente en una de sus Memorias de las diferentes cuestiones relativas á la conservacion de carreteras, contesta á las objeciones hechas por Moline en su escrito citado antes, y dice, que la operacion que este conceptua de poca entidad y que deja para afectuarla por los auxiliares, que es el tomar la piedra de los acopios y dársela al peon caminero, es precisamente operacion que necesita bastante inteligencia para saber qué cantidad de material deberá tomar, y no tener que quitar, por haber llevado mucho, ó volver por mas, por haber llevado poco, lo cual solo un obrero práctico puede ejecutar convenientemente. Ademas los baches necesitan en muchos casos desenlodarse antes de echar la piedra, operacion que es accidental y no es cosa de recibir auxiliares para trabajar fracciones de dia.

La division del trabajo dice que no es aplicable á este caso, por la gran dificultad de combinar el tiempo, de modo que no le pierdan unos ú otros trabajadores esperándose mutuamente: así aun teniendo obreros hábiles, es la longitud de carretera la que debe dividirse y no el trabajo.

El recorrido de obras de tierra debe tambien dejarse para ocupar oportunamente los peones camineros. Los auxiliares solo podrán ser oportunos para las reparaciones de las carreteras.

Hace notar Ducreux la falta de datos de la Memoria de Moline, y que las carreteras de su cargo no están en tan buen estado como las conservadas por su método.

Tambien sobre las indicaciones de Doré citadas antes, dice Ducreux no ser exacto el dato que aquel establece, y en el cual

(1) Esta longitud será muy variable segun el clima, tránsito, proximidad á poblaciones, etc.

funda algunos cálculos respecto de las veces que necesitan al año desenlodarse las carreteras, pues algunos exigen se verifique 5 ó 6 veces y otros 15, 20 ó mas, en vez de 3 que supone aquel ingeniero; además la operación referida tiene que hacerse en momentos oportunos del día y no sería conveniente recibir auxiliares para trabajar por horas. También el trabajo de quitar el lodo, tiene relación con la distribución de la piedra y á veces es el solo trabajo oportuno que hay que ejecutar, por lo que exige verificarse también por el peon caminero, prescindiendo por otra parte de la conveniencia de que este se ocupe alternativamente de varias operaciones. Respecto del machaqueo de la piedra, no es solamente en tiempo de heladas cuando se dedica á verificarlo el peon, sino en algunas otras épocas del verano, etc., de suerte que bajo este punto de vista también resulta que deberá dedicársele á dicha operación, la cual verificará con perfección y que, habiendo la vigilancia suficiente, debe salir barata. En general puede decirse que los trabajos de conservación se dividen en los de tiempo próximo y de tiempo mas ó menos oportuno y lejano, y los peones camineros pueden acudir á todos, estableciendo el número necesario según la circulación.

Opina Ducreux que no deben darse trabajos marcados ó tareas á los peones camineros, siendo lo mas conveniente, que bien instruidos y vigilados como deben estar, se ocupen de las operaciones que exige el momento con oportunidad; y cuando duden del trabajo que han de ejecutar ponerse á machacar piedra.

Para establecer la longitud de carretera ó el trozo que ha de tener cada peon caminero á su cargo, establece una relación entre este y el tránsito que haya por la carretera, relación que deduce de sus observaciones. Para saber el número de peones que debe haber por legua, divide por 100 el término medio de colleras que transitan tirando de carruajes cargados, contando por $\frac{1}{5}$ de estas las que tiran de carruajes ligeros ó de vacío, y toma esta circulación en 24 horas. Se supone para este cálculo que el peon se ocupa también de partir la piedra que exija para

conservacion el trozo que tiene á su cargo, la cual valúa en 170 metros cúbicos próximamente al año. Cuando la circulacion diaria no llega á 200 colleras, resulta algo escesivo el divisor 100 y en defecto cuando pasa de 600 (1). Los trozos deben ser iguales, escepto los que estén á cargo de los capataces, que deben tener solo la mitad ó dos terceras partes del asignado al peon caminero, en razon al tiempo que aquellos emplean en la vigilancia de la seccion que esté á su cuidado.

Gasparin determina la longitud referida por la fórmula

$$x = \frac{500}{\frac{300}{l} + n(0,92u + 41,67)}$$

suponiendo que ejecuta el peon todos los trabajos de conservacion.

En esta expresion, x es la longitud del trozo en kilómetros; u el término medio del volúmen de materiales correspondiente al desgaste de un kilómetro; n la mano de obra total por metro cúbico de material gastado, compuesta de todas las operaciones desde traerle hasta quedar empleado. La mano de obra en trabajos accesorios independientes de la circulacion, como espaleo de nieves, reparaciones de cunetas en las pendientes y otros que dependen del clima, trazado, etc, es variable. Sin embargo, en cada carretera puede calcularse aproximadamente la longitud que podria conservar un peon ocupándose solo de estas obras independientes de la circulacion, y empleando los 300 dias de trabajo que se supone útiles en el año. Esta longitud es la l de la fórmula.

Para asignar estos valores se suponen carreteras generales de 7 metros próximamente de ancho.

Los métodos espuestos solo podrán dar una aproximacion de la longitud que debe asignarse á cada peon, pues esta será variable por diversas circunstancias, tales como la situacion de

(1) El divisor 100 está tomado para el caso de leguas de 4000 metros: para las leguas españolas de 20,000 pies debe ser 70.

la carretera, es decir, que esté mas ó menos próxima á la poblacion, en laderas ó en llanos, la diferente calidad del material que hace se tarde mas ó menos en partirla, etc.; así es que una misma carretera seria necesario dividirla en trozos de distintas longitudes, segun las circunstancias en que se hallasen, ó bien aumentar el número de peones fijos, conservando las longitudes iguales. El sistema de hacer ejecutar todos los trabajos á los peones camineros, no es posible llevarle siempre á rigor, pues por muy en cuenta que se crean tener todas las circunstancias para dividir los trozos, no pueden preverse todas; por ejemplo, si hay lluvias continuadas, se deterioran mas las obras, y teniendo que remediar los daños con oportunidad, será necesario tomar algun auxiliar para emplear el material si es urgente hacerlo, ó para desenlodar ó desembrozlar las cunetas, etc. Si estaba calculado que el peon debía machacar cierto número de cargos, por haberle tenido que ocupar en los trabajos urgentes, habrá disminuido este número, y siendo necesario emplear la misma ó mayor cantidad de material del calculado, habrá que auxiliar con otros peones para verificarlo. Así lo que parece mas conveniente es el distribuir la carretera en trozos iguales, que deben calcularse por los medios espuestos, ó por la observacion de uno ó dos años, de modo que puedan verificarse por los peones los trabajos ordinarios, y tomar auxiliares en los casos urgentes.

Cuando haya en una misma carretera variedad notable de posicion, clima, tránsito y demas circunstancias que influyen en su conservacion, como sucede generalmente en las líneas de gran longitud que pasan por montañas y por valles, por parajes secos y húmedos, etc., deben en estos casos subdividirse mas los trozos en los puntos en que sea necesario.

Se ha visto ya la opinion de Berthault relativamente á las tareas; en las carreteras de España se puso en práctica este método cuando se organizó definitivamente el servicio de peones camineros, dando á cada uno una libreta, en la cual el sobrestante marca la tarea, que han de ejecutar. Este método tiene inconvenientes, pues es difícil ó imposible calcular bien

los trabajos que debe ejecutar el peon en una quincena, que es el período para que generalmente se marcan; así que lo que debe procurarse es tener peones bien instruidos y subordinados que estén vigilados con frecuencia, instruyéndoles en las operaciones que deben con oportunidad y preferencia verificar, examinar si lo han ejecutado con perfeccion y si han cumplido, lo que puede apreciarse prudentemente, dejando libertad al peon de poderse dedicar á algun trabajo oportuno ó perentorio en el intervalo de cada visita. Por ejemplo, si sobrevienen lluvias podrá ser conveniente que se ponga el peon á bachear inmediatamente; si estas son excesivas no podrá verificarlo y tendrá que desembrozar cunetas ó alcantarillas, etc. En ciertas épocas del año en que, por ejemplo, no puede dedicarse el peon sino á machacar piedra, es cuando podrán tener mejor aplicacion las tareas. Los datos prácticos que se han dado para las diversas clases de obra que ocurren en las carreteras, pueden servir para las apreciaciones indicadas.

Indicaremos ahora ligeramente la organizacion que tiene el servicio de conservacion en España y en otros países.

El sistema seguido en España hasta hace algunos años, de reparar las carreteras á intervalos de tiempo mas ó menos considerables, exigia el empleo de cuadrillas ambulantes de peones temporeros que verificaban los trabajos necesarios, y las carreteras quedaban despues entregadas á la circulacion sin vigilancia alguna. Se establecieron despues guardas que vigilaban en cierta parte de carretera, hasta que definitivamente se arregló el servicio de conservacion en 1841, estableciendo un peon por legua y sujetando este servicio á un reglamento en el cual se espresan sus deberes. En algunas carreteras se establecieron luego dos peones camineros por legua, y en la actualidad están dotadas las carreteras generales y algunas provinciales ó mistas de este número, y aun hay algun caso excepcional de ser cuatro el número de peones camineros por legua. Ademas de los trabajos de conservacion, están los peones camineros encargados de la vigilancia y policia de tránsito, para

Organiza-
cion del ser-
vicio de con-
servacion en
España.

lo cual se aprobó en 14 de setiembre de 1842 la ordenanza para la policía y conservacion de carreteras. Cuando es necesario se auxilian los trabajos con peones temporeros.

En el reglamento citado antes relativo al servicio de peones, se establecieron tambien capataces, los cuales tienen la obligacion de vigilar un trozo de carretera de 4 á 5 leguas, verificando las visitas que en el mismo se espresan, sin perjuicio de tener á su cargo cierta longitud de carretera, si bien menor que la de los peones, para cuidar de ella directamente.

Los sobrestantes están encargados de secciones de carretera generalmente de 10 leguas, y son los jefes inmediatos de los capataces siguiendo despues en categoría, segun el nuevo arreglo del personal, los auxiliares y ayudantes, y por último los ingenieros.

Organiza-
cion en Fran-
cia y Ale-
mania.

La organizacion del servicio de conservacion en Francia es análoga á la de España, y lo mismo sucedo en la mayor parte de Alemania y en Prusia; hay un reglamento especial para la construccion y reparacion de las carreteras.

Creemos curioso el dar estensamente noticia de esta parte del servicio de obras públicas en Inglaterra, por el interés que ofrece todo lo relativo á este pais.

En
Inglaterra.

En Inglaterra hay para el cuidado de las carreteras, capataces que tienen á sus órdenes los auxiliares necesarios.

Hasta hace unos 30 años permanecieron los caminos de Inglaterra en un estado *espantoso*, segun lo espresan varios informes dados á las Cámaras. En 1819 fué cuando se propuso el nombramiento de inspectores inteligentes, y se empezó á ensayar el sistema de Mac-Adam; en 1832 el Parlamento mandó observar ya un reglamento, y en 1840 una comision nombrada al efecto informó sobre los fatales resultados que producian la multitud de consejos parroquiales que intervenian en las carreteras, y el excesivo costo que tenia su conservacion por efecto del mal régimen. El exceso en el número de portazgos y en los derechos exigidos en ellos, era notable, del mismo modo que

la ignorancia con que procedían en las operaciones de conservación, tanto los consejeros como los inspectores; no siendo esto de extrañar pues á veces nombraban las parroquias personas completamente extrañas á los conocimientos necesarios, y que no tenían motivo alguno de saber. También se quejaba la comision en este informe del excesivo número de inspectores, que llegaba hasta 20,000, y proponía como buen sistema el seguido en Escocia, en donde las carreteras estaban á cargo de una junta de propietarios que se reúnan seis veces al año; cada condado estaba dividido en cierto número de distritos que varios propietarios tenían á su cargo, destinándose una parte de los productos de portazgos para amortizar los empréstitos contraídos para construir las carreteras. Proponía la comision, que se pudiesen todas las carreteras bajo la inspeccion de un poder central, estableciendo juntas en las cabezas de distrito y fijando sueldos mas decorosos á los inspectores, para atraer personas de capacidad.

Los esfuerzos del parlamento eran infructuosos para abolir los vicios de la administracion y multiplicidad de los consejos; á pesar de reconocerse por todas las personas competentes la conveniencia de regularizar este servicio.

En una Memoria publicada por Berthault Ducreux sobre el estado de las carreteras en Inglaterra, hacia notar tambien la falta absoluta de organizacion, la confusion extraordinaria de administracion, la falta de inteligencia de la mayor parte de los encargados y el espíritu hostil á los ingenieros en punto á carreteras; estando sin duda fundada la gran reputacion de los caminos de Inglaterra en los de las grandes ciudades, que se conservaban con mucho gasto. Dice que eran escasos los peones camineros, prefiriéndose las cuadrillas.

Las juntas encargadas de carreteras existen aun en Lóndres mismo, en donde hay sobre 120. Algunas calles están á cargo de la corona y tienen un ingeniero; todas obran con independencia, contra la opinion de los ingenieros del Instituto de Lóndres, que desearian tambien hubiese mas unidad de accion.

En los anales de puentes y calzadas de 1857 se inserta una

memoria del ingeniero M. Rumeau, relativa á los empedrados de adoquines y enlosado de varias ciudades de Italia. En ella se describen los de Milan, Turin y Génova, esponiendo datos interesantes de su disposicion, dimensiones, etc.

RESÚMEN DE LAS OPERACIONES DE CONSERVACION EN LAS
DIVERSAS ESTACIONES.

Invierno.

Así como en la construccion de carreteras es el invierno la época en que menos se trabaja respecto á la conservacion, en dicha época es cuando mas cuidados y vigilancia exigen las carreteras.

Se ha visto al tratar de la conservacion que el firme sufre degradaciones de varias clases en esta época y en ella es en la que hay que atender á los baches y roderadas, á colocar en su sitio la piedra salida del firme, á la extraccion del lodo y de las nieves, á picar el hielo, etc.

Cuando hiela no conviene bachear, y en este caso, se aprovecha el tiempo para otras operaciones, como la de extraer el hielo, desembrozar, etc. A las obras de tierra no se atiende en el invierno, sino para sostenerlas de modo que no perjudiquen el firme, ó cumplan su objeto; así es que se quitan los aterramientos de los paseos y cunetas que impidan correr las aguas, se evitan ó reparan las socavaciones y reparan los taludes ó escarpes de los desmontes y terraplenes. Debe tenerse preparados acopios de piedra, para que los dias en que no pueda trabajarse por los hielos ó fuertes lluvias, pueda el peon dedicarse al machaqueo, para lo cual se construyen chozas inmediatas al camino. En tiempo de lluvias fuertes ó continuadas debe recorrer el peon la parte de carretera ó trozo de que esté encargado, para ver si hay algun desperfecto que corregir con urgencia, y si se ha obstruido alguna tajea ó alcantarilla, y en tiempo de crecida de los rios, para ver si ha causado ó hay esposicion de que cause daño en los puentes, pontones, etc. y dar aviso inmediateamente á su jefe inmediato.

Los recaigos suelen hacerse tambien en esta época.

Cuando hiela puede aprovecharse para las operaciones que exige el firme, desde la hora en que el sol deshace el hielo, hasta cierta hora de la tarde.

Los cuidados del firme se continúan en la primavera en la que pueden verificarse también con éxito por la humedad y mayor duración de los días; así es que se emplea el material en bacheos, roderadas y recaigos, pero cuidando de no esperar á las últimas épocas de dicha estación para verificarlo, con el objeto de que cuando venga el verano haya podido hacer el asiento ó clavo conveniente: es necesario cuidar continuamente del arreglo y asiento del material empleado. En algunas carreteras que atraviesan montañas elevadas, como sucede en los puertos, es preciso suspender las operaciones, ó no pueden ejecutarse hasta últimos de la estación, por impedirlo las nieves. En los valles en que las lluvias son muy continuadas, como sucede en las Provincias vascongadas, Santander, Asturias y Galicia, también suele ser más conveniente el fin de la primavera para las operaciones que exige el firme.

Primavera.

Las obras de tierra pueden repararse en esta época, pues generalmente al fin de la estación tienen una dureza conveniente sin ser excesiva como en el verano; también se atiende á la limpieza del lodo, desagües, desembroce de cunetas y reparación de los desperfectos y socavaciones de los desmontes y terraplenes.

Las obras de fábrica exigen en este tiempo mayor vigilancia, porque es la época en que las avenidas de los ríos ó arroyos causadas por los derretimientos de las nieves ó abundancia de las lluvias de la estación, hacen que se obstruyan ó deterioren: así es que conviene vigilar mucho, cuando estas tengan lugar y reparar las degradaciones, cubrir inmediatamente las socavaciones de las aletas ó cimientos, etc., y limpiar sus paramentos de las yerbas que suelen criar.

En el verano cesan las operaciones del firme, como no sea en un caso urgente ó aprovechando los días de lluvias. Las

Verano.

obras de tierra se reparan generalmente en esta época, verificando los recargos y rectificacion de los paseos, como asimismo la de las cunetas, de los taludes y escarpes de los terraplenes. Los materiales del firme se preparan para emplearlos en el otoño é invierno.

Se limpia el polvo y quitan las yerbas de los paseos y cunetas, y de las juntas de las mamposterías en las obras de fábrica. No conviene dejar el firme muy al descubierto por el barrido, con el objeto de que el sol no obre tan directamente y pueda conservar algo de humedad cuando llueva, evitando con esto que se desagreguen menos los materiales. En las carreteras de los climas muy húmedos ó frios puede á veces convenir aprovechar el principio ó fin de verano para verificar operaciones que en otros climas conviene hacer en primavera ú otoño. Tambien en este tiempo las tempestades causan daños que hay que reparar inmediatamente; y el peon debe visitar su trozo inmediatamente despues que ocurran para acudir á lo urgente.

Otoño.

En el otoño se reparan ya las degradaciones causadas en el firme durante el verano, se verifican los recargos de modo que el firme quede bien preparado y lo mejor unido que sea posible el material, para resistir á los efectos del invierno, en cuya época se sabe hay mas causas de destruccion y es cuando mas perjudica el tránsito. Tanto por efecto de las lluvias ó humedad de las nieblas como de la circulacion, salen á la superficie los detritus formados en el interior del firme en el verano; así es que suele ser necesario verificar el desenlodado con alguna frecuencia, y debe quedar limpio el firme cuando concluye la estación, es decir con solo la costra necesaria de detritus, á fin de que no haya exceso de estos al entrar el invierno que es cuando mas se forman.

Para la reparacion de las obras de tierra, es la mejor época porque tiene aquella buena consistencia. Las obras de fábrica no exigen generalmente cuidados en esta época, por haber quedado arregladas en verano.

Lo mismo en este caso que se ha dicho respecto á las demas estaciones, sufrirán modificaciones las reglas anteriores segun el clima. En resúmen: el invierno conviene dedicarle á las obras del firme; la primavera á las del firme y algo á las de tierra y fábrica; el verano, nada á las del firme ó lo mas indispensable; y sí á la preparacion de materiales para el mismo, á las obras de tierra y á las de fábrica; el otoño, obras del firme y de tierra y solo ó lo mas urgente ó que haya quedado por concluir en el verano de las de fábrica.

Solo se indican los preceptos anteriores como regla general, pues sufrirán variaciones segun el clima del pais, y no es posible por esto el reglamentar para todas las carreteras las épocas de las diferentes operaciones relativas á su construccion y conservacion.



CUARTA PARTE.

DEL CILINDRO COMPRESOR Y DE SUS APLICACIONES.

PRIMERA SECCION.

Al tratar de la construccion de los firmes, solo se ha indicado la conveniencia de pasar el cilindro compresor para consolidarlos, pero sin describir el aparato ni las operaciones para su empleo; esto es, pues, de lo que vamos á ocuparnos en esta parte, indicando tambien las aplicaciones y efectos del cilindro.

El rodillo ó cilindro compresor que sirve para consolidar los firmes de las carreteras, puede ser de piedra, de hierro, de madera, y de la combinacion de estos materiales. El cilindro gira alrededor de un eje horizontal para rodar sobre el firme, y consta de diversas partes accesorias, que se describirán despues; para su conduccion ó arrastre, es necesario emplear caballerías ó bueyes, en razon al peso que exige para producir el efecto á que se destina.

Materiales
de que se
construye

La idea de emplear el cilindro es antigua; pues en 1786 la propuso en Francia Decessart; pero cuando se empezó á estender su aplicacion fué en 1829, en que el ingeniero Polonceau

Origen de
las aplica-
ciones.

publicó una Memoria sobre las ventajas que presentaria el comprimir los firmes por medio del rodillo. Hizo tambien aplicaciones con uno de madera hueco de cerca de 2 metros de diámetro y que pesaba cargado, de 3000 á 6000 kilogramos. Despues de esta época construyó y empleó un cilindro de fundicion.

Varios ingenieros empezaron á usar el cilindro en las carreteras, dando cuenta de los resultados obtenidos; así es que desde 1835 se insertaron en los *Anales de puentes y calzadas de Francia* diversas Memorias sobre este objeto. En 1835. Chamberet obtuvo pocos resultados del empleo de un rodillo de piedra de 0,8 metros de diámetro. En 36 y 37, Morandiere hizo ver las ventajas del empleo del cilindro sobre el apisonado, y las obtenidas por él con uno hueco de fundicion.

Uno de estos aparatos de madera con aros de hierro se empleó tambien por Coulaire y Bormans en 1840; pero hubo de sustituirse por otro mas perfeccionado. El inconveniente que encontraron estos ingenieros de cargarle por la parte interior, por los choques violentos que se producian al rodar, les condujo á colocar cajas exteriores, las cuales podian cargar hasta 15000 á 18000 kilogramos.

El diámetro de este cilindro era de 2 metros y de 1 próximamente de ancho. Se obtuvieron excelentes resultados con este cilindro, sin embargo, que los ingenieros espresados no creian que podia obtenerse la consolidacion completa del firme, hasta que el tránsito la efectuaba al cabo de tiempo.

Una de las cuestiones de mayor importancia relativas al uso del cilindro ha sido la suscitada entre varios ingenieros sobre las ventajas ó inconvenientes de adoptar pequeños ó grandes diámetros.

Experiments
with rollers
of small dia-
meter.

Schattenmann construyó en Francia en 1843 cilindros de fundicion de pequeño diámetro; era este de 1^m3, y el ancho ó lanta próximamente el mismo. Los resultados que publicó relativos á sus experimentos fueron brillantes, con solo pasarle por cada punto 10 veces entre vacío y cargado y con un peso de 1200 á 6000 kilogramos.

Segun este práctico, la presión en una zona de cilindro de un centímetro era de 24 á 47 kilogramos con la carga de 3000 á 6,000 kilogramos, y siendo la presión ejercida por las ruedas de los carromatos mas pesados en el mismo ancho ó zona, de 100 á 700 kilogramos, deducia ser suficiente una presión 3 ó 4 veces menor que la que producía el cilindro, para consolidar una capa de firme de 17 á 20 centímetros de grueso, y decia haber obtenido en un firme de 44 centímetros de espesor una compresión que penetró hasta 22 centímetros de la superficie.

Pero tan ventajosos resultados indicados por Schattenmann, fueron impugnados por el ingeniero Leveillé, el cual, en una Memoria que publicó en los *Anales de puentes y calzadas* en 1846, da cuenta de los esperimentos verificados con cilindros del sistema propuesto por aquel, y aun ejecutando las operaciones bajo su dirección, dice que los resultados obtenidos estuvieron lejos de satisfacer á los encomiados relativamente al cilindro de pequeño diámetro, y pasado pocas veces por el firme; pues no 10 sino 44 veces fué preciso pasar el rodillo para obtener solamente una consolidación regular y no la completa que asegura Schattenmann.

Las consecuencias que dedujo Leveillé de sus esperimentos fueron, que la diferencia obtenida con los cilindros de pequeño ó gran diámetro era corta; el pequeño, á carga igual, penetra mas ó ejerce acción sobre mas puntos; en el de gran diámetro se puede aumentar el peso para obtener resultados iguales, esperimentando el tiro de las caballerías la misma fatiga si se compensa la diferencia de diámetro por el peso.

Uno de los ingenieros que primero se mostró partidario de los cilindros de gran diámetro y peso, fué segun antes indicamos, Polonceau, y en su Memoria de 1844 indica los ventajosos resultados que se obtienen por su medio.

Cilindros
de gran diá-
metro.

La experiencia, segun él prueba, que para obtener un buen asiento del firme, es necesario que en cada centímetro cuadrado de superficie sobre que actúa el cilindro, se verifique una pre-

sion de unos 4,8 kilogramos al principio de la operacion y 16 con carga completa, pudiendo llevarse esta presion hasta 19 kilogramos, que puede considerarse como su máximo en firmes de materiales duros ó de cantos rodados. Estas presiones, si fuesen ejercidas por un peso colocado sobre el firme, serian insuficientes; pero por la fuerza viva ejercida durante el movimiento se producen los resultados convenientes.

Aunque conforme Polonceau en que los mismos resultados podrian obtenerse con cilindros de distintos diámetros, adopta sin embargo los de gran diámetro por favorecer así la accion del tiro de las caballerías; ademas no producen estos los desplazamientos de material que los de pequeño diámetro, al pasarlos por firmes poco unidos. El darles mas de 2 metros de diámetro haria muy difícil su manejo y costosa y difícil su construccion. Suponiendo el cilindro vacío para los primeros pases por el firme, y peso de 3000 kilogramos, la penetracion de la llanta en el firme de 2 centímetros y la superficie de contacto de 20 centímetros cuadrados, la presion seria de 125 kilogramos por decímetro cuadrado al principio de la operacion. Cuando ya hay menos penetracion en el firme y la carga es doble, se puede suponer esta presion de 350 kilogramos por decímetro cuadrado. Cuando la carga sea de 8000 kilogramos, llegaria hasta 727 kilogramos por decímetro cuadrado, cuya presion es bastante para producir un asiento suficiente aun en los materiales mas duros.

Indica Polonceau los mejores medios de cargar los rodillos, y emplea cajones laterales suspendidos del bastidor, proponiendo tambien toneles que pudieran llenarse de agua á voluntad, colocados en la parte anterior ó en la posterior, ó lateralmente al cilindro. El colocar la carga dentro del cilindro, tendria la ventaja de cargar menos el eje, evitando rozamientos con los cojinetes; pero seria dificultosa su colocacion y tambien el descargar; ademas produce un movimiento en sentido contrario de la rotacion, y choques que aumentan el tiro y destruyen el cilindro. Si para evitar estos efectos se emplea en el interior del cilindro agua, habria el inconveniente de tener que evitar el

que pudiera salirse, y para hacer variables las cargas seria necesario dividir el interior en compartimientos; el hacer estos perpendiculares al eje seria difícil y valdria mas hacerlos longitudinales, que se llenasen por medio de tubos: este sistema no ha llegado á ponerse en práctica.

El cilindro empleado por Polonceau era de fundicion, hueco, con un bastidor de madera, en cuyos lagueros se apoyaban los cojinetes en que giraba el eje; en los traveseros se aseguraba la lanza y anillos para enganchar.

Desde que se generalizó el uso del cilindro compresor, se trató de mejorar los medios de hacerle de fácil manejo: pues uno de los inconvenientes de estos aparatos es lo embarazoso de su empleo. Otro de sus inconvenientes consiste en la colocacion de la carga para que no ocupe gran espacio, y que su centro de gravedad esté lo mas bajo posible para que tenga la estabilidad necesaria. Ademas, la complicacion de las piezas de su armadura exige ciertos cuidados y esmero en su conservacion, y á veces no es fácil en el campo reparar las piezas; tambien es necesario no dejarle abandonado para evitar que quiten las tuercas ú otras piezas importantes. Su transporte es tambien difícil para conducirlo fuera de carreteras.

Modificaciones introducidas en los cilindros compresores

Por estas razones se ha tratado de introducir diferentes mejoras en los primitivos cilindros, las cuales vamos á indicar.

Haugeau se propuso corregir el defecto de la elevacion de carga y evitar la pérdida de tiempo en enganchar y desenganchar los tiros; pues era necesario trasladarlos á uno ú otro lado poniendo dos lanzas ó cadenas para los cambios de marcha. Dispuso la carga de modo que el centro de gravedad viniese á pasar próximamente por el eje del cilindro, y para cambiar de direccion sin desenganchar el tiro, lo verificaba por medio de un anillo de fundicion; este tenia una garganta y en ella encajaba un anillo de hierro forjado al que se une por un lado la lanza y por otro un gancho. Por esta disposicion se podia dar la vuelta al tiro sin desengancharle ni girar el cilindro, pues el

Cilindro de Haugeau

anillo era el que giraba en la garganta de la rueda ó anillo horizontal de fundicion. Esto es ventajoso, porque si se da la vuelta al cilindro cuando se afirma una carriera, descompone el piso; sin embargo la disposicion indicada tiene el inconveniente de ocupar mucho espacio y ser cara la construccion del cilindro.

Cilindro
de Renault

Regnault y Bonillant introdujeron algunas mejoras en el cilindro compresor en 1847, con el objeto de conseguir su mas fácil transporte. El cilindro que construyeron tenia 1,8 metros de diámetro y 1,3 de ancho ó llanta (1): su peso era sin armadura de 4000 kilogramos y 5500 con ella, pudiéndose aumentar una carga de 9000 kilogramos.

La mejora introducida consiste en la colocacion de cuatro ruedas de pequeño diámetro, las cuales cuando funciona estan levantadas, y al contrario, se bajan y apoyan en el suelo cuando es necesario, levantándose el eje del cilindro para que por medio de dichas ruedas pueda conducirse cómodamente. Esta maniobra se verifica por medio de dos barras dentadas que están en los extremos del eje, y corren entre dos guias verticalmente; están aseguradas á los largueros y por medio de una manija se las puede hacer subir ó bajar. Tambien hay un freno unido al bastidor para poder modificar la velocidad en las bajadas.

Las figuras 140 y 141 representan la proyeccion vertical y horizontal de este cilindro, y en las cuales las mismas letras, indican los mismos objetos.

A. Carreton sobre el cual esta montado el cilindro.

B. Largueros del carreton.

C. Cilindro.

D. Eje del cilindro.

E. Cójinetes fijados á los largueros B por los cuales pasa el eje.

F. Barras dentadas ó crics fijadas por la parte inferior del

(1) Su precio en Francia, 3000 á 3200 francos. Tambien los han construido despues de 2 metros de diámetro y uno de llanta

eje, en las que engranan las ruedas dentadas *G*, las cuales se hacen girar por medio de las manijas *H*, cuando no funciona el cilindro.

JJ. Guías unidas fuertemente á los largueros.

K. Rueda catalina para fijar las ruedas dentadas *G*, y unir-las á su eje.

L. Barra del freno movida por un tornillo de presión *M*.

NN. Caja para la carga.

O. Compuertas para vaciar las cajas.

Las innovaciones indicadas nos parecen buenas; sin embargo que subsiste el inconveniente de que la carga adicional queda muy elevada sobre el eje del cilindro; tambien es un inconveniente el estar situada la carga en las partes posterior y anterior, pues cabecea con facilidad el aparato, perjudicando á los animales que tiran del cilindro; el colocarla á los costados ofrece sin embargo la dificultad de cargar los extremos del eje de rotacion dificultando el giro.

Estas son las principales mejoras que tenemos noticia se hayan introducido en la construccion de los cilindros; vamos ahora á indicar alguna de las aplicaciones de estos en las carreteras de España, y despues detallaremos las distintas operaciones que exige su empleo y sus aplicaciones

El empleo del cilindro compresor se ha generalizado mucho en Francia, Alemania é Irlanda. En España tambien se emplea hace algunos años, y aun se ha tratado por la direccion de obras públicas de dotar á cada distrito de algunos para el servicio de las carreteras; sin embargo salen caros en la mayor parte de las provincias por la escasez de fábricas de fundicion y lo subido de los trasportes, pudiendo citar como ejemplo uno construido en Vizcaya, cuyo costo fué de 9000 reales y su transporte á Madrid ascendió á 5500 reales.

Empleo
del cilindro
en España.

En varias carreteras de España se han empleado con éxito. El ingeniero D. Felix Uhagon en una Memoria inserta en el *Boletín de Fomento* de 1848, hace ver los ventajosos resultados que obtuvo con un cilindro de fundicion; su peso era de vacío

3400 kilogramos próximamente y su carga adicional de 5000; el diámetro y llanta tenía 1,25 metros. El cilindrado se verificó en algunas experiencias en las dos capas del firme, el cual estaba compuesto de cuarzo duro; echó pizarra tierna para facilitar la union y un recebo de arena. Se pasó 8 veces por cada punto de la primera capa y 10 por la segunda. Este trozo después de sufrir las aguas del invierno estaba en el verano siguiente en excelente estado.

En otro trozo en que no se pudo verificar el cilindrado de primera capa, ni la mezcla de piedra blanda, los resultados no fueron tan satisfactorios.

Hemos empleado cilindros de fundicion cuyo diámetro era de 1,4 metros, habiendo obtenido con ellos buen resultado; su peso sin carga adicional era de 4500 kilogramos. El modo de ejecutar las operaciones en las carreteras en que los hemos empleado está incluido en el resúmen que damos á continuacion de las reglas que deben tenerse presentes.

SEGUNDA SECCION.

RESÚMEN DE LAS REGLAS QUE DEBEN TENERSE PRESENTES PARA EL EMPLEO DEL CILINDRO COMPRESOR.

Clase
y dimensio-
nes del ci-
lindro

Se ha visto anteriormente que el diámetro mas conveniente para los cilindros no estaba bien determinado; sin embargo, para evitar el exceso de fuerza de tiro en los de pequeño diámetro y las demas desventajas que reunen, y al mismo tiempo la dificultad en el manejo que ocasionan los de gran diámetro, creemos que es un término medio proporcionado adoptar 1,5 á 1,8 metros (1).

(1) El tiro disminuye en razon directa de la raiz cuadrada del diámetro.

La llanta muy ancha no asienta en todos los puntos del firme por la curvatura de este; bajo este aspecto seria conveniente un metro para conciliar esta circunstancia con la estabilidad del cilindro.

El empleo de los rodillos de hierro tiene ventajas por la posibilidad de variar la carga convenientemente, pudiendo cuando se descargan trasportarse mejor. Los cilindros de madera se estropean con facilidad, aun poniendo aros de hierro. Los rodillos de piedra de pequeño diámetro, que se acostumbran pasar por los paseos públicos, no producen efectos sensibles en los afirmados de carreteras, y solo pueden servir para igualar el piso cuando no haya circulacion de carruajes. Podrian hacerse de mayor diámetro para darles el peso conveniente; pero como es necesario que la carga sea variable habria que tenerlos de varios pesos.

Los rodillos de piedra tienen la ventaja de no exigir los cuidados que los de hierro, por la complicacion que hay en estos de cojinetes, tornillos, tuercas, etc.; así es que en países abundantes de piedra y en que no haya facilidad de proporcionarse cilindros de hierro sin gran coste, deberán construirse algunos de piedra de distintos diámetros.

En cuanto á la colocacion de la carga en los cilindros, ya hemos indicado las dificultades que presentan, al tratar del cilindro perfeccionado de Regnault.

Todos están conformes en que la carga del cilindro debe ser variable; es decir, que debe aumentarse esta á medida que se va macizando el firme. Esto se concibe fácilmente, teniendo presente la mayor fuerza de tiro al principio de la operacion por la movilidad y desigualdades del firme. Si en los primeros pasos hubiese que ejercer exceso de tiro, las caballerías para hacer pie descompondrian el firme. Además, á medida que este se va macizando exige mayor presion, y por consiguiente mayor carga el cilindro.

Carga
del cilindro
y número de
pasos.

Cuando el material sea tierno, la carga no deberá ser tan considerable como cuando el firme esté compuesto de materia-

les duros; así el decir en absoluto cuántas veces se ha de pasar el cilindro vacío y cargado para todos los casos, no es conveniente.

Aunque no es posible obtener por medio del cilindrado un firme que reúna las condiciones de solidez que otro ya macizado por la acción constante del tránsito, sin embargo, se consigue con esta operación cierta unión del material, de modo que al empezar el tránsito sobre un firme nuevo, no se descompone por los pies de las caballerías ó las ruedas de los carruajes y conserva mejor su perfil.

Para graduar la carga, se pasa primero el cilindro vacío cierto número de veces; el límite del cual no se debe exceder para la economía de la operación, es difícil establecerle. El pasarle gran número de veces parece sería lo más conveniente; el cilindrar menos de lo necesario no produciría el efecto deseado; con el objeto pues de que se cumplan las condiciones precisas lo mejor posible, de modo que no se prolongue demasiado la operación, produciendo así gastos considerables, parece que debe verificarse hasta que el firme quede en disposición de que los carruajes no causen impresiones en él (1).

Generalmente hay que pasar el cilindro vacío tres ó cuatro veces aumentando la carga progresivamente. Una de las señales que indican haberse obtenido la consolidación suficiente y que sirve de guía para terminar la operación, es cuando cesan las ondulaciones causadas en el firme por el paso del cilindro antes de echar el recebo.

Si se pasase el rodillo al principio de la operación con mucha carga, penetraría en el firme descomponiéndole y también aplastaría las piedras salientes.

Cuando se pasa el cilindro las primeras veces, resultan asientos y desigualdades en la piedra, los cuales es necesario arreglar y macizar antes de pasarle cargado, y lo mismo cuando se pasa cargado antes de echar el recebo.

(1) El número de pasos depende principalmente de la naturaleza de los materiales y espesor del firme, y también de la naturaleza del suelo ó capa, y de la humedad ó sequedad del firme.

Con el objeto de evitar la pérdida de tiempo que resultaría en la carga y descarga, si se pasase el cilindro en trozos cortos, conviene adoptar longitudes en las cuales se verifiquen los pasos de vacío en un día entero próximamente, y lo mismo con las diferentes cargas, lo cual se deduce por experimentos preliminares. Esta distancia viene á ser generalmente de 400 á 500 metros.

Para el tiro pueden emplearse bueyes ó caballerías; los primeros son de gran utilidad en muchos casos por la fuerza y sufrimiento, y porque no se necesita velocidad en la marcha.

El cilindrar las diversas capas del firme, ofrece grandes dificultades para el tiro como no se empleen materias de agregación con la piedra.

El recebo que se emplee ha de tener las circunstancias que se dieron á conocer al tratar de la construcción del firme. Debe echarse despues que la piedra ha unido ó hecho clavo suficientemente; es decir, cuando cesan las ondulaciones; de otro modo se mezclaria con la piedra y seria difícil obtener un buen firme.

Recebado.

El recebo debe echarse poco á poco pasando sucesivamente el cilindro hasta que resulte una superficie lisa.

Despues de macizado el firme por el paso del cilindro, hay que poner una capa de recebo de unos 2 centímetros de grueso, para que no ejerzan una acción tan directa sobre él los carruajes y caballerías antes que concluya de consolidarse por el tránsito. Despues de dar paso conviene volver á pasar el cilindro, para igualar y concluir de consolidar borrando las impresiones de las ruedas.

Las estaciones mas convenientes para cilindrar un firme son el otoño y la primavera, para que en el verano ó en el invierno pueda ya estar consolidado; en el primer caso, porque estando movediza la piedra, y descomponiéndose en el verano, no es la estación oportuna para remediar los desperfectos; en el segundo caso, porque el invierno es la estación en que ejerce

Estaciones convenientes para cilindrar.

mayor accion el tránsito, y por consiguiente conviene que esté consolidado lo mejor posible el firme para dicha estacion.

Si hay necesidad de pasar el cilindro en tiempo seco, debe regarse, lo cual produce un exceso de gasto ó no es fácil ó posible verificarlo á veces, pero como sin la humedad conveniente se produce poco ó ningun efecto, es preciso siempre aprovechar las lluvias para verificar la operacion.

Cuando el recebo está mojado se adhiere y apegota en la llanta del cilindro y es necesario despegarle: esta circunstancia es perjudicial, pues se arrancan pedazos de firme que salen envueltos en el recebo; por esto conviene que el riego se verifique antes de echar el recebo ó que se aproveche despues de las lluvias para echarle y pasar el cilindro cuando no llueva ya.

La cantidad de recebo que conviene emplear viene á ser de 0,06 metros cúbicos por metro cuadrado de firme.

Servicio
del cilindro
y anotacio-
nes que de-
ben tomarse

Para el servicio del cilindro se necesita ademas del mayoral para el ganado, el encargado de dirigir la operacion. Conviene que este sea uno mismo, si no para toda la carretera, al menos para grandes trozos, cuando sea gran longitud la que haya de cilindrarse; esto exige que sea un capataz ó sobrestante; tambien se necesitan algunos operarios para que sigan al cilindro y remedien los desperfectos á medida que se formen, para lo cual debe tenerse la piedra necesaria en la márgen del camino. El cilindrado debe verificarse de los costados al centro para que se descomponga menos el perfil.

El encargado de la operacion debe estar instruido de todas las principales operaciones que debe ejecutar, y aun llevarlas escritas; debe tambien llevar un registro en el que anote el número de pasos del cilindro, vacío, á media carga y con esta completa; el peso del cilindro y de las cargas; el tiempo empleado; la cantidad de recebo empleada y su calidad y todas las observaciones que crea convenientes. Tambien será conveniente el verificar catas antes y despues de la operacion, para ver el asiento que hace el firme.

El costo de las operaciones depende de lo que se pague en

el país por las yuntas ó caballerías, y los jornales de operarios. Generalmente se puede cilindrar en 10 horas de trabajo unos 17 kilómetros, suponiendo un solo paso del cilindro, y se necesita con carga completa 4 ó 5 yuntas de bueyes. Este dato servirá para calcular el costo.

TERCERA SECCION.

APLICACIONES DEL CILINDRO COMPRESOR.

El cilindro compresor tiene principalmente aplicacion para consolidar los firmes recién construidos. Al verificar un recargo sobre un firme antiguo para reponer su desgaste, se está en un caso análogo al de los firmes nuevos, y por consiguiente tendrá tambien buena aplicacion el cilindro.

Efectos del cilindrado: su influencia en los gastos de conservacion de firmes ordinarios.

Ademas de los efectos que evidentemente se obtienen para la mejor viabilidad por medio de la operacion del cilindrado, han querido demostrar algunos ingenieros que se obtienen tambien notables ventajas económicas, pues disminuyen los gastos de conservacion, cilindrando una carretera cuando se construye, hasta dos terceras ó tres cuartas partes del gasto que es necesario en el caso de que no se hubiese verificado esta operacion.

Para averiguar esto el ingeniero Fournier hizo varias experiencias sobre firmes cilindrados, fijando perfiles transversales despues de hecho el asiento, y que rectificadas al cabo de un año, le dieron el desgaste sobre un fondo ó base dura de un firme antiguo en que empleó recargos: el desgaste era mayor á medida que el espesor del recargo era menor, pues el rozamiento y la presion ejercian mas influencia en este caso.

El desgaste que se verificó hizo ver, segun este ingeniero, de un modo positivo, que el cilindrado no disminuye notable-

mente los gastos de primera conservacion; así una carretera cilindrada se desgasta mas uniformemente, pero con tanta rapidez como sin cilindrarse; por lo que es nula la economía de materiales, y la de mano de obra es solo debida á la diferencia de cuidado que exige y que no será sino una pequeña porcion del gasto necesario para cilindrarse.

Hace mencion Fournier de las indicaciones de Dumas, el cual dice que con su sistema de firmes perfectamente unidos, se disminuia el gasto de material, pues podia suponerse que las tres cuartas partes del material que se destruye en un firme lo es por aplastamiento, y el resto por el rozamiento; de suerte que, segun esto, una carretera muy lisa debe desgastarse tres veces menos que otra con baches, y esto, dice Fournier, está en completo desacuerdo con sus esperiencias.

El ingeniero Jordan al examinar la opinion anterior dice que se necesitaban esperiencias mas positivas para concluir que el desgaste no era inferior en firmes cilindrados que sin cilindrarse, y que hasta que estas no lo indicasen, habia que admitir que en un firme comprimido por el cilindro resultaba mas enlace en los materiales y menos desperdicio de ellos, resistiendo mejor al rozamiento de las llantas, pues ofrece una superficie mas dura y unida.

El ingeniero Graeff en una Memoria publicada en los *Anales de puentes y calzadas* de 1851, se ocupa de examinar las ventajas que pueden obtenerse del sistema de conservacion misto, que se ha indicado en el lugar correspondiente, por medio del empleo del cilindro, deduciendo consecuencias ventajosas de su empleo, particularmente en las carreteras muy frecuentadas. Ademas de obtenerse por su medio firmes unidos y de buen perfil, se desgastan segun este ingeniero paralelamente y de un modo *casi matemático*.

Los firmes cilindrados tienen tambien la ventaja de que producen menos detritus que los que no se cilindran. El tránsito es por ellos mas cómodo y se economiza material y mano de obra de conservacion. Los esperimentos verificados por este ingeniero le dieron á conocer, que cuando se emplea el cilindro

sobre capas de material muy delgadas, era difícil y mas costosa la operacion, y adopta como grueso mínimo conveniente para el empleo del cilindro de 8 á 10 centímetros.

Gasparin en su Memoria citada al tratar de los gastos de conservacion, se hace cargo de la opinion de Graeff y deduce, que si bien la operacion del cilindrado es conveniente para colocar gradualmente los materiales de un firme en la mejor posicion de equilibrio en que deben quedar, y disminuye la fatiga de los animales de tiro, no es económico en mano de obra y como sucede á toda mejora, sigue la ley indicada por Dupuit de que *á una mejora de viabilidad corresponde un aumento de gasto*; la verdadera economía consiste en el material, pues la mano de obra aumenta. Puede decirse que el cilindrado es un gasto suplementario para procurar mayor facilidad á la circulacion y economizar la fuerza que tienen que emplear los animales de tiro para consolidar el firme cuando este no se cilindra, y no evita el tener que componer roderas en un firme nuevo en que se emplee; sin embargo, no debe vacilarse en su empleo por los beneficios que, segun se ha dicho, reporta el tránsito. Analiza Gasparin cuándo deberá emplearse el cilindro relativamente á las consignaciones de que pueda disponerse, estableciendo fórmulas que ligan las diversas circunstancias en que pueda encontrarse una carretera con relacion á dichas consignaciones.

La verdadera economía que puede obtenerse en la conservacion de una carretera, si se emplea el cilindro compresor al construirla ó repararla, comparativamente con otra en que no se verifique, es difícil de averiguar. Desde luego es necesario no confundir el desgaste producido por las ruedas de los carruajes por solo el rozamiento de rodadura, con la destruccion de material producida por los choques y aplastamiento, cuando el firme está desigual y las piedras no están bien embutidas ó unidas entre sí: así es que bajo este punto de vista, indudablemente se ve que se destruirá menos el firme cuando esté cilindrado que cuando no le esté, pues presentará una superficie mas lisa. Una carretera cilindrada recién construida se descompone menos por los pies de las caballerías y por los carruajes, que

1914
The following is a list of the names of the persons who were present at the meeting of the Board of Directors of the [Company Name] held on [Date] at [Location].

QUINTA PARTE.

PRIMERA SECCION.

OBSERVACIONES SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE EJECUCION DE LAS OBRAS EN SU PERFECCION, Y ORGANIZACION DE TRABAJOS.

No es nuestro ánimo el analizar las cuestiones relativas á los sistemas económicos de ejecutar las obras públicas en sus relaciones con el desarrollo de la riqueza, ó por la mayor ó menor facilidad que estos medios proporcionen para promoverla, etc., solo tenemos por objeto el hacer algunas observaciones sobre su influencia en la perfeccion de las obras y las complicaciones que puede resultar en su ejecucion en los diferentes casos.

Tres son los sistemas principales de ejecutar las obras públicas; el de empresas, el de contratas y por administracion; en este último caso pueden ser ejecutadas por trabajadores libres ó por confinados.

En las obras por empresa, la administracion contrata con particulares la ejecucion de las obras, cediéndoles en pago los productos y rendimientos de las mismas ó estipulando concesiones en compensacion de la industria de los empresarios ó del capital que adelantan.

Sistemas de
ejecucion

Este sistema ofrece inconvenientes relativamente á la buena construccion de las obras; sucede con frecuencia que la empresa cede la ejecucion de aquellas con primas considerables y los arrendatarios quieren sacar el importe de sus arriendos y la ganancia mayor posible á costa de la perfeccion de la obra, y aun sucede que la subarriendan á su vez, siendo mayores por consiguiente los inconvenientes que resultan. No es á veces suficiente la mayor vigilancia de inspeccion para evitar todos los fraudes á que dan lugar estos casos, y si bien es cierto que no es tan grave el mal para el Estado, si la empresa tiene la responsabilidad de las obras; sin embargo, resultan perjuicios á la circulacion por el entorpecimiento del tránsito durante las reparaciones.

Las empresas deben ser aceptadas cuando la importancia y vasta estension de las obras exigen considerables sumas que la administracion no se halle en estado de aprontar, pero que puede suplir ventajosamente por medio de concesiones.

En las obras por *contrata*, el gobierno abona á los contratistas el importe de las que ejecutan en plazos estipulados y bajo condiciones determinadas. Por este medio tambien recibe el Estado un adelanto en obras, y resulta menos complicada la contabilidad que en el caso de verificarse por administracion.

Del mismo modo que las obras por empresa, está sujeto este sistema á los inconvenientes de los subarriendos, que á pesar de estar prohibidos, sin embargo no es fácil á veces el evitar. Hay tambien la circunstancia de que algunas veces los contratistas hacen bajas considerables en la subasta, y en este caso quieren economizar en la construccion de las obras las cantidades suficientes para obtener ganancias ó al menos no perder.

Para vigilar la buena ejecucion de las obras en este caso, es necesario, cuando son en gran estension, establecer un numeroso personal y por consiguiente un aumento de gasto. En este sistema resultan, si las obras no tienen la solidez necesaria, mas perjuicios que en el de verificarse por empresa, en razon á que no siendo la garantía de tiempo sino de meses ó de uno ó dos años generalmente, queda al Estado el gravámen de las re-

paraciones á que deñ lugar las obras , en el caso de no tener la solidez dicha.

Sin embargo de establecerse numerosas condiciones para la ejecucion de las obras por contrata, no pueden á veces preverse todas las circunstancias que ocurren ó algunas han de quedar por precision vagas, y resultan de aquí cuestiones entre el encargado de la inspeccion de las obras y el contratista; este se cree perjudicado en algunos casos y reclama como *aumentos de obra ó mejoras* las que no suelen existir ó que no deben tomarse como tales.

En estos casos no tiene la verdadera direccion de las obras el ingeniero , porque la direccion completa no es posible , cuando en ellas los operarios son elegidos y pagados por el contratista ó empresario , si bien el ingeniero puede despedirlos.

Las obras por *administracion* las ejecuta el gobierno por medio de sus delegados , haciendo los abonos en ellas á medida que se ejecutan , lo cual exige fondos inmediatamente disponibles si no han de sufrir entorpecimientos , que son tan perjudiciales en el curso de las obras cuando tienen lugar.

Las obras por *administracion* , no debe entenderse que son las verificadas esclusivamente á jornal , es decir , por operarios á los cuales se abonan sus haberes directamente , tanto para las obras de tierra , como para las de afirmados , de fábrica , etc. Esto no se verifica generalmente , pues de este modo se complicaria mucho la contabilidad de las obras y su direccion ; así es que se dividen los trabajos en varias clases y se ejecutan , unos á jornal , otros por ajustes parciales ó totales , ó por *destajos* con cuadrillas ú operarios á los cuales se abonan las cantidades de obras que ejecutan , y en fin se emplean tambien las *contratas* parciales. Debe estudiarse el método que conviene seguir en cada clase de obras (1).

Todos estos medios son los que en último resultado emplean

(1) En la instruccion para promover y ejecutar las obras públicas de 10 de octubre de 1843 artículo 18, dice podrán tener lugar en las obras por administracion , los ajustes y destajos.

los contratistas en obras de consideracion, con la diferencia en este caso, que su interés está en el mejor partido que pueden sacar de estos ajustes, destajos, etc., relativamente á su precio aun sacrificando la buena construccion, y los delegados del gobierno tienen el deber, al mismo tiempo que de sacar el mejor partido económico posible, conciliar la buena ejecucion de las obras con sus precios.

Este sistema que puede llamarse misto es del que mejor partido puede sacarse relativamente á la perfeccion, y aun á la economía en las obras, contando con el celo y la probidad que siempre deben distinguir á los encargados de su direccion.

Qué obras conviene ejecutar á jornal, por ajustes, destajos, etc.

Espuesto lo que antecede, vamos á ocuparnos de examinar qué método de los indicados conviene adoptar para ejecutar todas las partes que constituyen las obras de carreteras, como son las esplanaciones, mano de obra de afirmado, suministro de materiales para el mismo, construccion de las obras de fábrica y acopio de los materiales que estas exijan; entrando en algunos detalles sobre sus ventajas é inconvenientes, indicando tambien las que resultan del empleo de confinados.

Todo trabajo en que no sea fácil que pueda haber fraude y que verificado á jornal, complicaria la contabilidad de las obras, puede hacerse por contrata, bien sea esta privada ó por subasta ó pública licitacion; tal es, en las obras de carreteras, el suministro de materiales para el firme, mampostería, sillería y maderas; esta clase de trabajos se pueden inspeccionar fácilmente y admitir ó desechar los materiales despues de acopiados.

Hay que observar que muchas veces se obtendrian precios mas económicos en ajustes parciales ó totales que en la subasta pública; pues las combinaciones de los licitadores hacen ilusorias las ventajas que pudieran obtenerse en los precios.

Los materiales para las obras procedentes de fabricaciones como ladrillo, cal, ferreteria, no pueden obtenerse en general de buena calidad por medio de licitaciones; las bajas que se hiciesen en las subastas, serian probablemente á costa de la

calidad del material, dando lugar al suministrarlo á cuestiones desagradables para su recepcion, y muchas veces viniéndose á parar á rescisiones de contratos como único medio de evitarlas.

Esta clase de materiales deben buscarse en las mejores fábricas, ó fabricarlos espresamente de la calidad que se desee, cuando esto sea posible ó conveniente, haciendo con los dueños ajustes prudentes. En las licitaciones para estos suministros, toman parte, las mas veces, personas que no pueden competir; y lo barato sale carísimo por la calidad del material, molestias y entorpecimientos que se ocasionan.

En las obras de tierra podrian indudablemente adoptarse las subastas si todo fuese desmontes, pues en este caso aun concluida la obra puede verse si está bien ejecutada; pero habiendo tambien terraplenes, no es conveniente este método, pues en estos puede haber fraude en su ejecucion; por lo que si ha de obtenerse la perfeccion debida en esta clase de obras, deben hacerse á jornal, ó para evitar la complicacion de la contabilidad, establecer pequeños destajos de media legua á lo mas, con precios de que pueda obtener una ganancia regular al destajista, escogiendo personas prácticas y honradas, y no permitir bajo pretesto alguno, que esté al frente del destajo otro que el mismo destajista; de este modo se podrá conseguir una perfeccion que será la que mas se aproxime á la de las obras hechas á jornal, y sin la complicacion administrativa de estas.

Los destajos pueden ejecutarlos trabajadores prácticos con sus cuadrillas; y en este caso suele ser comun á todos ellos la distribucion del valor del destajo; de este modo pueden obtenerse mas ventajas en los precios, pero tiene el inconveniente, de que careciendo de recursos, si no se les paga con puntualidad, les es difícil continuar la obra.

La clase de personas que se dedican á la ejecucion inmediata de las obras públicas, que son útiles cuando á su práctica reunen honradez, podria en nuestro concepto moralizarse con-

Detalles sobre los diferentes medios de ejecucion de cada clase de obras.

venientemente no admitiendo en una obra pública aquellos que hubiesen observado mala conducta en otra.

Para conseguir este objeto, cada ingeniero podria pasar las notas relativas al comportamiento de aquellos que hubiesen cumplido mal en las obras, y la direccion de Obras públicas circularlas á los distritos; esto en nuestro concepto disminuiria los conflictos que con frecuencia tienen lugar por admitirse en las obras, sin saberlo, sujetos de mala conducta.

En los ajustes ó contratas de las obras de tierra, ocurren algunas dificultades que es necesario prever. Cuando el terreno es muy desigual y en particular cuando se hacen los desmontes á media ladera, es muy dificultoso, ó por mejor decir, no es posible hacer la medicion exacta de la obra despues de ejecutada, aunque se dejen señales ó damas al intento. Resulta, que si el ajuste se ha hecho por unidades cúbicas y hay alguna duda despues, da lugar á cuestiones el no poder rectificar la medicion; por esto es mejor verificar las contratas ó ajustes de esta clase de obras por unidades lineales, es decir, á tanto metro ó kilómetro de carretera ya esplanada, calculando en el proyecto y rectificando la medicion al verificarse la obra, antes de proceder á hacer los ajustes, y de este modo no hay perjuicio ni para la administracion ni para el contratista. Este método puede tambien tener aplicacion cuando se construye el camino en esplanacion sobre el terreno natural mismo, ó no esceden los desmontes y terraplenes próximamente de medio metro de altura máxima, incluyendo la caja y cunetas en el ajuste.

El verificar los ajustes por unidades cúbicas no tiene tanto inconveniente cuando se construyen terraplenes, porque son mas fáciles de medir en general despues de efectuados. Tanto en estos, como en el caso de los desmontes cuando se pagan por volúmen, se necesita tener cuidado de que los destajistas ó contratistas no alteren las rasantes y taludes con el objeto de que resulte mas obra; por el contrario, en el caso de ser los ajustes por unidades lineales de carreteras, pueden alterarlas con el objeto de que resulte menos, haciendo al efecto los taludes menos inclinados y elevando las rasantes. Para evitar estos

fi audes, se rectifican cuando se ejecutan las obras y se examina tambien la inclinacion de los taludes en tiempo oportuno.

Los ajustes de obras de tierra pueden hacerse dándose las herramientas, ó siendo estas de cuenta del contratista. El primer caso complica la contabilidad y direccion de las obras, por tenerse que llevar el alta y baja de aquellas, pero en general suele ser necesario el suministrarlas, y en este caso no debe abonarse el último plazo del ajuste hasta haberse verificado su entrega. Cuando se hacen las obras de movimiento de tierras por destajos, un sobrestante puede vijilar varios de ellos, aunque no debe esceder la estension de dos leguas; en este caso no es el objeto del sobrestante el hacer que no se pierda tiempo, pues en el interés del destajista está el cuidar de ello, sino el dar las instrucciones ó vijilar la buena ejecucion de las obras.

Las cunetas y cajas se ajustan generalmente por unidades lineales.

Cuando se ejecutan las esplanaciones á jornal es necesario disponer la brigada que tenga á su cargo un sobrestante, de modo que pueda este ejercer una vijilancia continua sobre ella, así es que no esceden generalmente de 200 operarios colocados en puntos próximos. Las cuadrillas en que se dividen estas brigadas tampoco deben ser de muchos operarios, con el objeto de que los capataces, á cuyo cargo están, vigilen bien los trabajos y cuiden de que no pierdan tiempo, pues si fueran en gran número no seria fácil el conocer y vijilar á cada individuo particularmente.

En esta clase de obras, como en todas las que se ejecutan á jornal, el sobrestante forma las listas de los haberes deven-
gados por la brigada con arreglo á las listas parciales de los capataces, é interviniendo á estos, es decir, llevando cuenta separada de los operarios que trabajan diariamente, para lo cual debe asistir á las horas de pasar lista y tomar los apuntes convenientes al visitar las obras. La lista debe pasarse á las horas de entrada, á las de salida y en las de merienda y almuerzo.

Ademas de la vijilancia é intervencion de los sobrantes á los

capataces y aun de estos para los primeros, pues deben presenciarse los pagos, hay la de los ayudantes y del director de las obras; que debe ser frecuente y sin tiempo determinado, tomando tambien notas para la debida inspeccion y vigilancia. Los pagos deben hacerse en mano propia á los operarios con presencia, si es posible, del director de las obras ó persona delegada por él: el entregar el importe de jornales á personas que aparecen como interesados de los que trabajaron, ó á los capataces cuando no aparecen los individuos mismos que figuran en las listas, si no está bien justificado, puede dar motivo á fraudes que deben evitarse.

El afirmado de las carreteras consta de dos partes: una el acopio del material y otra la mano de obra para preparar la piedra ó machacarla y colocarla en caja. El acopio de material debe hacerse en general por ajustes ó contratas hasta ponerle al pie de obra, pues el verificarlo de otro modo complicaria mucho la direccion y contabilidad, y no hay inconveniente, en verificarlo así.

El machacar la piedra puede hacerse á jornal, por ajustes ó destajos pequeños y por contratas en grande. El primer método tiene la ventaja de que puede exigirse y obtenerse mas perfeccion, pero suele salir caro, pues no puede hacerse que se verifique el trabajo tan rápidamente como cuando se buscan operarios por ajuste. En este último caso, aunque puede adelantarse mas, se necesita mucha vigilancia para que los operarios no tiren alguna cantidad de piedras gruesas para no tenerlas que machacar; y al recibir los cargos, si se miden todos, lo cual es embarazoso, atribuyen las faltas como pertenecientes á la merma natural que tiene la piedra machacada, la menor cantidad de huecos que resultan y desperdicio de la piedra que salta. Así, el recibir los acopios de piedra ya machacada tiene ventajas bajo los puntos de vista enunciados, y para esto se calculará el precio atendiendo á la disminucion de volúmen que resulta, de lo cual se ha tratado en la construccion; sin embargo, este método tiene el inconveniente de dar lugar á cuestiones cuando no viene la piedra con las dimensiones convenien-

tes, y estos efectos son mas de temer si se verifica por ajustes ó contratas en gran cantidad.

Cuando la piedra se machaca dentro de caja, no debe permitirse el arreglarla antes de examinar cada capa de por sí. En este caso se paga por unidades lineales de firme; tambien se ajusta de este modo la colocacion y arreglo de la piedra cuando se machaca fuera del firme. El hacer ajustes ó contratas del afirmado incluyendo todas las operaciones ó sea por unidades lineales de firme concluido, está sujeto á graves inconvenientes, porque es difícil el vigilar bien la buena ejecucion de todas las operaciones.

La construccion ó reparacion de los empedrados puede hacerse tambien por contrata, por ajustes ó á jornal. El verificarlo por contrata en grandes estensiones de empedrado, tiene los inconvenientes indicados en las demas obras y los contratistas tratan de hacer la mayor cantidad en el menor tiempo posible, con perjuicio de la buena ejecucion; así es que no se dispone la base del modo conveniente, el asiento de las piedras se hace mal, del mismo modo que el relleno de juntas. El hacerlo por ajustes con empedradores que lo ejecuten con sus cuadrillas, aunque puede tener parte de los inconvenientes anteriores, no es tan arriesgado como verificarlo por grandes contratas. El medio mejor para conciliar la simplificacion de la contabilidad con la perfeccion de los trabajos, es el hacer por contratas ó ajustes el suministro de material, y verificar á jornal ó por pequeños ajustes la mano de obra.

Las reparaciones de los empedrados pueden hacerse tambien por contratas, teniendo la obligacion el contratista de tener en buen estado el firme por un tanto anual; en este caso el contratista tiene interés en verificar las reparaciones lo mas tarde posible y lentamente. Si la contrata se hace pagando por medida superficial, tiene interés en levantar la mayor estension posible de empedrado, y lo mismo pagando por *piezas* en el adoquinado; pues en este caso, ademas de la mayor ganancia por colocar muchas, hay la circunstancia de que siendo las primeras mas difíciles de sacar, levantadas estas, le tiene cuenta

reponer las contiguas. Para las reparaciones ó conservacion de empedrado, es lo mejor tener cuadrillas de empedradores con la vigilancia debida.

Puede ser útil el consultar un artículo del ingeniero L'Eveille, inserto en los *Anales de puentes y calzadas de 1841*, en el cual se detallan los medios de ejecucion de los empedrados y las condiciones que deben establecerse cuando se contraten.

Las obras de fábrica, particularmente cuando son de consideracion por su magnitud, su número ó dificultad de su ejecucion, no deben contratarse en su totalidad, pues da lugar á muchos fraudes y puede comprometerse su seguridad y solidez. El hacerlas á jornal seria el medio mas á propósito para que tuvieran la perfección debida; pero puede adoptarse el verificar ajustes parciales con maestros acreditados, solo del número de obras de que puedan estar estos al frente. Los materiales pueden ser objeto de ajustes separados con las mejores fábricas, canchales, etc. La mano de obra de las fundaciones de puentes no debe nunca contratarse si se quiere ejecutar debidamente; además ofrecen dificultades estos ajustes en razon á las eventualidades á que están sujetas las obras de esta especie.

Aplicacion
de los
confinados
á las obras.

Hemos indicado al principio de esta parte, que las obras por administracion se ejecutan por trabajadores libres ó por confinados, vamos á esponer algunas consideraciones sobre las ventajas é inconvenientes de este último medio de ejecucion.

Los confinados que trabajan en las obras públicas se dividen en brigadas, con la dotacion correspondiente de plana mayor, que se compone en general, de un comandante, ayudantes, furriel y un capataz por cada brigada, el cual pertenece tambien á gente libre, y además hay la dotacion necesaria de cabos de vara, que viene á ser uno por cada diez confinados. Cuando se trabaja en despoblado hay capellan y médico para servicio esclusivo del presidio.

Segun la parte adicional á la ordenanza de presidios de 2 de marzo de 1845, la plana mayor y los confinados disfrutaban las siguientes gratificaciones del fondo de las obras á que están

destinados: 12 reales diarios el comandante; 9 reales el primer ayudante; 6 el segundo, 4 el furriel; 2 reales cada capataz; 42 maravedises los cabos de vara; 40 maravedises los confinados obreros ó de oficio y 24 los ordinarios; estas tres últimas clases solo disfrutan la gratificacion indicada los dias que se trabaja. La plana mayor cobra tambien sus sueldos de los fondos de las obras; cuando está el presidio destinado esclusivamente á ellas, y de estos fondos se abona tambien la sopa matutina, acuartelamiento, trasporte de efectos y conduccion de confinados enfermos.

La aplicacion de confinados á las obras públicas tiene ventajas económicas en algunos casos y es desventajosa en otros, segun vamos á indicar.

Los presidios pueden depender directamente de las obras, es decir, estar á las inmediatas órdenes y disposicion del director de aquellas, ó ser suministrados por el correccional de alguna provincia y depender de los gefes de este. En el primer caso es cuando mejor partido se saca de él; en el segundo es menos ventajoso su empleo, tanto en la parte económica, como por los embarazos que suele crear esta dependencia y cuestiones á que dan lugar entre los gefes del correccional y el director de las obras; unas veces sobre la hora de salida y de vuelta á los trabajos; otras por las exigencias relativas á pluses, á los acuartelamientos, etc., de suerte que en general puede decirse que no deben aplicarse bajo este sistema los presidios.

Cualquiera que sea la organizacion del presidio, cuando quiera aplicarse en trabajos que ocupen gran longitud, no es fácil ejercer una vigilancia regular sobre los confinados, sin aumentar demasiado la escolta, lo cual trae un aumento de gasto. La lentitud de la marcha de los confinados y la circunstancia de tener que retirarse del trabajo á una hora tal, que puedan entrar de dia en las casernas y tambien salir de ellas cuando es ya entrado el dia, hace tambien perder mucho tiempo, sobre todo en el caso indicado de estar esparcidos ó á gran distancia de los acuartelamientos.

Si los trabajos ocupan corta estension y se emplea poca

gente por esta causa, los gastos de plana mayor se distribuyen entre pocos operarios y por consiguiente se aumenta el costo de la mano de obra.

Si para evitar la pérdida de tiempo en los trabajos á gran distancia de las casernas, se construyen provisionales en los puntos en donde se trabaja, la gran seguridad que exigen estas, hace que sean costosas, y en las obras de caminos, en las cuales las de esplanacion puedan concluirse sucesivamente en corto tiempo, resultaría un gran exceso de gastos de esta movilidad y frecuente construccion ó habilitacion de edificios que hay que abandonar á poco tiempo, sin contar la complicacion que esto produce en la direccion de la obra.

En los días de nieblas no pueden sacarse los confinados á los trabajos por la mayor esposicion que hay para su seguridad, y como hay ciertos gastos constantes, resulta un perjuicio en el costo.

Así, la mas ventajosa aplicacion de los confinados tendrá lugar cuando sean de la inmediata dependencia de las obras, y si estas son de larga duracion en uno ó mas puntos. Para ver la economía que puede resultar de la aplicacion en estos casos, puede leerse la Memoria del ingeniero D. Lucio del Valle, inserta en la *Revista de Obras Públicas*, n.º 1.º de 1853; el cual ha sabido sacar todo el partido posible de los confinados en la carretera de las Cabrillas. En el mismo caso se hallan las obras de la presa del canal de conduccion de aguas á Madrid, en la que los dificiles trabajos á que ha dado lugar se han ejecutado tambien por confinados con ventajas positivas.

Relativamente al caso que hemos indicado de no depender directamente el presidio de las obras, no podemos deducir tan buenos resultados, al menos del que hemos empleado en carreteras, pues salieron algunas obras tan caras como ejecutadas por trabajadores libres, á pesar de ejercer la vigilancia posible en los trabajos, pero faltaba la conveniente organizacion, que como ya indicamos al principio, no es posible en el caso de que se trata.

Las ventajas que pudieran obtenerse de los confinados de-

saparecerán y será al contrario anti-económico su empleo, si se exige el cumplimiento de la orden relativa al aumento de plus á los confinados fijando este en 2 rs. y con mucho mayor motivo la relativa á la gratificación mandada abonar por real orden de 23 de febrero de 1853 á toda la fuerza de tropa destinada á la seguridad del presidio en los acantonamientos: puede verse sobre este particular el artículo inserto en la *Revista de obras públicas*, número 9 de 1853 del ingeniero D. Ramon del Pino, en el cual se demuestra la inconveniencia de esta disposición.

SEGUNDA SECCION.

Haremos por último algunas indicaciones sobre los documentos relativos á la organizacion de trabajos, cuando se construye una carretera por administracion; algunos de los cuales se aplican tambien cuando se ejecuta por contrata.

Documentos
relativos á
la organiza-
cion de tra-
bajos.

No nos ocupamos de los estados y documentos cuya formacion se dispone oficialmente; presentamos solo los que hemos adoptado en algunas obras y que pueden variar ó modificarse en cada caso, segun juzgue conveniente el director de estas.

Se ha dicho que las cuadrillas que trabajan á jornal están al inmediato cargo de los capataces; estos forman las listas de los haberes de sus cuadrillas, ademas de vigilar y dirigir las obras del trozo de que estén encargados; sin embargo suele haber un encargado especial de formar las listas ó *alistador* en cada brigada, si no se quiere distraer de las demas ocupaciones al sobrestante ó uniformar mejor aquellas que si las forman los capataces, pues en algunos casos suelen no saber escribir ó estar poco enterados de operaciones aritméticas. Esta circunstancia no debe extrañarse, pues cuando las obras son de alguna estension, hay que valerse para capataces de personas que se procura principalmente sean prácticos, pero que no suelen reunir todas las circunstancias que seria de desear. El

modelo núm. 1 (al fin de esta seccion), es el de las listas que se forman á la conclusion de cada dia, y que en el caso de hacerse por los capataces, las pasan estos al sobrestante. Con arreglo á ellas se forman despues las listas semanales, quince- nales ó mensuales, núm. 2, que sirven de justificantes de las cuentas que se pasan á la Direccion de obras públicas.

El ingeniero ó ayudante encargados de las secciones, de- ben tener conocimiento diario de la fuerza que trabaja, y con este objeto se forma por los sobrestantes el resúmen, que pue- de ser con arreglo á los modelos núms. 3 ó 4, y cuando traba- jen confinados, con arreglo al núm. 5.

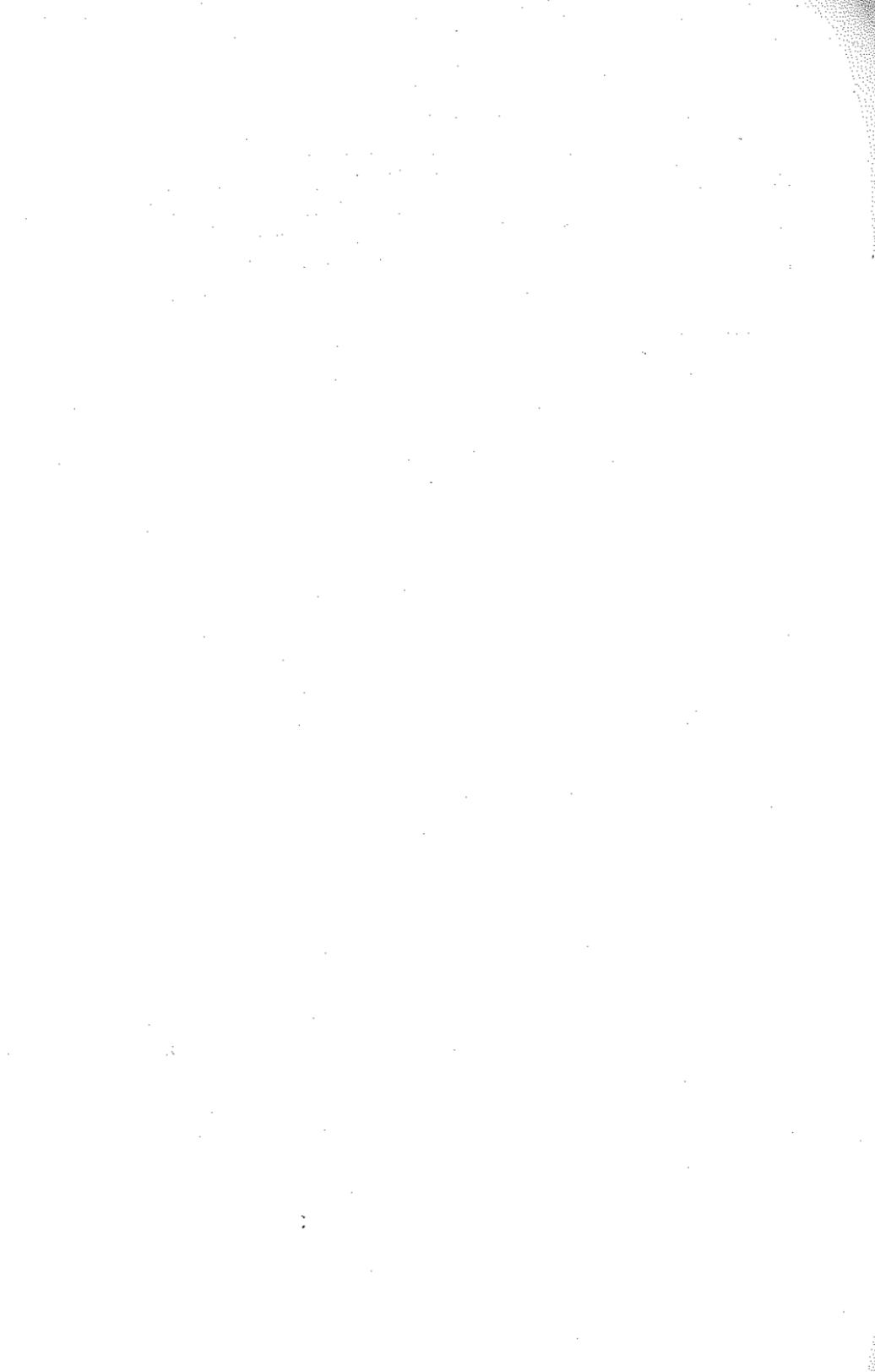
Tambien deben formarse por el director de las obras las instrucciones para cada clase de empleados en ellas: para los sobrestantes las relativas al trazado, perfiles ó acotaciones del trozo de esplanacion de que estén encargados, ó las relativas á la construccion de afirmado ú obras de fábrica, etc.; á los capataces, las relativas á los detalles de construccion del trozo de que estén encargados, arreglo de cuadriilas, carros y acé- milas; á los recibidores de materiales, sobre la cantidad y ca- lidad, colocacion etc., de los que han de recibir y modelos para la cuenta y razon; á los guardas de almacen, el modelo de la libreta de alta y baja diaria de herramientas, justifican- tes de las entregadas y estados periódicos de existencias. Es- tos no deben entregarlas si no está el pedido visado ó hecho por el sobrestante, ni hacerse cargo directamente de las que entreguen los operarios ó destajistas, pues antes deben exami- narse por los sobrestantes las faltas que resulten en el número ó los desperfectos, para exigir la responsabilidad á quien cor- responde.

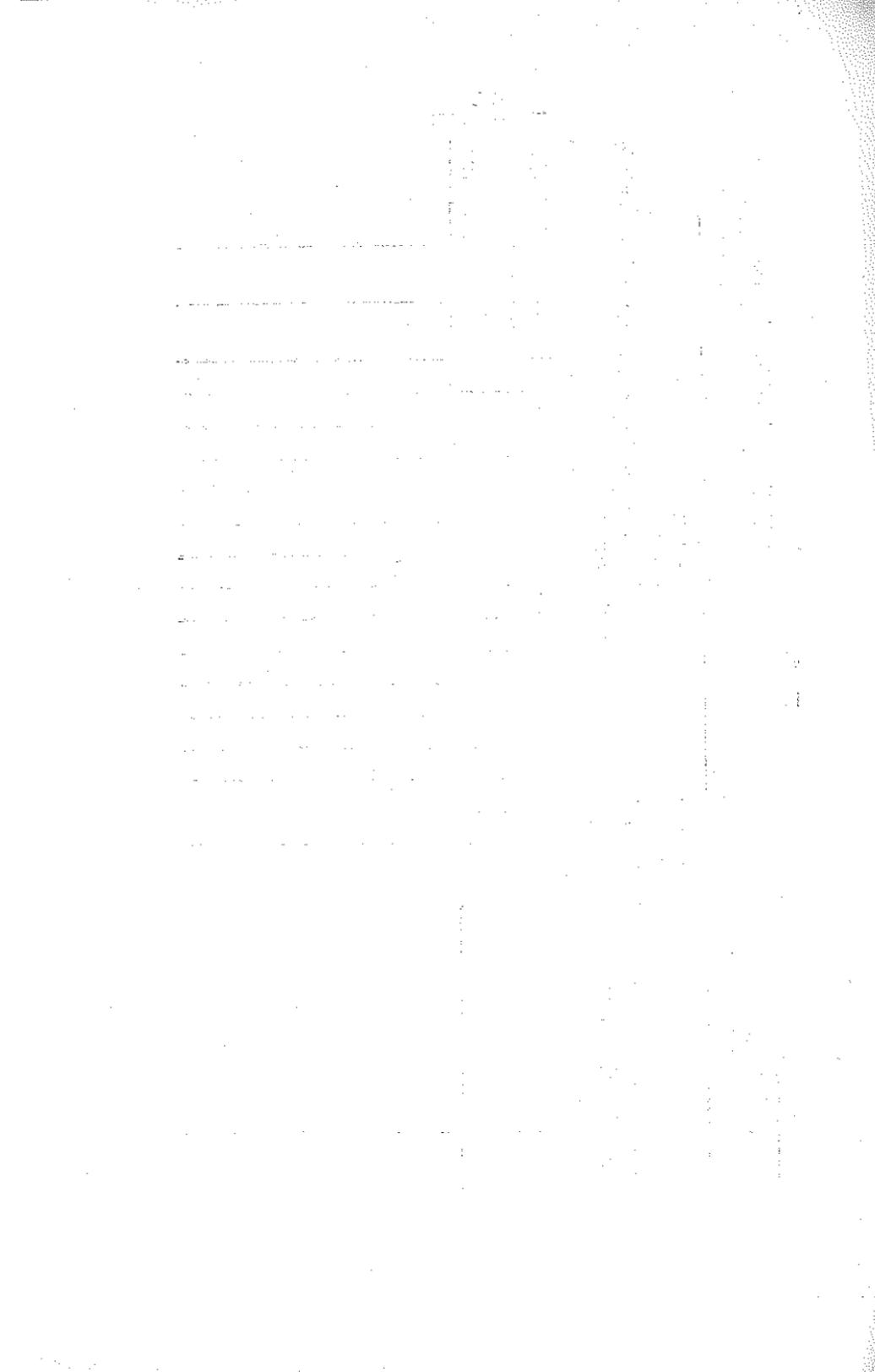
Suele haber talleres para la construccion ó reparacion de herramientas, de los cuales hay un encargado especial, que debe llevar el alta y baja de herramientas en recomposi- cion, de los materiales empleados, jornales y tiempo em- pleado, etc.

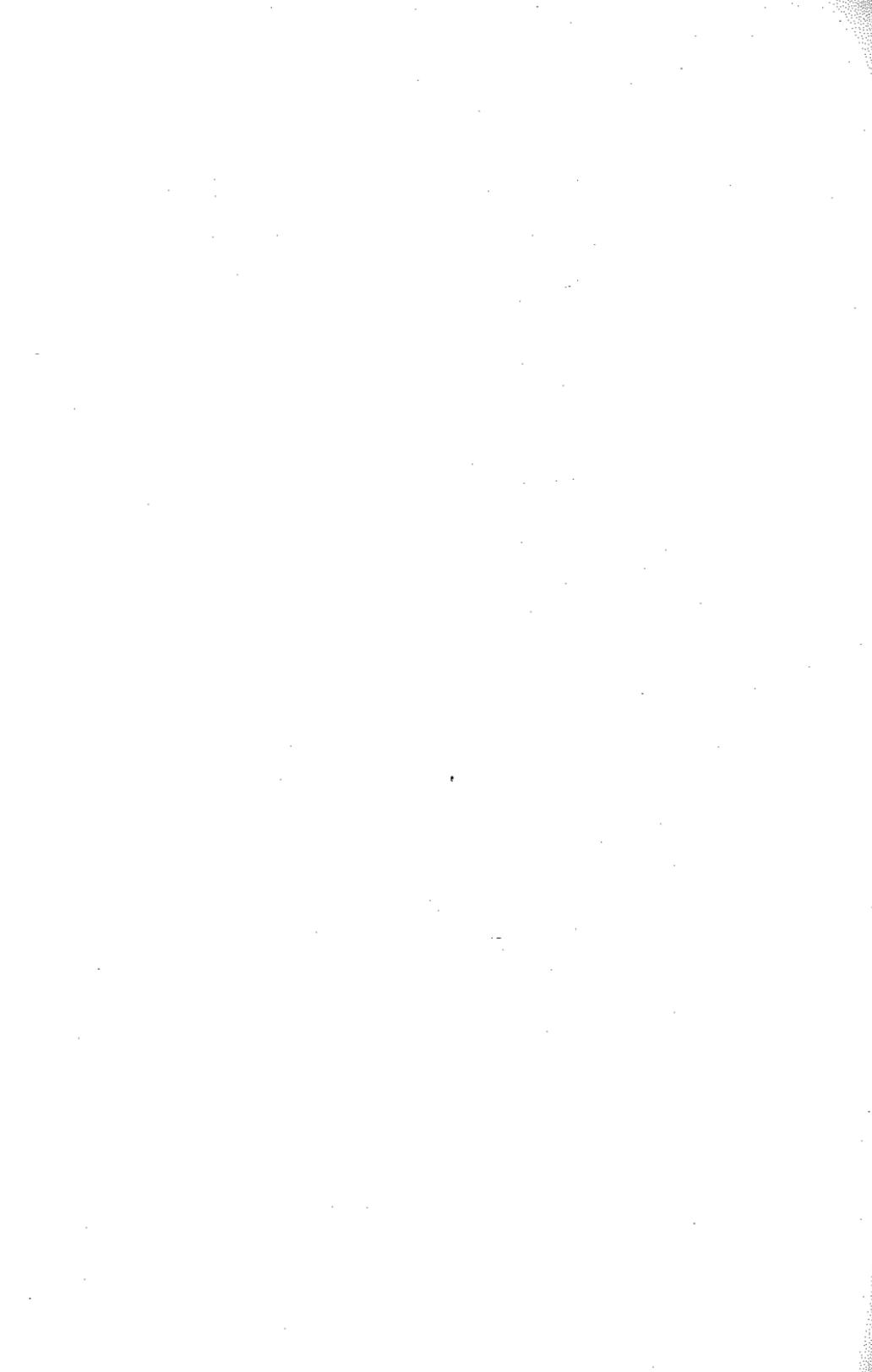
La numerosa documentacion oficial que se exige en el ser- vicio de construccion y conservacion de carreteras, haria ne-

cesario formar un escrito muy voluminoso, si hubiese de darse cuenta de todas las órdenes que hay sobre estos objetos.

Los que hayan de ocuparse de esta parte del servicio de obras públicas, encontrarán reunidas todas ellas en el suplemento que publica la *Revista de Obras públicas*, cuyo título es *Coleccion de leyes, decretos, órdenes, reglamentos é instrucciones relativos al ramo de obras públicas*.







Mes de _____ N.º 1. Año _____

DISTRITO DE _____ OBRAS DE LA CARRETERA DE _____

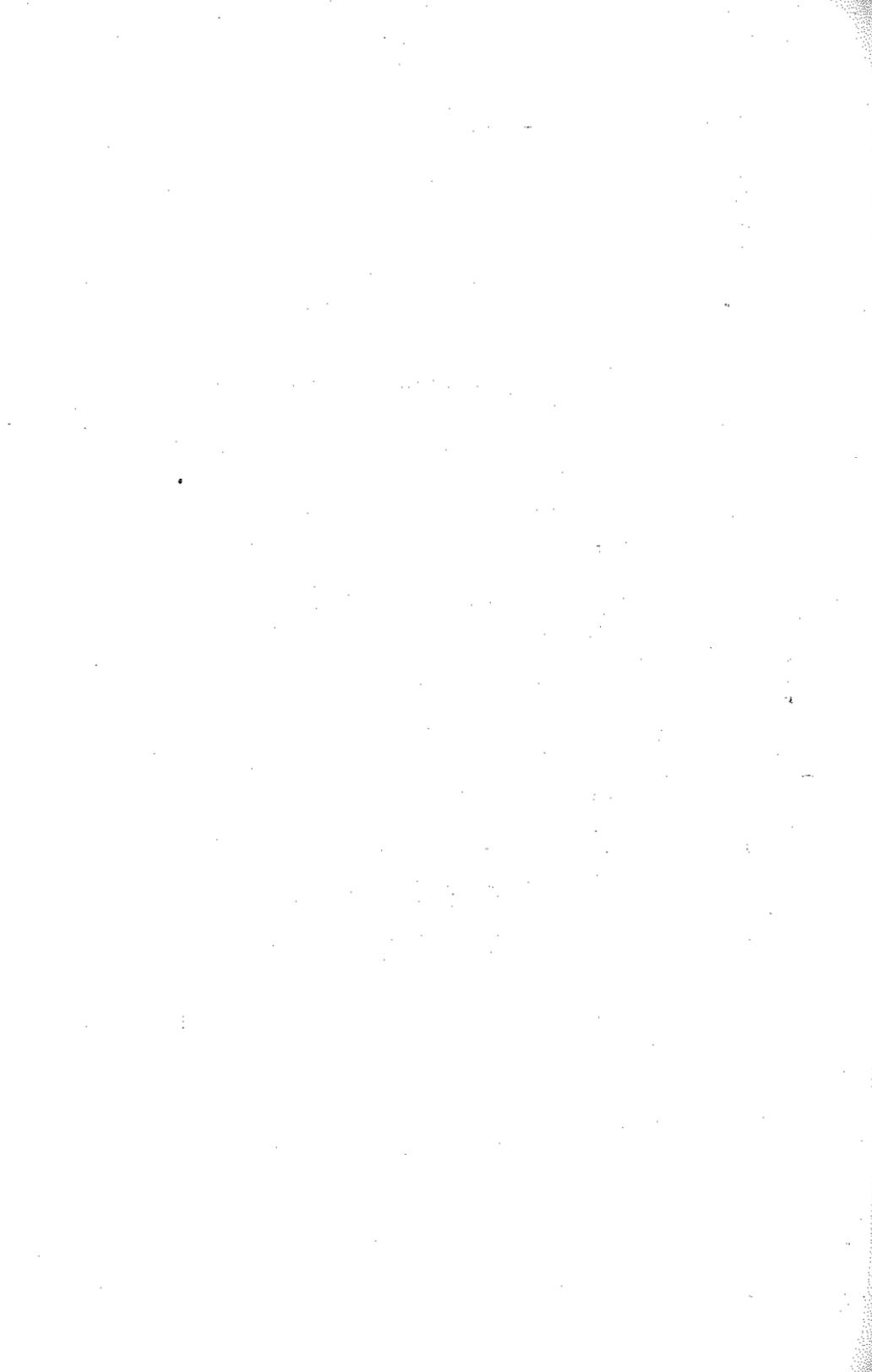
BRIGADA NÚM. _____

Estado de la fuerza existente en este día.

	TOTAL.
Capataces.	•
Peones.	•
Guardas.	•
Aguadores.	•
Arrieros.	•
Caballerías.	•
Carros.	•

El jefe de la brigada

NOTAS. _____



Mes de _____ día _____

N.º b. _____

Año _____

DISTRITO DE _____

OBRAS DE LA CARRETERA DE _____

CONFINADOS _____

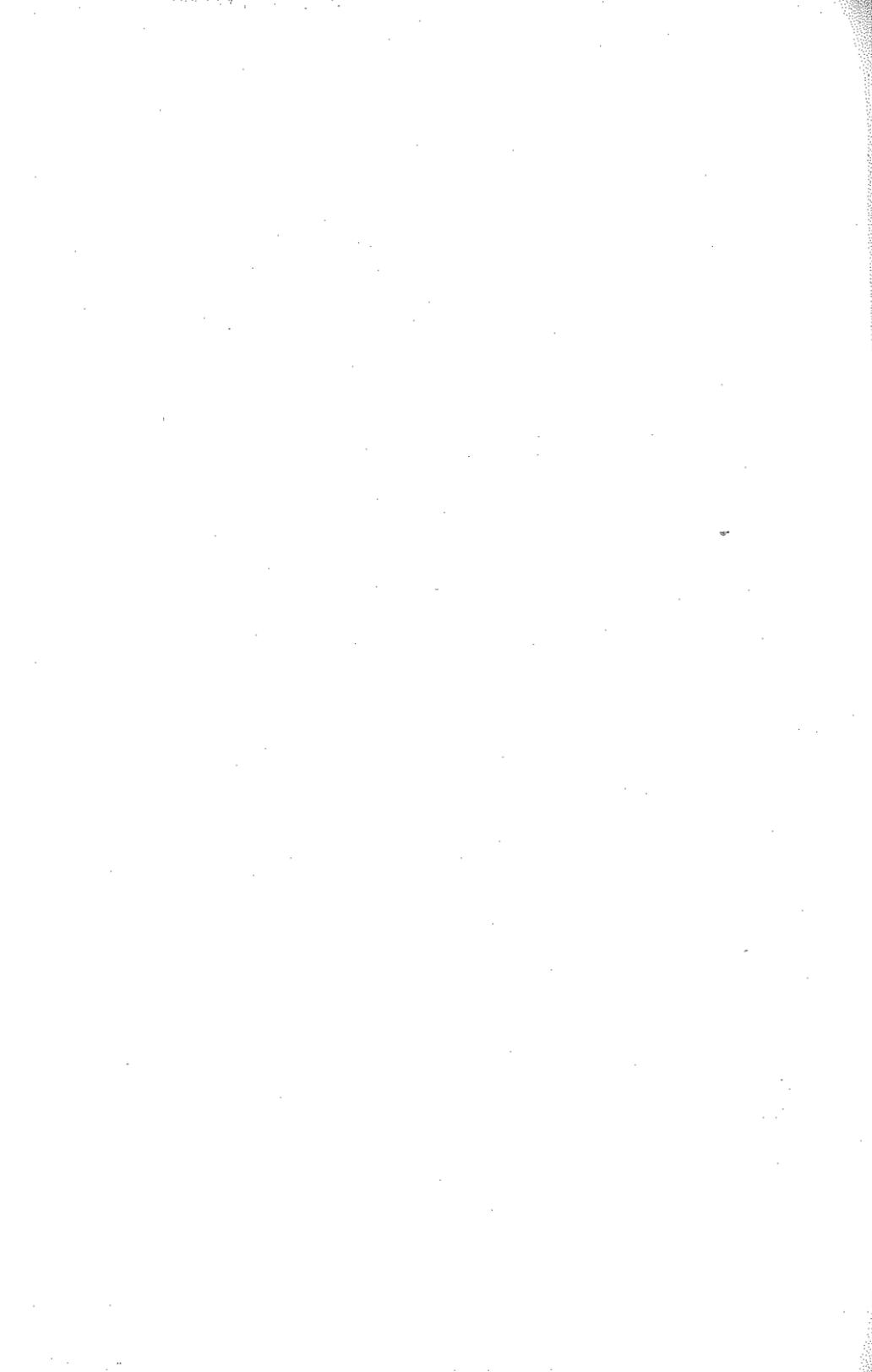
BRIGADA NÚM. _____

Estado de la fuerza existente en este día.

	Cabos.	Obreros.	Peones.	Aguadores.	Rancheros.	Carrros.	Caballerías.	TOTAL
Fuerza de ayer.....								
Altas.....								
Suma.....								
Bajas.....								
Quedan para hoy.								

NOTAS.

ALTAS.		BAJAS.	
CLASES.	NOMBRES.	CLASES.	NOMBRES.
MOTIVOS.		MOTIVOS.	



SESTA PARTE.

DE LOS CARRUAJES Y ANIMALES DE TIRO

EMPLEADOS EN LOS TRASPORTES.

Aunque no sea esencial para nuestro objeto, es interesante al menos el saber las cantidades de accion que desarrollan los motores animados que arrastran las cargas ó carruajes, los diferentes efectos que se producen en diversas circunstancias, y la influencia que deben tener en la traccion ó tiro las diversas partes de que se componen los carruajes.

Observaciones
generales

Daremos á conocer los diferentes resultados que sobre estas cuestiones se deducen de las investigaciones técnicas y matemáticas del ingeniero Courtois, igualmente que de las de Devilliers, Dupuit y otros. Se dan algunas fórmulas, lo cual exige algun conocimiento de cálculo, pero son sencillas y aun los que no estén en disposicion de hacer las sustituciones necesarias en cada caso, podrán sacar partido de los resultados que se esponen.

Investigaciones
de Courtois.

De los carruajes.

Clasificación
de los carros
de transporte,
ventajas é in-
convenientes
respectivos.

Al examinar Courtois los diferentes carros que están destinados á trasportar cargas, analiza los que generalmente circulan por las carreteras de Francia, de los cuales pueden compararse algunos con los usados en España, y aplicar los resultados sin inconveniente: así distinguiremos los carros de varas entre las que va enganchada la primera ó única caballería que lleva el tiro, y que están montados sobre dos ruedas, y los montados sobre cuatro ruedas, como las galeras, en los cuales las varas están reemplazadas por la lanza colocada en el eje delantero; las ruedas pertenecientes á este eje son mas pequeñas que las traseras, con el fin de poder hacer girar convenientemente el juego.

La primera clase de carros tiene dos inconvenientes difíciles de remediar: el primero, la elevación del centro de gravedad de la carga, lo cual espone á volcar el carro; y el segundo, que sobre un camino en pendiente, una parte del peso carga sobre el lomo de la caballería de varas cuando baja, y si sube, la parte posterior de la carga tiende á levantar la caballería, disminuyendo de este modo su fuerza de tiro (1).

A pesar de estos inconvenientes se prefieren á veces á los de cuatro ruedas, porque para el mismo peso útil exigen una fuerza de tracción menor, son mas fáciles de construir, menos costosos y mas ligeros. Se consigue con ellos mas efecto ó trabajo con menos gasto; pero se estropean las caballerías de varas inutilizándose frecuentemente.

El transporte en los carros de cuatro ruedas exige mas fuerza de tracción, pero es mas seguro y los objetos que se trasportan corren menos riesgo.

(1) Los carros de dos ruedas llevan generalmente reatadas las caballerías y tienen el inconveniente de que estas tienen la tendencia á seguir la misma huella y hacen mas pie y destruyen mas.

Las ruedas son las partes mas importantes de un carruaje, hacen que se verifique el tiro mas ó menos fácilmente, y exigen mucho estudio para determinar la forma y dimensiones que mejor convienen sobre cada especie de via.

Las ruedas constan de los *cubos*, para introducir los estremos del eje; los *rayos* ó *radios*; las *pinas*, que forman los segmentos del contorno; y la llanta de hierro que cubre estas pinas y es la que rueda sobre el suelo.

Las ruedas deben ser bien redondas y centradas y tener su circunferencia exterior é interior de modo que estén en un mismo plano perpendicular al eje; sus llantas deben ser bien cilíndricas y el eje ha de atravesar el centro del cubo. Las ruedas que no llenan estas condiciones fatigan inútilmente las caballerías, produciendo, particularmente cuando no son bien redondas, mayores inconvenientes que los que pueden resultar de las irregularidades del camino.

El cubo debe tener bastante radio para facilitar la union de los rayos y disminuir su longitud. Las pinas deben construirse con maderas curvas, para que las fibras no estén cortadas y resistan mejor á los choques (1).

La *caja* del carruaje está sostenida por las ruedas por medio del eje; contiene esta caja la carga ó peso útil.

En cada sistema de carros existe una relacion determinada entre su peso cuando esta vacío y con la carga que puede contener, ó del peso muerto al peso útil. Esta relacion varia del tercio á la mitad; es decir, que un carro puede llevar al menos un peso doble, y cuando mas uno triple del suyo.

Puede suponerse el peso de los carros de dos ruedas, sobre cuatro quintos á lo mas del de estas; en los de cuatro, sobre una y cuarto veces; el peso de las ruedas varia proporcionalmente al ancho de las llantas y al cuadrado del radio, porque el peso

Relacion
entre el peso
muerto
y el útil.

(1) Las ruedas suelen tener sus rayos en el mismo plano, pero tambien las hay de rayos oblicuos que forman una rueda única, esto es ventajoso para los ejes, pero produce mas inconvenientes en el firme.

de la unidad de su volúmen permanece sensiblemente constante.

Resistencias
que se oponen á la
marcha de
los carruajes.

Si una rueda perfectamente circular, de material duro y pulimentado, se coloca verticalmente sobre un plano horizontal indefinido, tambien muy duro y pulimentado, el menor impulso bastaria para ponerla en movimiento, y como no experimentaria en este caso resistencias, podria continuar aquel indefinidamente; pero el estado fisico de los cuerpos se opone á que se verifique esto, porque la materia de que se componen las ruedas y los caminos no es muy dura ni está pulimentada, y no son por consiguiente incompresibles; sucede que cuando una rueda se mueve por un impulso dado, experimenta ciertas resistencias que amortiguan el movimiento sucesivamente, hasta hacerla parar, si un nuevo impulso no viene á reemplazar las cantidades de movimiento absorbidas por las resistencias.

Para determinar estas, hay que notar, que si una rueda no fuese exactamente circular y bien centrada, serian sumamente variables en cada caso, así que para los cálculos se supone que están bien construidas.

Cuando las ruedas de un carruaje ruedan sobre un suelo horizontal, experimentan en general tres clases de resistencias que son; la que proviene de las desigualdades mas ó menos sensibles que presenta el suelo, y va encontrando sucesivamente la llanta de la rueda; la que resulta de la compresibilidad ó elasticidad del suelo, que cede con la presion, cuya resistencia varia con la flecha de curvatura, pero permanece constante para una misma rueda, y en fin, la que proviene del rozamiento del eje en el cubo. Las dos primeras se confunden cuando las desigualdades son de una altura muy pequeña.

Es importante saber apreciar las resistencias anteriores para tratar de vencerlas.

Fórmulas
para hallar
las resistencias.

Daremos á conocer las fórmulas halladas para cada caso, aunque sin estendernos en el modo de determinarlas, que espone Courteis, espresando únicamente los resultados.

Sea

p , peso de la rueda.

h , altura de una pequeña salida ú obstáculo que haya sobre el plano horizontal.

r , radio de la rueda.

F , fuerza aplicada á la rueda que pasa por su centro y comprendida en el plano de este.

Estableciendo las ecuaciones de equilibrio se deduce

$$F = p \sqrt{\frac{r^2}{(r-h)^2} - 1}$$

Si en esta fórmula se hace h *cero*, es decir, se supone que no hay obstáculo ó aspereza alguna, siendo la rueda perfecta, horizontal y cilíndrica, resulta $F=0$, lo que dice que no debe encontrar ninguna resistencia á moverse esta rueda en un plano horizontal.

Si las asperezas ó desigualdades son excesivamente pequeñas, se reduce la fórmula á

$$F = p \frac{\sqrt{2rh}}{r} \quad (1)$$

que da la espresion del esfuerzo que hay que ejercer para hacer rodar una rueda sobre un suelo horizontal, que presente pequeñas desigualdades uniformemente distribuidas y de alturas sensiblemente constantes.

Si el suelo estuviese sin desigualdades pero fuese compresible, cederia cierta cantidad bajo el peso de la rueda; de este modo rodaria como sobre un plano inclinado: sea h' la altura del plano inclinado que corresponde á la parte hundida ó la flecha, se obtiene en este caso:

$$F = p \frac{\sqrt{h'}}{2r-h'} \quad (2)$$

y siendo el suelo compresible y elástico se reduce á

$$F = p \frac{\sqrt{2rh'}}{2r} \quad (5)$$

Cuando el suelo está cubierto de desigualdades de muy pequeña altura h y es algo compresible, siendo h' la altura media ó flecha de las partes compresibles, el esfuerzo necesario para mover la rueda es

$$F = p \frac{\sqrt{2r}}{r} \left(\sqrt{h} + \frac{1}{2} \sqrt{h'} \right) \quad (4)$$

Siendo el suelo elástico y sin desigualdades tomará una curvatura de flecha constante h con ruedas del mismo peso p , cualquiera que sea el radio; la espresion se reduce entonces á

$$F = p \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2h}{r}} \quad (5)$$

espresion que ha hecho decir á Edgeworth y Dupuits, que la resistencia que experimenta una rueda moviéndose sobre un plano horizontal ó el *rozamiento de rodadura* es proporcional á la presion y está en razon inversa de la raiz cuadrada del radio; pero observa Courtois que esta circunstancia no puede tener lugar sino en el caso de que el peso de la rueda sea independiente de su radio, y la altura h de la flecha de curvatura constante, cualquiera que sea el diámetro de la rueda. Esto podria verificarse en el caso de un suelo compuesto de maderos transversales de un grueso igual y de una misma elasticidad, en los cuales se hicieran rodar ruedas del mismo peso que difiriesen solo en la magnitud de sus diámetros; pero los firmes no pueden compararse á esta clase de suelos, por lo que la fórmula última no puede aplicarse sino en circunstancias escepcionales.

Tambien se obtiene la fórmula

$$F = \frac{pr \operatorname{sen} a}{r-h} \quad (6)$$

en que a representa el ángulo que la vertical forma con el radio que pasa por el extremo del arco de contacto de la parte hundida, ó donde cesa este hundimiento.

La compresibilidad del suelo hace que las ruedas penetren á cierta profundidad, como sucede con frecuencia, y se concibe que las ruedas de un mismo peso penetrarán tanto menos cuanto mayor sea su diámetro. Sucederá con frecuencia que estas cesarán de penetrar, cuando la seccion al nivel del suelo de las ruedas que se comparan presente la misma superficie; entonces $r \operatorname{sen} a$ será constante para todas las ruedas, y si h es bastante pequeña para poderse despreciar con respecto á r , resultará que en estas circunstancias la resistencia estará en razon inversa del radio.

Si como tiene lugar generalmente, el peso p de las ruedas es funcion del radio en vez de ser constante, entonces en vez de disminuir la resistencia con la magnitud del radio, puede aumentar. Si, por ejemplo, el peso de las ruedas aumenta proporcionalmente al cuadrado del radio, como tiene lugar en los cilindros, designando por l el grueso de las ruedas y por m el peso de la unidad de volúmen, y siendo π la relacion de la circunferencia al diámetro, se obtiene la fórmula

$$F = \pi m l r \sqrt{2rh - h^2} \quad (7)$$

Cuando la cantidad de debajo del radical sea constante, la resistencia será proporcional al radio.

Cuando en la fórmula (6) h es muy pequeño relativamente á r y puede despreciarse, resulta

$$F = p \operatorname{sen} a. \quad (8)$$

Lo que dice que para ruedas del mismo peso, la resistencia es proporcional al seno del ángulo a .

Si el suelo es tal que el ángulo a permanece constante para ruedas del mismo peso, la resistencia será también constante; es evidente que los firmes ordinarios no pueden gozar de esta ventaja, que parece solo pertenecer á los carriles de los caminos de hierro.

Comunmente la resistencia á la rodadura en un firme horizontal y en buen estado, permanece constante para una rueda del mismo peso y del mismo radio, y la experiencia da frecuentemente que esta resistencia está en razon inversa del radio y se puede admitir sin error sensible para ella la espresion

$$F = \frac{pd}{r}; \quad (9)$$

d es un coeficiente que debe hallarse experimentalmente, y que varia con la naturaleza y estado del camino; resulta que el rozamiento de rodadura transforma la presion en una fuerza horizontal igual á $p \frac{d}{r}$.

La fórmula 9 da, cuando $r=1, d = \frac{F}{p}$,

lo que proporciona un medio fácil de obtener d . En efecto si se toma una rueda de un metro de radio y de un peso cualquiera, y se mide con cuidado el esfuerzo necesario para sostener su movimiento sobre un firme horizontal, la relacion entre este esfuerzo y el peso de la rueda dará el valor d que conviene adoptar en el firme, sobre que tiene lugar la esperiencia.

Considerando una rueda que gira sobre su eje rodando sin resbalar nada en un camino horizontal, conservando las mismas anotaciones anteriores y llamando P el peso que carga sobre la rueda, r_1 el radio del eje y f el coeficiente del rozamiento que tiene lugar en el punto de apoyo de este eje, se deduce por fin valiéndose del principio de las velocidades virtuales

$$F = \frac{(P+p)d}{r} + \frac{Pfr_1}{r} = \frac{pd}{r} + P \frac{(d+fr_1)}{r} \quad (10)$$

Esta ecuacion conviene á los carros de dos ruedas y á los de cuatro ó seis cuando todas tienen el mismo diámetro y se mueven sobre un camino horizontal.

En el caso de que el diámetro de las ruedas varíe de un juego á otro, como sucede en las galeras, se modifica la expresion (10). Para determinar el esfuerzo necesario para producir el movimiento de la galera ó carruaje de cuatro ruedas, se puede considerar el sistema compuesto de dos carruajes de á dos ruedas cada uno, sujetos á seguir la misma direccion, y se obtiene la fórmula

$$F = (P+p) \frac{d}{r} + (P'+p') \frac{d}{r'} + \left(\frac{P}{r} + \frac{P'}{r'} \right) fr_1$$

para el esfuerzo necesario para sostener el movimiento, siendo P' , p' , r' cantidades análogas á las P , p , r para las ruedas traseras; r_1 es el radio igual de ambos ejes.

Por una marcha análoga se determinaría el esfuerzo para uno de seis ruedas, ó de tres carros reatados.

Cuando el carruaje ha de marchar sobre un camino en pendiente, cuya inclinacion es i , entonces hay que elevar el peso total á la altura i sobre cada metro de longitud, es decir, que el esfuerzo de traccion se aumenta con la componente del peso total paralela á la pendiente. El esfuerzo en este caso para producir el movimiento de un carro de dos ruedas es

$$F = (P+p) \left(i + \frac{d}{r} \right) + P \frac{fr_1}{r} \quad (12)$$

Y para la galera

$$F = (P+p) \left(i + \frac{d}{r} \right) + (P'+p') \left(i + \frac{d}{r'} \right) + \left(\frac{P}{r} + \frac{P'}{r'} \right) fr_1 \quad (15)$$

Cuando un carro baja una pendiente, el peso total se descompone en el sentido de ella, y tiende á disminuir el esfuerzo y la expresion del que es necesario para moverle es

$$F=(P+p)\left(\frac{d}{r}-i\right)+\frac{Pfr_1}{r} \quad (14)$$

En el caso que

$$(P+p)i=(P+p)\frac{d}{r}+P\frac{fr_1}{r}$$

el esfuerzo necesario será nulo y el carro bajará por su propio peso.

Si una galera ó carruaje de cuatro ruedas baja por una pendiente, cuando se verifique

$$(P+p+P'+p')i=(P+p)\frac{d}{r}+(P'+p')\frac{d}{r'}+\left(\frac{P}{r}+\frac{P'}{r'}\right)fr_1,$$

resultará que despues de haber recibido cierto impulso suficiente para vencer su inercia, continuará moviéndose en virtud de su propio peso.

Cuando el peso que ha de trasportarse es conocido, se puede determinar el peso ó radio de las ruedas que conviene adoptar, para que el esfuerzo que haya que ejercer sea el mínimo posible: en este caso la fórmula se reduce á

$$F=\frac{2pd}{r} \quad (15)$$

que indica, que el esfuerzo mínimo es doble del necesario para mover ó hacer rodar las ruedas sin carga.

Siendo m el peso de la unidad de volúmen de las ruedas y l el ancho de las llantas, se obtiene por algunas trasformaciones

$$F=4\pi m r l d \quad (16).$$

Siendo el esfuerzo constante con el producto rl , para trasportar un peso dado con el menor esfuerzo, bastará dar á l el menor valor que pueda tener con relacion á la resistencia absoluta de las ruedas, y á la resistencia del suelo, para encontrar el mayor radio posible de las ruedas. Si este valor escudiese del mayor que es posible emplear por la talla de los caballos, será necesario tomar para r este mayor valor y determinar en seguida el de l , sea por medio del peso P ó del esfuerzo F .

Aplica Courtois los resultados hallados á varios casos particulares, estableciendo los valores de los coeficientes que entran en las fórmulas.

Aplicacion
de las fór-
mulas.

En un informe ordinario, el valor de d , ó el rozamiento de rodadura, si está en buen estado de conservacion, viene á ser $d=0,055$. El rozamiento f en el eje, puede reducirse á $0,12$ y tomando un diámetro para este de 0^m06 , se obtiene $fr_1=0,0036$. Tomando para m el valor medio encontrado para las ruedas de 817 kilogramos, se tiene $\pi m=2565$. En el caso de un furgon cargado con dos troncos de encina de 9^m de longitud sobre un camino horizontal, el diámetro que deben tener las ruedas para que se ejerza el menor esfuerzo posible, es de 3 metros término medio, que es el que dan en Francia á esta clase de carruajes, destinados á trasportar maderas atadas debajo del eje. El esfuerzo necesario aplicando la fórmula 15 resulta ser de 600 kilogramos, que es el que puede ejercer un caballo de tiro francés acostumbrado á trabajar 7 horas al dia.

En el caso de que tenga que subir una pendiente de mas del 3 por 100 , es inútil dar mas de un metro de radio á las ruedas.

Las fórmulas dan, que con una caballería, un carro con ruedas de $1,29$ metros de radio y llanta de $0,08$ de ancho, ejerciendo un esfuerzo de 70 kilogramos, arrastraria $2488,01$ kilogramos de carga máxima en camino horizontal.

Un carro con ruedas de llanta de 0^m08 , ó mas bien galera con 0^m04 de llanta, cuyas ruedas no tuviesen mas que 0^m60 de radio, podria ser arrastrada por una caballería con carga total,

incluso el peso del carruaje de 766 kilogramos, y en una pendiente del 3 por 100.

En el caso de carros que circulen por caminos de 0 al 3 por 100 de pendiente, se debe dar á sus ruedas un radio medio de 0^m945.

Para evitar el deterioro de las carreteras, los reglamentos tienden á limitar el peso de los carros y el de sus cargas, por lo cual se establece cierta relacion entre el peso total y el ancho de la llanta, apreciando aproximadamente el peso por el número de caballerías de tiro, ó determinándole por medio de puentes básculas. Estos diferentes modos de apreciar el peso, ejercen cierta influencia en la forma que la industria de transportes tiene interés en dar á los carros de que hace uso.

Si las carreteras están mal construidas ó en mal estado, los carruajes están espuestos á sacudimientos frecuentes, y deben ser mas sólidos y pesados, y cuando el peso total está limitado por los reglamentos, resulta que la carga es menor relativamente á este peso total.

En carreteras en mal estado el peso útil trasportado puede no llegar á ser mas que la mitad del total; en buenas carreteras será los $\frac{2}{3}$, y en las circunstancias mas favorables puede

llegar, aunque rara vez, á $\frac{3}{4}$. La industria de transportes procura hacer los carruajes lo mas ligeros posible, mas para que sean sólidos hay cierta relacion entre su peso y el de la carga mayor que pueden llevar, y aunque no haya nada fijo sobre esto todavia, los datos consignados por Schevilgné y Emmerly indican que para las galeras el peso de la caja es casi los $\frac{3}{10}$ del peso útil ó carga, y en los carros de dos ruedas, $\frac{3}{20}$ de la carga aumentada de 100 kilogramos.

La ecuacion 10 se simplifica, haciendo $R=P+p$ ó al peso total del carruaje cargado, suponiendo el peso de la caja, ó

carro propiamente dicho, sin las ruedas, de 100 kilogramos aumentado de $\frac{3}{20}$ del peso útil, se deduce despues de algunas transformaciones

$$Fr = R(d + fr_1) - 5130r^2/lr_1 \quad (17)$$

$$R = \frac{100 + p}{0,25} \quad (18)$$

Por medio de estas ecuaciones se pueden determinar dos de las cuatro cantidades F , l , r y R , cuando las demas sean conocidas; por ejemplo, el peso total y el radio que conviene dar á las ruedas de un carro de varas, conociendo el esfuerzo de que es capaz la caballería ó caballerías, y el ancho de las llantas.

En el caso de una galera ó carro de cuatro ruedas, $R = P + P' + p'$ y si se supone la carga distribuida de modo que el esfuerzo que exige el juego trasero sea sensiblemente igual al delantero, se obtiene despues de varias trasformaciones

$$F(r + r') = 2R(d + fr_1) - 5130l(r + r')^2/r_1 \quad (19)$$

espresion idéntica á la del caso de un carro, en que el peso total fuese $2R$ y el radio de las ruedas $r + r'$.

Cuando el peso que ha de cargar sobre el juego trasero deba estar en una relacion determinada b con el ancho de las llantas de estas ruedas, se obtiene la fórmula

$$\frac{F}{l} = \frac{400b(d + fr_1)}{r'} - 5130(r + r')/r_1 \quad (20);$$

así, conociendo el esfuerzo F de que un tiro es capaz, y el radio r y r' de las ruedas, se podrá determinar la presion b por centímetro del ancho de las llantas, que las ruedas traseras podrán ejercer, ó el ancho l que conviene dar á las llantas para

que la presión efectiva de estas no exceda un límite b fijado *á priori*.

Suponiendo, como se dijo antes, que el peso de la caja del carro de cuatro ruedas sea $\frac{3}{10}$ del peso útil y este los $\frac{2}{3}$ del peso total, se obtiene la fórmula

$$R = \frac{p + p'}{0,13} \quad (21).$$

Entre la 20 y la 21 pueden determinarse dos de las cinco cantidades, que entran, conociendo las otras tres.

De las caballerías de tiro.

Disposición
y número de
caballerías
en los tiros.

El tiro de los carros de varas está compuesto de caballerías reatadas ó de una sola fila.

En las galeras con número par de caballerías, el tiro forma dos filas.

En el tiro de tres caballerías, dos van á los lados de la lanza, y la tercera delante.

En el tiro de cinco, dos van á los lados de la lanza, y en Francia acostumbra á poner las tres restantes delante en una fila. En España se suelen parear, y la quinta caballería colocarla delante.

En el de siete, cuatro van pareadas y tres delante y de frente: en España van pareadas y una delante.

Cuando van en fila ó reatadas, el tiro que se ejerce es mas uniforme; cuando van dos ó tres caballerías de frente, puede producir mayores esfuerzos y vencer mas fácilmente cualquiera obstáculo.

Esfuerzo
desarrollado
por las
caballerías:
fórmulas ge-
nerales.

Para hallar los esfuerzos que puede desarrollar un caballo, sea, M la masa de uno que esté acostumbrado al trabajo y marchas; T el tiempo que diariamente emplea en cualquiera de

estos objetos; V la velocidad que puede tomar y conservar durante el tiempo T , marchando libre y sin carga alguna, de modo que pudiera hacer el mismo ejercicio diario sin experimentar la fatiga; v la velocidad que puede conservar durante el mismo tiempo T , ejerciendo cierto esfuerzo F .

La expresion

$$\frac{1}{2}MV^2T \quad (22)$$

representa la mayor cantidad de accion que puede desarrollar diariamente sin experimentar esceso de fatiga (1).

El caballo acostumbrado al trabajo no experimenta esceso de fatiga cuando marcha libre y sin carga, si V^2T permanece constante. Haciendo variar V y T entre los limites de velocidad y duracion que conviene á su costumbre y constitucion, la cantidad V^2T es constante tambien para cada caballo, siendo susceptible de experimentar ligeras variaciones de una caballería á otra, pero permanece sensiblemente constante para caballos de la misma talla y constitucion, y de la misma edad próximamente.

Cuando el caballo trabaja el tiempo T con la velocidad v , su potencia relativa ó la mayor cantidad de accion que puede desarrollar en esta circunstancia, es

$$\frac{1}{2}M(2V-v)vT \quad (23)$$

El esfuerzo que ejerce es

$$F=M(V-v) \quad (24)$$

(1) Los cálculos de Courtois sobre los diferentes efectos que pueden obtenerse de las caballerías, fundados en la proporcionalidad de aquellos con la *masa ó peso* del animal, solo podrá dar una idea algo aproximada de estos efectos. Se concibe que puede haber animales que á igualdad de *peso ó masa* tengan distinta fuerza ó resistencia; esta dependerá de la edad, alimentos, clima, raza, constitucion, costumbre de trabajar, etc.

La cantidad de accion que desenvuelve

$$Fv + \frac{Mv^2}{2} \quad (25).$$

Para que esta cantidad no esceda la fuerza del animal, debe tenerse

$$Fv + \frac{Mv^2}{2} = \frac{M}{2}(2V-v)v.$$

La expresion de la fuerza disponible de la caballería es

$$F + \frac{Mv}{2} = \frac{M}{2}(2V-v) \quad (26).$$

Pruebas
de agilidad,
fuerza, etc.,
de las caba-
llerías.

Prescindiendo de la belleza de forma ó buena estampa de un caballo y en general de una caballería cualquiera, sus cualidades útiles son agilidad, fuerza y resistencia á las fatigas, y como poseen estas cualidades en distintos grados, puede ser necesario apreciarlas en las de distinta naturaleza, talla y edad. Para experimentarlas se les hace marchar ó correr durante un tiempo dado renovando los ejercicios durante varios dias seguidos; los mejores caballos se juzgan aquellos que no experimentan esceso de fatiga y que pueden volver á continuar los mismos ejercicios sin experimentar alteracion en su salud ni debilitar su constitucion.

Si durante las marchas ó carreras los caballos están libres y sin carga, el mas vivo y vehemente será el que corra la mayor distancia, y la cantidad V será mayor para este que para los demas. El caballo mas fuerte será aquel en que el producto MV sea el mayor, y el mas apto para el trabajo será aquel en que MV^2 esceda al producto análogo para los demas caballos.

Cuando en las pruebas llevan ginete no se obtiene tan fácilmente el valor de su fuerza y es necesario deducir de la velocidad que toma el caballo en este caso la que podria tomar si estuviese libre y sin carga.

Remite Courtois en este caso á su tratado de motores (1), haciendo las indicaciones siguientes :

Las cantidades que espresan la fuerza y aptitud para el trabajo serán generalmente desiguales, y un mismo caballo no podrá esceder á los otros en estas cualidades sino cuando los caballos admitidos al concurso sean de constitucion poco diferente y tengan *masas* próximamente iguales; en este caso el caballo mas veloz podrá ser al mismo tiempo el mas fuerte.

En las carreras de caballos no se aprecia generalmente sino la velocidad, sin tener en cuenta la fuerza y disposicion al trabajo, cualidades eminentemente útiles en las caballerías que se emplean en la agricultura, en la industria y en el ejército. El caballo que posea estas cualidades podrá ser de peor estampa que otro mas ágil ó veloz; pero será mas útil y tendrá mayor valor aunque su precio sea inferior. Deberia procurarse el fomento de estos caballos dejando con preferencia á las personas ricas el cuidado de criar caballos de lujo.

Un caballo que marcha durante 10 horas al dia, verifica su trabajo máximo con una velocidad de 3200 metros por hora, segun Navier y Wood, y 4000 segun Tredgold y Edgeworth, siendo el término medio 3600 metros ó un metro por segundo, velocidad que difiere poco de los caballos de tiro acostumbrados á andar dicho tiempo.

Siendo la velocidad del caballo que produce su trabajo máximo, la mitad de la que puede tomar libre y sin carga en el mismo tiempo, resulta que cuando $T=10$ horas ó 36000 segundos, se tiene $V=2$ y $V^2T=144000$, resultado medio que no varia sensiblemente en caballos de la misma talla acostumbrados á trabajos análogos y de constitucion fuerte.

La mayor velocidad de un caballo rara vez ha pasado de 16 metros por segundo y sostenida solo algunos instantes; en las carreras de Paris, 14 á 15 metros por segundo, no escediendo de un cuarto de hora la duracion de la carrera. El caballo á

(1) Traité theorique et pratique de moteurs.

que se hace correr una hora cada día no puede andar mas que 23 kilómetros

Los resultados que pueden obtenerse de la ecuacion (27) siendo independientes de la masa del caballo, convienen á todos los de la misma talla y casi de la misma edad, entre los límites dados por las costumbres de cada uno. El caballo de carrera, por ejemplo, no sufriría una marcha de 18 horas á pequeña velocidad, y el caballo de tiro galopa pocas veces y no puede soportar este paso largo tiempo.

El caballo acostumbrado al trabajo, cuando produce el máximo, ejerce un esfuerzo

$$F = \frac{MV}{2} \quad (28),$$

lo que dice que el esfuerzo es proporcional á la masa ó peso del animal; pero esto no es exacto mas que para el caballo acostumbrado á la fatiga, y no podría aplicarse á caballos muy jóvenes ni á los viejos y débiles; en estas circunstancias hay que valerse de pruebas especiales; hay que distinguir tambien entre el caballo robusto y ejercitado, y el caballo grueso por efecto del descanso y regalo. La robustez del primero, existe en su fuerza muscular; en el segundo, su misma gordura ó robustez aparente es más bien una masa incómoda que disminuye su fuerza.

Variando el peso de un caballo entre 200 á 700 kilogramos, cuando marche durante 10 horas produciendo su trabajo máximo, el esfuerzo que ejerce varia de 20,58 kilogramos á 71,35.

En un camino horizontal para utilizar la fuerza del caballo lo mejor posible tirando de un carruaje, debe tenerse

$$Pn = \frac{MV}{2} \quad (29),$$

siendo n la resistencia que experimenta el carruaje por unidad de su peso.

Cuando la inclinacion del camino sea i , se tiene para el trabajo máximo

$$P = \frac{M(V-gi)}{2(n+i)} \quad (30)$$

siendo Mg , ó la masa por la gravedad, el peso de la caballería.

Si el tiro está compuesto de varias caballerías, no es la resultante de los esfuerzos igual á la suma de los que podría ejercer cada caballería aisladamente, sino menor, y la carga media que corresponde á cada caballería, disminuye con su número; sin embargo, para lo que sigue se supone que es dicha suma.

Considerando un número C de caballerías de la misma fuerza y masa próximamente, el tiro completo podrá arrastrar un peso en una pendiente i de

$$P = \frac{CM(V-gi)}{2(n+i)} \quad (31)$$

Si es camino horizontal, $i=0$.

Si los caballos son de masa desigual, pero de la misma talla ó constitucion poco diferente, es decir, caballos susceptibles de dar velocidades iguales cuando marchan el mismo tiempo, produciendo su máximo trabajo, representando por M , M' , M'' , etc las masas respectivas se tendrá para el peso total del carro en camino horizontal

$$P = \frac{(M+M'+M'' \text{ etc})+V}{2n} \quad (32)$$

si tiene que subir una pendiente

$$P = \frac{(M+M'+M''+ \text{etc.}) (V-gi)}{2(n+i)} \quad (33)$$

Si las caballerías difieren por su masa y constitucion, de modo que $V^2 F = q$; la cantidad q , constante para un mismo caballo, varia de uno á otro, y cada uno no puede ejercer su trabajo máximo; unos toman velocidad mas pequeña de la que podrian tomar sin experimentar esceso de fatiga, y otros tienen que tomarla mayor que la que corresponda á su constitucion.

La espresion del peso total que el tiro podrá arrastrar será en el caso actual en camino horizontal

$$P = \frac{M\sqrt{q} + M'\sqrt{q'} + M''\sqrt{q''} + \text{etc.}}{n\sqrt{T}} \cdot \frac{M + M' + M'' + \text{etc.}}{n} \quad (54)$$

Siendo $q'M'$, $q''M''$, cantidades análogas á qM , indicada antes.

En el caso de una pendiente cuya inclinacion fuese i se tiene

$$P = \frac{M\sqrt{q} + M'\sqrt{q'} + M''\sqrt{q''} + \text{etc.}}{(n+i)\sqrt{T}} \cdot \frac{(M + M' + \text{etc.})(V + g^i)}{n+i} \quad (55)$$

Parece que la industria de trasportes encuentra ventaja en preferir los carruajes grandes á los pequeños; pero esta ventaja está limitada por la pérdida de fuerza que tiene lugar en los tiros de muchas caballerías, porque el peso medio tirado por cada caballería disminuye progresivamente á medida que aumenta el número; así, dice Courtois, que en Francia comunmente emplean 5 caballerías y en casos escepcionales solo se hace uso de 8; pero en España las galeras emplean con frecuencia hasta 10 caballerías de tiro.

La pérdida de fuerza que hay siempre en los tiros compuestos de muchas caballerías proviene del defecto de uniformidad de accion en cada caballería y por consecuencia del defecto de union en los esfuerzos ejercidos.

En el tiro de un carro con 4 ó 5 caballerías, la pérdida proviene en parte de la caballería de varas que ocupada en di-

rigir aquel y obligada á sufrir una carga mas ó menos grande, no puede desplegar mas que una fuerza de traccion pequeña.

En los tiros de galeras la tension de las cadenas, su peso, el de las colleras, etc., fatigan las caballerías y consumen inútilmente una parte de los esfuerzos.

Se indicarán los medios de apreciar estas pérdidas.

M. Schwilgné en su Memoria sobre los caminos y la circulacion, de 1832, ha tratado de averiguar por gran número de observaciones la carga media que llevan los carros de 3, 4, 5, etc., caballerías, y valiéndose de los datos anteriores, ha encontrado que seria muy desventajoso el enganchar mas de 11 caballerías en una galera, pues la pérdida de fuerza que habria, si se pusiesen mas, seria superior al aumento de un caballo mas. Cuando circunstancias escepcionales obliguen á enganchar gran número de caballerías á un carruaje, debe dividirse el tiro reuniéndolas en grupos de á 4 ó 5 con un zagal cada grupo, para que haya mas uniformidad en los esfuerzos.

Examina Courtois el caso en que se trata de hallar el número de caballerías que conviene enganchar en los carruajes de trasportes á fin de disminuir en cuanto sea posible el precio de estos, dando los medios de disponer en circunstancias dadas el tiro mas ventajoso.

El precio de transporte se compone, del jornal del mayoral, del de las caballerías, precio de alquiler del carruaje y sus reparaciones. La suma de estos gastos, sea al cabo de un dia, de una jornada, ó al fin de la distancia andada, comparada á la masa trasportada, permite determinar el costo de transporte. En una misma carretera el precio varia con la fuerza del tiro que se emplea; porque si el carruaje tiene una sola caballería, el gasto del conductor ó mayoral y el del caballo, hará subir relativamente mas el transporte que si tuviese 2 caballerías; pero si el tiro está compuesto de muchas caballerías, el defecto de uniformidad en los esfuerzos causa una pérdida, cuyo valor viene al fin á esceder á la economía que podria obtenerse en los gastos de transporte; despues de haber disminuido conclu-

yen por ser mayores. Existe una combinacion que debe hacer estos gastos los menores posibles.

Deduca Coutois una fórmula en la cual se establece la relacion entre el número de caballerías y el precio de transporte, que depende de la relacion entre el precio del jornal del carretero y de cada caballería. Si estos precios fuesen iguales, deduce que el tiro mas ventajoso para el gasto seria á lo mas de 4 caballerías. Si el precio del gasto total de cada caballo es doble del relativo al carretero; el tiro debe ser á lo mas de 3 caballerías.

Un carro con 3 caballerías, siendo cada una capaz de un esfuerzo constante de 70 kilógramos, pesará cargado 4500 kilógramos; el peso útil será de 3000 kilógramos y andará 36 kilómetros al dia.

La aplicacion de las fórmulas da la fuerza de los tiros compuestos de caballerías capaces de producir un esfuerzo constante de 70 kilógramos cada una, durante 10 horas al dia, el peso de las cargas que pueden arrastrar y el ancho que deben tener las llantas de sus ruedas para que la presion no esceda de 118 kilógramos.

Resulta, que limitando á 0^m20 el mayor ancho de las llantas de los carros de transporte, y la presion por centímetro de ancho de esta, á 118 kilógramos, presion igual á la que ejercen sobre los caminos los carros con un caballo, no debe ponerse á estos carros mas de 3 caballerías y el peso transportado escederá rara vez de 4000 kilógramos, empleándose de este modo la fuerza del caballo del mejor modo posible.

Adoptando el mismo límite de presion para las ruedas mayores de las galerías, supuestas de un metro de radio y la llanta de 0^m20, corresponde á un tiro de 8 caballerías, el mayor de que conviene hacer uso en casos extraordinarios.

Si el peso que hubiese que transportar fuese muy considerable para exigir 11 caballerías de tiro, se podría reatar un carro de dos ruedas del mismo ancho de llanta de 0^m20, obteniendo así un carruaje de 6 ruedas.

Tambien se deduce que no debe engancharse 5 caballerías

á un carro con 0^m11 de ancho de llanta, porque la fuerza podría subir á 300 kilogramos por centímetro de ancho de esta y aplastaria los materiales del firme; sería menos malo el poner 8 caballerías á una galera de 0^m11 de ancho de llanta, porque la presión sería solo de 225 kilogramos por centímetro de ancho de ella.

Desvillers en sus investigaciones sobre la cantidad de acción desarrollada por las caballerías de tiro al subir las rampas de distintas inclinaciones, da los resultados siguientes:

Investigaciones de Desvillers sobre la fuerza de tiro.

El tiro de dos caballos es preferible al de 3, excepto cuando empieza á fatigarse, momento en que parece empiezan á trabajar todos los caballos igualmente.

La acción de los animales subiendo una pendiente continuada y variable de inclinación va aumentando durante cierto tiempo, y decrece en seguida, pues carecen del instinto de no emplear constantemente la misma cantidad de fuerza.

Las largas pendientes parecen desventajosas en cuanto al resultado del trabajo de los caballos, pues tienen que reposar en ellas.

Los experimentos de Dupuits dan los resultados siguientes:

La velocidad aumenta la fuerza de tiro. El rozamiento en la llanta es el mismo al subir que al bajar é independiente de la inclinación del camino.

Experimentos de Dupuits sobre la fuerza de tiro y resistencias.

El ancho de la llanta disminuye el rozamiento.

La suspensión cuanto mas completa sea disminuye mas el tiro. Para los carruajes de cuatro ruedas no pudo verificar suficientes esperiencias.

La fuerza de tracción está en la relación de 1 : 4 : 6 para los caminos de hierro, los empedrados y los firmes ordinarios.

Siendo el diámetro de las ruedas en los caminos de hierro, casi la mitad que en los comunes, el rozamiento en los ejes en los primeros puede valuarse en $\frac{5}{8}$ y $\frac{1}{8}$ en los segundos, por consiguiente la cuestión de la división de cargas y diámetro de las ruedas es mas importante en los caminos de hierro.

Admitiendo cierta relacion entre la fuerza, la traccion y la pendiente máxima, y que cuando hay que echar la *galga* ó *calza* á las ruedas, cesa de ofrecer el carruaje al bajar en beneficio del tiro una adición de potencia igual al gasto de fuerza que se empleó al subir, no se debe admitir pendientes mayores que la relacion que hay entre el tiro y la presion, es decir, partiendo de las cifras 6, 4 y 1 deben fijarse las pendientes máximas en

3 por 100 en los firmes ordinarios.

2 por 100 en los empedrados.

$\frac{1}{2}$ por 100 en los caminos de hierro.

Concluye Dupuits de sus experiencias, suponiendo el tiro proporcional al peso, que hay ventaja en sobrecargar un carro, pues se aumenta el peso útil trasportado y hay economía en los gastos de conduccion de no tener mas que un carruaje muy cargado en vez de muchos ligeros; por otra parte el exceso de ancho de las llantas, necesario para la solidez de la rueda, es peso inútil.

Esperimen-
tos de Morin

De los esperimentos de Morin se deducen los resultados siguientes:

En los caminos de firmes ordinarios bien cilindrados ó empedrados, la resistencia á la rodadura es sensiblemente proporcional á la presion ó al peso total del vehículo é inversa del diámetro de las ruedas; crece con la velocidad, pero aumenta tanto menos cuanto mejor suspension tiene el carruaje y mejor estado tiene el camino.

En caminos compresibles, de tierra, arena, guijo, etc., disminuye la resistencia á medida que aumenta el ancho de las llantas. En los terrenos blandos, la resistencia es independien-
te de la velocidad.

En todas circunstancias, cuando se ejerza el tiro por las caballerías es necesario se verifique lo mas horizontalmente posible, para poder obtener el mayor efecto y no fatigarlas.

La industria de trasportes tiene interés en emplear ruedas del mayor diámetro posible. Los carros de lanza ó timon se

prestan mejor al empleo de ruedas de gran diámetro, que los de dos ruedas; pero cuando los caminos están en mal estado, las caballerías de lanza se fatigan mucho.

Aproximando entre sí los ejes de las ruedas de modo que cargue mas el peso sobre el juego trasero, se podrá disminuir el tiro y se aligerará la carga sobre el juego delantero; sin embargo es necesario que haya la suficiente carga sobre este, para que no se levante el carro al subir las cuestas.

APENDICE PRIMERO.

RESEÑA HISTÓRICA DE LAS OBRAS PÚBLICAS DE ESPAÑA Y NÚMERO DE CARRETERAS.

Antes de 1749 no existían carreteras construidas y solo se atendía á mejorar algunos pasos difíciles, estando encargado de estas obras personas que carecían de conocimientos especiales. No había reglamentos sino algunas disposiciones generales que se insertan en las siete partidas y algunos reglamentos locales.

En el reinado de Fernando VI en 1749 se construyó la carretera de Santander á Reinosa y algunos trozos de la de Guadarrama, empleando tropa para su ejecucion; también se construyeron hasta 1761 algunos trozos en las Provincias Vascongadas y Navarra.

En 1761 se hizo una clasificacion de carreteras, se establecieron arbitrios para su construccion y se empezaron los caminos de Valencia á Barcelona, de Madrid á los sitios reales y el paso de Despeñaperros. Los caminos dependían de un Ministerio y los puentes estaban á cargo del Consejo de Castilla, resultando de la mala direccion de las obras un excesivo coste y su viciosa construccion, lo que dió lugar á que en 1778 se modificase este sistema, formando una superintendencia de caminos, canales, posadas y correos.

En 1799 fué cuando recibió grandes mejoras este ramo, creando un cuerpo consultivo y una Inspeccion general, siendo

el segundo el Inspector que se nombró el célebre Betancourt y se fundó una escuela especial. Con esta organizacion y llegando apenas á siete millones los arbitrios, se logró mejorar las obras públicas consiguiéndose que en 1808 hubiese ya 706 leguas de carretera; sin embargo empezó la guerra de la independencia disolviéndose el cuerpo de ingenieros y abandonándose la construccion y conservacion de carreteras.

Concluida la guerra referida, por causas políticas no se volvió á organizar dicho cuerpo ni escuela, reuniéndose de nuevo la direccion de correos y postas con la de caminos. En 1824 se dió un reglamento para tesoreros depositarios y pagadores y otro de guardas camineros y conservacion de carreteras. En 1821 se concluyó la carretera de Irun invirtiéndose desde 1814 hasta el 34, ciento cuarenta y cuatro millones de reales en construccion y reparaciones haciendo 146 leguas nuevas. Desde 1820 al 23 se abrió nuevamente la escuela de ingenieros.

En 1833 se creó la direccion de caminos reorganizándose en 1834 la escuela de ingenieros; pero solo se emplearon hasta 1839 unos 8 millones anuales en carreteras.

Aunque se votaron por las córtes cantidades para atender á las carreteras no se recaudaron todas las destinadas á este efecto, siguiendo muy descuidada su conservacion y reparacion, hasta que en 1842 se levantaron empréstitos que no produjeron los efectos deseados, siendo necesario rescindir algunos de ellos y siguiendo desatendidas las obras públicas.

En 1851 se trabajo, con mas actividad y se repararon gran número de carreteras.

En la memoria sobre el estado de las obras públicas de España en 1856, publicada por la direccion general, de la que tomamos la reseña anterior, se dan los detalles relativos á la historia de las carreteras su organizacion y coste, su paralelo con las de otras naciones, igualmente que todo lo que hace referencia á Ferro-carriles, puertos y telégrafos y á la organizacion de las obras públicas en España hasta fin de 1855; estos trabajos son sumamente importantes y seria muy útil se continuase formando cada año la memoria correspondiente. Igual-

mente se encuentran en la memoria espresada varias noticias relativas al establecimiento y recaudacion de los portazgos, dando en ellas á conocer la unidad leguaria que sirve de tipo para la recaudacion; así como los rendimientos y aranceles de los diversos portazgos.

A continuacion insertamos la longitud de las carreteras que existen en la Península, tomados de los datos oficiales publicados en la Guia de 1857.

Segun los datos Oficiales de 1857 habia.

	<u>kilómet.</u>	<u>kilómet.</u>
Carreteras generales.	{ Concluidas. 6794 } { En ejecucion. 654 } { Faltaban ejecutar. 1231 }	8679
Transversales.	{ Concluidas. 1542 } { En construccion. 1151 } { Faltaban ejecutar. 1327 }	4021
Provinciales.	{ Construidas. 1538 } { En construccion. 320 }	1858
		14558

Faltaban algunas de las Provincias Vascongadas.

No han vuelto á publicarse noticias Oficiales mas recientes.

APENDICE SEGUNDO.

COSTE DE VARIAS CARRETERAS DE ESPAÑA POR KILÓMETRO.

Carreteras generales en construccion en 1855.

Nombre de la Carreteras	Provincias en que se construyen.	Coste segun presupuesto por kilómetro.
De Madrid á Vigo.	Orense.	72149
	Pontevedra.	55954
	Salamanca.	69006
De Id. á Badajóz.	Cáceres.	69336
De Id. á Irún.	Madrid.	114056
De Id. á Francia, Soria y Logroño.	Logroño.	86401
De Orense á Pontevedra.	Orense.	109737
De Monreal á Tarragona.	Tarragona.	162722
De Almansa á Alicante.	Alicante.	544950
De Rivadesella á Castilla.	Oviedo.	156959
De Palma á Soller.	Baleares.	55881
De Rábade al Ferrol.	Coruña.	118920
De Leon á Astorga.	Leon.	506577
De Molina á Teruél.	Teruél.	56665
De Vigo á Huelva.	Badajóz.	92017
Término medio.		151407

Carreteras transversales en construccion en 1855.

Nombres de las carreteras	Provincias en que se construyen	Coste segun presupuesto por kilómetro.
	Gerona.	109872
	Lérida.	53559
Zaragoza á Castellon de la Plana.	Teruél.	14289
Valladolid á Salamanca.	Valladolid Sa- lamanca.	53042
Id. á Zamora.	Valladolid.	32556
De Valencia á Alicante por Alcoy.	Valencia.	79589
Almadrones á Sigüenza.	Guadalajara.	50695
Betanzos al Ferrol.	Coruña.	85880
Valladolid á Calatayud.	{ Valladolid.	90699
	{ Burgos.	47545
	{ Soria.	15585
Tarragona á Palamos.	{ Barcelona.	186162
	{ Gerona.	74716
	{ Lérida.	40383
	{ Coll de Lilla.	14596
Palencia á Castrogonzalo.	{ Tarragona.	17537
	{ Palencia.	19776
Término medio.		56850

NOTA. En varias de estas carreteras se habia gastado mucha mayor cantidad que la del presupuesto.

Proyectos de carreteras concluidos en 1852.

Nombres de las Carreteras.	Provincias.	Coste segun presupuesto por kilómetro.
De Calahorra á los baños de Arnedillo	Logroño.	32271
Cuesta del Palmar en la carretera de Málaga á Antequera.	Málaga.	107399
Carretera de Sevilla á Osuna.	Sevilla.	97475
Término medio.		79115

Proyectos de carreteras concluidos en el año de 1853.

Nombres de las Carreteras.	Provincias.	Coste segun presupuesto por kilómetro.
Carretera provincial de Segovia á Boceguillas	Segovia.	79475
De Aragon á Huelva	Salamanca.	192925
De Deva á Sariola.	Guipúzcoa.	163525
En la isla de Ibiza de la capital al puerto de San Antonio.	Ibiza.	56689
Zaragoza á Valencia.	Zaragoza.	93751
Término.		115268

Proyectos concluidos desde 1854.

Nombres de las Carreteras.	Provincias.	Coste segun presupuesto por kilómetro.
Carretera provincial de Arnedillo á Garay.	Logroño.	84506
De Guadalajara á Cuenca.	Guadalajara.	123452

De Murcia á Orihuela.	Murcia.	108530
De Palmas al puerto de la Lúz.	Canarias	108400
De Toledo á Santa Olalla en la Carretera de Estremadura	Toledo.	63302
Id. id. pasando por el puente sobre el Guadarrama	Idem.	62126
De Ubeda á Albacete	Jaen, Murcia y Albacete.	75338
De Villar de Arnedo á Arnedillo.	Logroño.	79335
De Villarreal á Azcoitia	Guipúzcoa.	137864
De Villarramiel á Castrogonzalo.	Valladolid.	84598
De Tauste á Egea de los Caballeros.	Zaragoza.	32648
De Valencia á Zaragoza	Castellon	59060
De Jadraque á Hiendelaencina.	Guadalajara.	88415
De Segovia á Valladolid.	Segovia.	52482
La misma carretera por Carboneros.	Idem.	67048
Del puente de las Palmas hasta el de Caya	Badajóz.	91574
Variacion de la Carretera de Valencia	Albacete.	185172
De Zaragoza á Huesca	Huesca.	86083
1.ª Seccion de Cuenca á Teruél.	Cuenca.	82121
Variacion de la general de Barcelona.	Zaragoza.	121961
Id. de la de Puente Rábadé al Ferrol.	Lugo.	465358
De Lugo á Quiroga.	Lugo.	66535
De Salamanca á la Fregeneda.	Salamanca.	44799
De Ramales al confin de Vizcaya.	Santander.	163331
De Calatayud al Burgo de Osma.	Zaragoza y Soria.	44286
De Id. á las ventas de Ciria.	Idem.	53643
De Lérida á Rosas.	Lérida.	154742
Término medio.		<u>102466</u>

CARRETERAS GENERALES

Construidas desde 1840 á 1855.

Nombres de las carreteras.	Provincias.	Coste que ha tenido por kilómetro.
De Madrid á Toledo.	Madrid y Toledo.	94152
De la Liébana.	Santander.	182285
De Burgos á Santander.	»	91704
De Monreal á Tarragona.	Tarragona.	20922
De Orense á Pontevedra.	Orense y Pontevedra.	52875
Del Ferrol á Rávide.	Lugo y Coruña.	58229
De Sevilla á Huelva.	Sevilla y Huelva.	117566
De Alsasua á Beasain.	Guipúzcoa.	87027
De Santa Cruz al puerto de la Orotava.	Canarias.	69646
De S. Mateo á Morella.	Castellon.	161521
De Albacete á Murcia y Cartagena.	Albacete y Murcia.	41869
De Madrid á Francia por Soria y Logroño.	Soria y Logroño.	91577
De Madrid á id. por id. Agreda y Navarra.	Guadalajara, é id. id.	51858
De Valencia por las Cabrillas.	Cuenca y Valencia.	77779
De Cáceres á Trujillo.	Cáceres.	80552
Término medio.		82585

CARRETERAS MISTAS Y TRANSVERSALES.

Construidas desde 1840 á 1855.

Nombres de las Carreteras.	Provincias.	Coste que ha tenido por kilómetro.
De Valladolid á Calatayud.	Coruña y Lugo	65766
De Santiago á Lugo.	»	27415
De id. á Orense.	»	50557
De Betanzos al Ferriól.	»	55729
De Lugo á Quiroga.	»	40884
De Santa Olalla al Fregenal.	»	49095
De Valencia á Alicante por Alcoy.	Alicante.	71364
De Alicante á Murcia por Orihuela.	»	87370
De Tarragona á Palámos.	»	115893
De id. á Huesca.	»	152583
De Valencia á Zaragoza.	»	27674
De Valladolid á Zamora.	»	39856
De Almadrones á Sigüenza.	»	27397
De Palencia á Castrogonzalo.	»	16256
De id. á Leon.	»	18056
De Valladolid á Salamanca.	»	25416
Término medio.		53077

CARRETERAS PROVINCIALES.

Leguas construidas desde 1840 hasta Junio de 1855.

Nombre de las Carreteras.	Provincias.	Coste por kilómetro.
De San Baudillo de Llobregat.	Barcelona.	40454
De Litges á Cañelas.	Idem.	46817

De Granollers á Vich.	Idem.	89834
De Vich á Sabadell.	Idem.	49714
De Dosrius á Llinás.	Idem.	40227
De Sabadell á Tarrasa.	Idem.	115118
De Vich á Ripoll.	Idem.	41949
De Saute á Villasante.	Burgos.	32192
Del Villar á los Baños de Arnedillo.	Logroño	101154
De Madrid á Chinchon.	Madrid.	101154
De Zaragoza á Navarra.	Zaragoza.	66791
De Gerona á Besalú.	Gerona.	245329
De Ripoll á Vich.	Idem.	66245
De Gerona á San Feliu.	Idem.	457457
De Olot á Vich.	Idem.	109438
De Id. á Besalú.	Idem.	76997
De Betanzos al Ferrol.	Coruña.	53729
De Vigo á Puente-Cesures.	Ponferrada.	22629
De Tuy al Porriño.	Idem.	88341
De la legua 21 de la Carretera del Puerto del Pico á Villatoro.	Avila.	58205
De Granada á las Ventas de Puerto Lopez.	Granada.	13025
De Córdoba por Antequera á Málaga.	Málaga.	92052
De Jaen á Baeza.	Jaen.	59123
De Id. á las ventas de Puerto Lopez.	Idem.	38105
De Andújar á Torredonjimeno.	Idem.	56862
De Valencia á Chelva.	Valencia.	41189
De Lérida á Huesca.	Lérida.	85089
		<hr/>
	Término medio.	83677

GENERALES

Trozos de carreteras que se han concluido desde Agosto de 1854 hasta Enero de 1856.

Nombres de las carreteras.	Provincias	Coste por kilómetro.
Carretera general de la Coruña ..	Coruña	204955
Id. id. de Santander	Palencia	89524
Santiago á Orense.	Coruña	19114
De Sevilla á Huelva.	Huelva.	69281
De la Liébana.	Santander. . . .	64605
De Teruél á Valencia.	Teruél.	42014
Mérida á los Santos.	Badajóz.	71258
De Granada á Málaga.	Granada	104116
De Salamanca al Cubo.	Salamanca. . . .	102571
General de Estremadura.	Badajóz.	94881
De Rivadesella á Cangas de Onis.	Oviedo.	168802
De Valencia por Alcoy.	Alicante	102669
De la Cabada á S. Salvador.	Santander. . . .	45084
General de las Cabrillas.	Cuenca.	87845
General de Francia por Soria y Logroño.	Soria.	53509
Id. id. por Agreda y Navarra.	Idem	21626

Transversales.

De Lugo á Quiroga.	Lugo.	25455
De Vigo á Pontevedra.	Pontevedra	52380
De Valladolid á Calatayud.	Soria.	40705
Término medio.		65885

CARRETERAS PROVINCIALES.

Construidas desde Agosto de 1854 á Enero de 1856.

Nombres de las Carreteras.	Provincias.	Coste por kilómetro.
De Gerona á S. Feliu de Guixols.	Gerona.	21005
De Vich á Ripoll.	Idem.	65325
De Gerona á Besalú.	Idem.	38811
De Manresa á Cardona.	Barcelona.	151263
De Tárrega a Tremp.	Lérida.	28979
	Término medio.	<u>74523</u>

APENDICE TERCERO.

PRODUCTOS DE PORTAZGOS.—RELACION DEL TRÁNSITO EN LAS CARRETERAS.—DEDUCCIONES PARA FORMAR LOS PRESUPUESTOS DE CONSERVACION.—UNIDAD LEGUARIA.

Del estado comparativo del producto líquido de Portazgos, Pontazgos y Barcajes á cargo de la Direccion general de obras públicas desde 1845 á 1854, inserto en la memoria redactada por la Direccion general de las mismas en 1856, se deducen lo resultados que se indican en el adjunto cuadro.

CARRETERAS.		Producto anual.	Producto por kilómetro.	Relacion de productos tomados el 1.º por unidad.
De Alsarua á Beasain.	. . . . .	23546	941	1
De Oviedo á Avilés..	. . . . .	23790	743	1,28
De Madrid á Toledo.	. . . . .	27545	410	1,54
De Tarazona á Cuenca..	. . . . .	51050	305	2,05
De Zaragoza á Valencia.	. . . . .	52501	1292	2,45
De Oviedo á Gijón. . .	. . . . .	53052	1271	5,08
De Burgos á Santander (llamada de Peñas Pardas).	. . . . .	42356	622	5,08
De Madrid á Segovia por Navacerrada.	. . . . .	70195	1002	5,14
De Albacete á Murcia y Cartagena.	. . . . .	70697	390	5,27
De Valladolid á Burgos.	. . . . .	489269	2200	4,16
De Almansa á Alicante..	. . . . .	200162	2274	4,25
De Cubo de Santander por Sencillo (llamada de la Rioja).	. . . . .	214271	1655	4,50
De Madrid á Valladolid, Leon y Oviedo..	. . . . .	518649	942	5,56
De Madrid á Valencia por las Cabrillas..	. . . . .	448585	1575	6,17
De Madrid á Badajóz y Sevilla.	. . . . .	567199	959	6,65
De Madrid á la Coruña..	. . . . .	1.187799	2030	7,21
De Madrid á Irun por Burgos.	. . . . .	4.212878	5766	7,56
De Madrid á Barcelona por Albacete, Valencia y Tarragona.	. . . . .	1.521785	1882	7,45
De Madrid á Córdoba, Sevilla y Cádiz.	. . . . .	1.522088	2248	7,80
De Madrid á Francia por Zaragoza y Barcelona.	. . . . .	1.711759	2380	12,54
De Valladolid á Palencia y Santander.	. . . . .	1.885764	7696	25,21
Totales generales.		11.154482		

El producto mínimo fué en 1845 de 8.147,35 reales el máximo en 1853, 2.988,547.

Es notable el producto de los portazgos de Valladolid á Santander y por consiguiente el tránsito por esta carretera, en su mayor parte de carreteras que conducen harinas á Santander. El tránsito es segun se indica en la memoria del ingeniero Sr. Orense inserta en la Revista de Obras públicas de 1856 de 1064 colleras en 24 horas; siendo así que en carreteras de las mas transitadas de Francia no llega á 500 y en Inglaterra ni aun llegaba á esta cantidad en una de las mas frecuentadas.

En la columna 4^a se han deducido las relaciones que existen entre los productos de las carreteras tomando por unidad la de menos producto. En general darán estas relaciones aproximadamente las que hay en el tránsito ó circulacion por ellas y por consiguiente entre los gastos para conservacion del firme; suponiendo todas en buen estado y prescindiendo de las demas causas que pueden influir como el clima, esposicion, etc.

Sabiendo la cantidad de material necesario en la carretera tomada por unidad ó en otra cualquiera, para la conservacion del firme por kilómetro, podria formarse idea del necesario en las demas del modo siguiente :

Un producto de 7696 reales de los portazgos, por kilómetro, representa en la carretera de Valladolid á Palencia un tránsito de 1000 colleras en números redondos cada 24 horas segun los datos indicados antes; resultado que está en la relacion aproximada con el que hemos deducido para una carretera de nuestro cargo; el tránsito de la carretera primera del cuadro ó *unidad* se deducirá ser de 40 colleras en 24 horas. Puede tomarse un término medio de la cantidad de piedra necesaria por kilómetro y año para un tránsito de 100 colleras, de los resultados espuestos al tratar de los gastos de conservacion y desgaste de los firmes, á falta de otros datos sobre la cantidad de la piedra que exige cada carretera; la mano de obra que podria dar lugar al empleo del material puede calcularse por los datos establecidos en la seccion correspondiente. Todo esto repetimos solo puede dar una idea aproximada, pues la verdadera distribucion

de gastos, solo podrá hacerse en vista de los presupuestos formados al efecto para cada carretera.

Unidad
leguaria

En la memoria citada de la direccion de obras públicas se inserta el arancel de 1804 modificado en 1831 referido á la unidad leguaria, en que se espresa para cada clase de carruajes número y clase de animales de tiro, *los derechos devengables en solo una legua de camino de 20000 pies*. A estos se han arreglado la mayor de los aranceles de los demas portazgos en que las tarifas no son las llamadas *arbitrarias*.

En el Boletín de caminos del año 1845 puede verse la clase de aranceles de cada portazgo y tambien en la memoria de la direccion.

APENDICE CUARTO.

PRECIOS ELEMENTALES. — DE UNIDADES DE OBRAS — DE TRANSPORTES DE TIERRAS. — DE EMPEDRADOS. — DE RECARGOS. — DE ARBOLADOS.

Jornales.	Reales.
Peon mayor	6
Id. menor	3 á 4
Caballería menor	4 á 5
Id. mayor	15
Carro de una mula	24
Id. de dos	34 á 40
Yunta de bueyes	34 á 40

Estos precios son los corrientes en la provincia de Madrid y otras inmediatas, los jornales varian segun sea el pedido y el precio de los artículos de primera necesidad.

Varian tambien los precios en las diferentes provincias pudiendo tomarse como el mínimo jornal el que se paga en las de Asturias y Galicia de 4 reales peon mayor 2 y 3 peones menores y mugeres; puede contarse con que el precio de 6 reales es el general en varias provincias como en Valencia, Cataluña, etc; sin embargo que la construccion de caminos de hierro hizo subir aquellos hasta 12 y mas reales en estas provincias y lo mismo tubo lugar en el camino de hierro de Toledo y del Mediterráneo.

DESMONTES Y TIERRAPLENES.

*Canal de conduccion de aguas á Madrid, ajustes y destajos
(memoria de 1853.)*

	Reales.	
Zanjas á cielo abierto de 1 á 10 metros de profundidad.	Metro cúbico de escavacion en arena y tierra floja de.	2 á 4,40
	Id. id terreno firme.	3,50 á 7,60
	Id. Id. en roca caliza.	9,80 á 18
Minados de 7,60 metros cuadrados.	Metro lineal de escavacion en mina de roca caliza.	850 á 900
	Id. en terreno arcilloso firme.	140 á 165
	Id. en terreno arenisco con la mano de obia de encofiado.	180 á 192
	Pólvara coste del quintal métrico (8,69 arrobas) al pie del polvorin.	1086, 23
Subastas en 1856 para alcantarillas de Madrid.	Escavacion desportando la tierra á la orilla de la zanja metro cúbico.	4
	Id. transportando la tierra fuera de la poblacion metro cúbico.	12
	Terraplen apisonado metro (para relleno de zanjas).	2

Precios de obras de tierra en el ferro-carril de Jerez al Puerto de Santa María.

	Rs. Cs.
En cortaduras de 10 metros de ancho y 2 de profundidad colocando la tierra en Caballeros hasta 17 metros terreno regular metro cúbico todo coste.	2
Sacaban los operarios un jornal de 7,25 rs. en otra experiencia sacaban 7 5.	
En cortaduras de 3 á 4 metros de profundidad la estraccion y trasporte hasta 20 metros en Caballeros término medio metro cúbico todo coste.	3
Podian sacar un jornal de 7,25 rs.	
En cortaduras de 4 á 6 metros de profundidad echando la tierra hasta 20 metros en Caballeros costaba estraccion y movimiento metro cúbico.	3, 60
Podian sacar un jornal de 7 rs.	
En arena y piedra metro cúbico.	4 »

Conduccion en Carretillas.

De 60 á 70 metros salió metro cúbico siendo el jornal 7 rs todo coste.	3, 82
Conduccion en carretilla á 100 metros de distancia estraccion del metro cúbico 0,6 carga 0,6 trasporte total.	2, 40
A distancia de 110 metros todo costo metro cúbico.	2, 55

Conduccion en Volquetes.

Con 5 volquetes conduciendo la tierra para terraplen hasta 200 metros en dia de invierno de 8 horas salia la conduccion del metro cúbico.	0, 85
La carga costaba 0,85 rs. próximamente, se pa-	

gaba á 28 rs. el volquete, conductor y caballería y á 7 rs. el jornal de peones.	
A 250 metros siendo 24 rs. del jornal salió metro cúbico.	1, 67
A distancia de 280 metros venia á salir carga y transporte del metro cúbico.	1, 72
Siendo á 24 rs. el jornal del volquete, con caballería y conductor.	
A distancia de 300 metros pagando á 24 rs. caballería y conductor y 7 rs. jornal de peon metro cúbico.	1, 90
A 310 metros pagando el jornal del volquete á 28 rs. salió metro cúbico.	2 »

Trasporte en burros.

A distancia de 400 metros tierra floja medida en desmonte dia de 10 horas de trabajo á 5 rs. jornal del burro; metro cúbico en desmonte	2, 30
A distancia de 400 metros en otra esperiencia salia metro id. cúbico á.	2, 24
A 400 metros medida la tierra en desmonte en terrones de (necesitaban 34 burros por metro cúbico) dias de 10 horas de trabajo salió metro cúbico medido en terraplen.	4, 42
A 470 metros. En terrones salió metro cúbico.	4, 30
27 burros trasportaban 1 metro cúbico cada llenador de espuestas, podia llenar término medio 16 metros cúbicos; dia de 8 horas de trabajo.	
A 900 metros. Tierra medida en terraplenes, á 5 rs. jornal de burro sale metro cúbico.	6, 50
La carga salia á 0,41 reales metro cúbico.	
A distancia de 1000 metros en dias de 10 horas sale metro cúbico á.	3, 66

Trasporte en Wagon.

A 140 metros un Wagon de ida y otro de vuelta, 6 hombres empujando; salia cada wagon de 4 metros cúbicos de tierra movida.	6 »
A 140 metros 3 wagoes yendo y viniendo juntos por una sola via y 18 á 20 hombres para volverlos vacíos, venia á salir cada wagon.	6 »
De 150 á 500 metros en cortadura estrecha de carga difícil y al destajo salia algo menos cada wagon de.	8 »
A 520 metros 8 wagoes yendo y 7 viniendo, con 7 mulas para volver los wagoes vacíos, siendo 20 rs. diarios el gasto de grasa y agua y 20 rs. el jornal de las caballerías salió cada wagon á.	8 »

Precios á que han salido las unidades de obra en 6 carreteras de Cataluña contratadas términos medios.

	Real.
Desmorte en tierra metro cúbico.	3,72
Id. en roca término medio de diferentes clases metro cúbico.	10,58
Terraplen id. id.	2,55
Metro lineal de movimiento de tierra.	60
Id. afirmado.	53,75

Observaciones sobre el precio de terraplenes.

En obras de nuestro cargo siendo 5 á 6 reales el jornal de los peones, 20 reales de una recua de 5 caballerías menores ó carro de una caballería tomando las tierras del costado del camino á la distancia máxima de 55 metros siendo la altura máxima del terraplen de 4 metros construido con esmero por capas delgadas y apisonado salia á 3,50 reales metro cúbico in-

cluso el refinado, taludes, paseos, caja y cavar la capa de terreno de donde se estraian las tierras de poca profundidad. El precio de estos es muy variable segun la altura y esmero en la ejecucion, distancias de las tierras, etc. Al tratar de las obras de tierra se hacen las indicaciones necesarias.

EMPEDRADOS DE MADRID.

Precio de la subasta de 1853.

	Reales.	Cents.	
Prismas de berroqueña.	253	»	el met. cúbico.
Cuñas de pedernal.	108	»	id.
Arena.	9	»	id.
Hormigon y tortada.	62	»	id.
Desmote y terraplen.	2	»	id.
Trasportes de tierra.	4	»	id.
Id. de piedra.	6	»	id.
Mano de obra de empedrado de adoquines y cuñas.	3	»	el met. superf.
Mano de obra de empedrado de cuñas relabradas.	7	50	id.
Mano de obra de empedrado de morrillo.	2	75	id.
Baches de adoquines.	7	»	id.
Id. de cuñas.	4	»	id.
Id. de morrillo.	2	75	id.

En un empedrado de baden trayendo la piedra de 1 á 1,5 leguas pedernal cortado en cuña como el de los empedrados de Madrid, hemos pagado todo coste por ajuste á 42 reales metro superficial. La cuña solo, á 0,40 de real próximamente.

El empedrado de canto rodado suele ajustarse en la provincia de Madrid y algunas otras por *tapias* que componen 50 pies superficiales pagando á 20 reales tapia sale metro cuadrado á cerca de 5 reales.

Recargos.

En varios recargos hechos en el Distrito de Madrid empleando 1,37 metros cúbicos por metro lineal machacada la piedra en el firme siendo esta pedernal de 8 á 12 centímetros de lado y dejándola de 6 á 8; la arena estaba en la proximidad, y se pasaba el rodillo durante algunos días; salió todo coste de mano de obra á 9,58 reales.

Empleando solo dos tercios á un metro cúbico de piedra estando esta ya machacada en el paseo; la mano de obra de echar la piedra, arreglarla, recebar, etc., tomando el recebo de la proximidad y pasando el rodillo, salió por ajuste á 4,75 reales metro lineal.

ARBOLES.

Plantas de la Casa de Campo del Real patrimonio inmediata á Madrid: 1858 precios en la posesion.

	Reales.
Alamos negros.	6
Acacias blancas.	4
Id. bola.	10
Id. rosa.	8
Gladitsias.	4
Nogales.	4
Moreras claras.	4
Id. multicauli.	3
Gusdandinas ó Pacanas	7
Chopos.	3
Fresnos comunes.	3
Paraisos.	5
Soforas.	6
Plátanos.	4
Perales.	7
	61

Manzanos enanos (planta)	3
Cipreses piramidales	10
Juyas	8
Almeceas	6
Amoles	5
Catalpas	2
Castaños de Indias	6
Veleiro de semillero el ciento	25

APENDICE QUINTO.

TABLA DE CORRESPONDENCIA DE LAS MEDIDAS Y PESOS MAS USUALES.

Lineales.	{	Metro equivale á.	3,58892	pies castellanos.
		Decimetro á.	4,30670	pulgadas id.
		Centimetro á.	5,1680	líneas id.
		Kilómetro á 1000 metros á.	3,58892	pies castellanos.
		La legua de 20,000 pies á.	3,5727	metros.
Superficiales.	{	Metro cuadrado á.	12,8805796	pies cuadrados.
		Id. id. á.	4,4515	varas cuadradas.
		Decimetro cuadrado á.	18,5477	pulgadas cuadradas.
		Centimetro cuadrado á.	26,7087	líneas cuadradas.
De volúmenes.	{	Metro cúbico ó kilolitro á.	46,2266	pies cúbicos.
		Id. id. á.	1,71209	vara cúbica.
		Decimetro cúbico á.	79,8795	pulgadas cúbicas.
		Centimetro cúbico á.	158,0520	líneas cúbicas.

Pesos.	{	Kilogramo á.	2,173474	libras castellanas.
		Hectógramos.	3,47756	onzas id.
		Quintal métrico.	100	kilógramos.
		Tonelada métrica.	1000	kilógramos.
Para líquidos.	{	Litro á.	1,983512	cuartillos.
Para áridos.	{	Litro á.	0,864849	cuartillos ¹ / ₃₇₆ de caiz ó ¹ / ₃₈ de fan. ^a
		Hectolitro á.	1,79909	fanegas.
		Area, cuadrado de un decámetro ó de 10 metros de lado.	1288,03796	piés cuadrados.

Nomenclatura.

Medidas lineales	Metro — Decámetro 10 metros. — Hectómetro 100 metros. — Kilómetro 1000 metros — Miriámetro 10000 metros = Decímetro $\frac{1}{10}$ de metro. — Centímetro $\frac{1}{100}$ de metro. — Milímetro $\frac{1}{1000}$, etc.
Agrarias ó superficiales	Area. — Hectárea 100 áreas. — Miriaria 1000 áreas. — Centiárea ó metro cuadrado ó $\frac{1}{100}$ de área.
Aridos y líquidos	Litro. — Decálitro 10 litros. — Hectólitro 100 litros. — Decálitro $\frac{1}{10}$ de litro. — Centilitro $\frac{1}{100}$ de litro etc.
Pesas	Gramo ó grama. — Decágramo 10 gramos. — Hectógramo 100 gramos. — Kilógramo 1000 gramos. = Decígramo $\frac{1}{10}$ de gramo. — Centígramo $\frac{1}{100}$ de gramo. — Milígramo $\frac{1}{1000}$ de gramo, etc.

Estéreo, es el metro cúbico aplicado á la medicion de la leña.

El *metro*, derivado del griego, quiere decir medida. Se tomó este como equivalente á la diezmillonésima parte de la distancia del ecuador al polo norte por el meridiano de París.

Para el *litro* medida de volúmenes ó capacidades se tomó un cubo de un decímetro de lado.

Para el *gramo* ó *grama* se tomó el peso del agua destilada (en el vacío) contenido en un centímetro cúbico. El kilógramo ó kilógrama es el peso de un litro de agua en las circunstancias del anterior.

NOTA. Por Real órden de 9 de Diciembre de 1852 se aprobaron las tablas de correspondencia entre los pesos y medidas de todas las provincias de España, con las nuevas medidas métricas mandadas observar. Estan insertas en la coleccion legislativa de Obras públicas del año referido.

INDICE

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN ESTE TOMO

PRIMERA PARTE.

TRAZADO DE CARRETERAS.

PRIMERA SECCION

Páginas.

Condiciones económicas, comerciales, etc., á que debe satisfacer el trazado 1

TRAZADO FACULTATIVO. 2

Alineaciones y perfiles. — Configuración general del terreno. — Disposición del trazado según la topografía del terreno. — Países llanos. — Terrenos quebrados ó montañosos. — Terrenos desiguales. — Tanteos gráficos del trazado. — Laderas curvas. — Laderas planas. — Laderas separadas por un valle estrecho. — Caso en que haya que atravesar dos ríos. — Dadas las curvas de nivel indicar el trazado gráficamente. — Influencia de las pendientes en los transportes resistencias que tienen que vencer los animales de tiro. — Casos en que hay que echar la galga ó plancha. — Relación del rozamiento á la presión; pendientes límites. — Influencia de las pendientes y contra pendientes. — Causas que influyen para modificar la acción del motor. — Influencia del exceso de elevación de un trazado. — Fuerza relativa de los animales de tiro. — Comparación de trazados. — Resistencia del aire. — Influencia de las curvas en los trazados. — Precauciones que deben adoptarse. — Radio mínimo.

SEGUNDA SECCION

Plano y perfiles de las carreteras.

PLANO.

15

Instrumentos. Teodolito y grafómetro. — Brújula. — Goniómetro.

tro.—Estadia.—Observaciones de Laterrade sobre el uso de la estadia.—Método de ordenadas.—Perfilador.—Anotaciones ó datos que han de adquirirse.—Alineaciones rectas.—Alineaciones curvas. Trazado de las curvas.—Arcos de círculo.—Trazado del círculo por intersecciones de visuales.—Por abscisas y ordenadas sobre los radios extremos.—Por ordenadas sobre las tangentes.—Por tangentes.—Trazado por medio de las cuerdas del arco.—Por ángulos de deflexion.—Trazado por los senos y senoversos.—Por ordenadas á la cuerda.—Por ordenadas sobre las cuerdas y tangentes.—Hallar los puntos de tangencia del arco con las alineaciones.—Desarrollo de los arcos.—Hallar el punto de la curva mas próximo al ángulo de las alineaciones.—Valor de la flecha.—Hacer que el vértice del arco pase por un punto dado del terreno.—Caso en que el vértice del ángulo de las alineaciones es inaccesible, y se da un punto de la curva.—Arcos de parábola: trazado por las cuerdas.—Por intersecciones de visuales.—Curvas arbitrarias.—Por cuerdas.—Curvas de doble vuelta.—Indicacion de las tablas calculadas para el trazado de curvas.

PERFILES.

38

Niveles de aire.—Distancia de las niveladas ó golpes de nivel.—Nivel de agua.—Eclímetro.—Tablas de reduccion de grados á pendientes de minuto en minuto.—Miras.—Observaciones.—Estados de nivelacion.

TERCERA SECCION.

Movimiento de tierras.

CUBICACION DE DESMONIES Y TIERRAPIENES.

80

Superficies que limitan un trozo de carretera comprendido entre dos perfiles.—Cotas rojas y negras. Puntos de paso.—Cálculo de las líneas de paso.—Métodos gráficos para hallar los puntos de paso.—Cubicacion.—Método del área media de las secciones extremas.—Método de la seccion media.—Método llamado exacto.—Caso de ser la base un triángulo.—Caso en que sea la base del sólido un cuadrilátero.—Caso de ser la proyeccion un trapecio.—Caso de ser la proyeccion

un triángulo.—Tablas para los cálculos de desmontes y terraplenes.—Equivalencia entre los desmontes y terraplenes.—Forma de los caballeros.

CUARTA SECCION.

Observaciones relativas al proyecto de una carretera. 102

Trabajos de campo y de gabinete.—Reconocimientos —Anteproyectos y proyectos.—Representacion del terreno y objetos. Clase del dibujo.

SEGUNDA PARTE.

EJECUCION DE LAS OBRAS.

PRIMERA SECCION.

SEÑALAMIENTO DEL EJE, ESPIANACIONES Y RASANTES. 107

Operaciones para el señalamiento del eje.—Operaciones para el señalamiento de rasantes.—Empleo de las niveletas.

SEGUNDA SECCION.

Ejecucion de los desmontes y terraplenes.

DESMONTES. 110

Movimientos de tierras.—Escavaciones —Medios de ejecucion de las escavaciones en tierra.—Disposicion de los cortes ó tajos —Estraccion de las tierras.—Desmontes en roca.—Desmorte sin emplear barrenos.—Esplotacion por medio de la pólvora.—Abrir el terreno.—Instrumentos para abrir el barreno.—Cucharillas.—Enlodado del barreno.—Cargar el barreno.—Observaciones sobre las cargas y líneas de menor resistencia.—Atacar el barreno.—Pegar fuego.—Mechas de seguridad.—Barrenos dentro de agua.—Esplotacion por cámaras ó cavidades.—Método de extraer las rocas empleando ácidos

APLICACION DEL GALVANISMO Á LA ESPLITACION DE CANTERAS. 125

Primeras aplicaciones de la pila.—Esplicacion del método.—

Modo de obrar el aparato.—Colocacion de la batería y su preparacion.—Método general de verificar las operaciones.—Ventajas é inconvenientes en la práctica.—Escritos que pueden consultarse.—Estudios del Ingeniero Verdú sobre el método de aplicar la electricidad.—Rocas recalcitrantes.—Nueva pólvora de mina.—Herramientas de cantera.

TALUDES.

137

Inclinacion de taludes en los desmontes.—Terrenos de acarreo.—En las tierras vegetales.—En las arcillas.—En las rocas.—Inconvenientes de dar gran profundidad á los desmontes en ciertos casos.—Taludes adoptados en algunos paises.—Observaciones sobre la determinacion de taludes.—Ejecucion de taludes.—Marcar las directrices del talud.

APARATOS MECÁNICOS PARA DESMONTAR.

141

Éscavador americano.—Arados.

DATOS RELATIVOS Á LA MANO DE OBRA EN LAS ESCAVACIONES.

143

Sistema de desmonte empleado en cada clase de terreno indicado antes. Nomenclatura de estos.—Deducion de los datos.—Elementos que componen el coste del desmonte.—Sustitucion de tuneles á cortaduras.

TERRAPLENES.

149

Métodos de ejecucion.—Por capas delgadas.—Por gruesas capas ó crestas.—Aumento de volumen de las tierras.—Materiales que se emplean en los terraplenes.—Rampas.—Inclinacion de los escarpes y revestimientos.—Refinado de los escarpes.—Cerchas para guiar la construccion.—Costo de los terraplenes.—Refinado.—Observaciones sobre las herramientas.

TERCERA SECCION.

TRANSPORTE DE LAS TIERRAS.

153

Diversos modos de trasportar las tierras.—Conduccion en carretillas.—Longitud de las paradas.—Deducion de la distancia indicada para las paradas.—Carga y conduccion en

volquetes. — Transporte de tierras por pendientes con carretillas ó carretones. — Contador de carretillas. — Transporte en carros. — Cálculo del tiempo de transporte. — Cálculo del precio de transporte. — Transporte en carros por fuertes pendientes. — Resultado de esperiencias. — Recuas. — Esporteo.	
<i>Experimentos y resultados obtenidos en el transporte de tierras en el ferro-carril de Jerez al Puerto de Santa María.</i>	
TIERRAS CONDUCIDAS Á TERRAPLENES EN CARREILLA.	168
<i>Transportes en volquetes.</i>	169
<i>Transporte en burros.</i>	170
<i>Desmante medido en terraplen.</i>	171
<i>Wagones.</i>	173
Detalles sobre la construccion de carretillas. — Transporte de tierras en wagones y por carriles de hierro. — Disposicion de los cortes. — Descripción de los wagones. — Carriles movibles. — Límites admitidos para el empleo de los diversos medios de transporte. — Datos tomados de obras extranjeras término medio. — Datos tomados por algunos constructores en España.	
<i>Experimentos verificados en las obras del canal de conduccion de agua á Madrid.</i>	182
<i>Densidad de varias tierras comparada con la del agua, segun Schubler.</i>	id.
Medios mecánicos de subir las tierras — Obras que pueden consultarse.	
DISTANCIA MEDIA DE LOS TRASPORTES.	184
Direcciones. — Medios de hallar los centros de gravedad de los volúmenes. — Perfiles en desmante y terraplen. — Simplificación. — Fórmula para hallar la distancia media de transporte. — Puntos de que conviene llevar las tierras á los terraplenes segun las circunstancias. — Tierras de préstamos: caminos que han de seguir. — Elementos que constituyen el precio de los terraplenes. — Comparacion de los sistemas de préstamos y de compensacion.	

CUARTA SECCION.

Consolidacion de desmontes y terraplenes. 189

Consideraciones generales.

MEDIOS DE EVITAR LAS DEGRADACIONES SUPERFICIALES DE LOS TALUDES. id.

Cunetas de circunvalacion y caballeros — Siembras y plantaciones — En terrenos movedizos. — Modo de hacer las plantaciones. — Tepes y céspedes. — Revestimientos de mampostería.

CAUSAS DE LOS DESPRENDIMIENTOS EN LOS TERRENOS ARCILLOSOS Y ACUOSOS, Y MEDIOS DE PRECAVERLOS Ó REPARARIOS. 194

Propiedades características de los terrenos arcillosos. — Causas de los desprendimientos en los desmontes. — Las superficies de resbalamiento no son preexistentes. — Bases de los procedimientos de consolidacion de desmontes. — Desviacion de las aguas interiores por cuneta ó acueducto exterior. — Salida directa de las aguas interiores al fondo del desmonte. — Revestimientos de los terrenos arcillosos. — Zampeado ó revestido de zanjas — Pendiente de las zanjas transversales. — Desprendimientos. — Saneamiento en todos los puntos en que hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso. — Filtraciones generales.

TERRAPIENES. 204

Causas de los desprendimientos en los terraplenes. — Medios de consolidacion. — Terraplen sobre terreno arcilloso. — Consolidacion de los terraplenes arcillosos. — Opinion de Gregory sobre los desprendimientos. — Opinion de Stephenson. — Terraplenes en las márgenes de un rio. — Fortificacion de terraplenes en laderas de montaña.

QUINTA SECCION

Clasificacion de las partes que constituyen los perfiles transversales de un camino; sus formas y dimensiones; su construccion. 209

Situacion del plano rasante, relativamente al terreno natural. — Anchura del firme y partes accesorias. — Construccion de

la caja para el firme —Preparacion del terreno de la caja del firme segun su calidad —Roca —Terrenos arcillosos. —Terrenos pantanosos —Sancamiento del terreno. —Datos de mano de obra. —Construccion de los paseos ó refuerzos. —Cunetas. —Terrenos necesarios para la carretera.

SESTA SECCION

Afirmado de las carreteras.

HISTORIA Y DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE AFIRMADO; MATERIALES QUE SE EMPLEAN; SUS PROPIEDADES; COSTE DE LOS FIRMES. 220

Observaciones preliminares. —Firmes romanos. —Sistema misto. —Sistema de Tresaguet —Sistema de Mac-Adam —Sistema de Telford —Sistema de Polonceau. —Sistema de Candemberg —Sistema propuesto por el ingeniero Leon. —Sistema de Berthault Ducreux. —Opinion de Dumas.

CARRETERAS DE ESPAÑA. 227

Sistemas seguidos en la construccion del firme —Sistema seguido en la carretera de las Cabrillas cuando se empezó su construccion. —Sistemas adoptados mas recientemente.

EXÁMEN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE AFIRMADOS Y REGLAS GENERALES PARA SU CONSTRUCCION. 229

Grueso del firme. —Dictámen de la comision de Ingenieros franceses sobre la conservacion de carreteras. —Tamaño de la piedra —Machaqueo ó partido en caja ó fuera de ella. —Calidad de la piedra, su influencia en las cualidades del firme. —Exámen de diferentes clases de piedras —Piedras calizas: sus clases: modo de reconocerlas: sus ventajas ó inconvenientes para afirmados. —Granitos: clases: su empleo en afirmados. —Rocas micáceas, feldspáticas, anfibólicas y cuarzosas. —Areniscas: sus variedades: sus propiedades para afirmados. —Pórfidos y basaltos. —Piedras heladizas. —Modo de hacer los esperimentos para ver si es heladiza una piedra —Absorcion de las piedras y permeabilidad —Resistencias. —Pendiente transversal del firme y modo de

<i>veteras para el paso de los rios, arroyos, etc., edificios y demas accesorios de ellas.</i>	288
Diferentes clases de obras que se construyen. — Puentes, pontones, etc.: eleccion de materiales y sistemas. — Badenes. — Casas de portazgo ó pontazgo — Casillas de peones camineros. — Almacenes — Leguarias y señales kilométricas. — Pilastras indicadoras — Guias. — Guarda-ruedas, malecones y pretilos. — Arbolados.	
<i>Estaciones oportunas para ejecutar las diversas operaciones en la construccion de carreteras.</i>	297
Invierno — Primavera — Verano. — Otoño.	

TERCERA PARTE.

CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

PRIMERA SECCION.

CONSIDERACIONES GENERALES	301
Qué se entiende por conservacion: partes de que consta ó sus divisiones. — Diversas cuestiones de que se tratará, relativas á la conservacion de carreteras.	
CONSERVACION PERMANENTE DE LOS FIRMES ORDINARIOS Ó DE PIEDRA PARTIDA	303
Degradaciones del firme, causas y efectos. — Sistemas de conservacion. — Reparacion de las roderas ó <i>roderado</i> . — Bacheos. — Bacheos con piedra mezclada con detritus — Medida de los <i>bacheos</i> y datos prácticos. — Revocado del firme. — Desgaste del firme — <i>Descantado</i> y <i>remachaqueo</i> . — Estraccion de lodo y polvo — Estraccion del hielo y de la nieve. — Acopios de material.	
CONSERVACION DE LAS OBRAS DE TIERRA	315
<i>Desembroce</i> y rectificacion de cunetas. — Recargo ó <i>recrecido</i> y rectificacion de paseos. — Reparacion de taludes ó <i>escarpes</i> . — Limpia de las obras de fábrica.	

REPARACION Ó CONSERVACION PERIÓDICA.	317
SISTEMA DE CONSERVACION MISIO.	319
CONSERVACION DE FIRMES EMPEDRADOS.	320

Métodos que se emplean.—Reparar por trozos.—Hundimiento de *piezas* ó piedra.

SEGUNDA SECCION.

Herramientas y útiles que se emplean en la construccion y conservacion de carreteras. 321

Carretillas.—Palas.—Rastras.—Azadas.—Piquetes ó clavos.—Cuerdas.—Escobas y espuelas.—Cargos para medir piedra.

HERRAMIENTAS DE EMPEDRADOR. 324

Rascador ó piquetilla.—*Palanca* ó *alzapiña*.—Retundidor.—Martillos de empedrar.—Pisones.—Aparato para medir la profundidad de los baches.—Carretilla de empedrador.

APARATOS MECÁNICOS. 325

Rastra mecánica.—Otra escoba mecánica.—Otra carretilla barredora.—Rastra de Olivier.—Carrío de desenlodar de Chardot.—Otra carretilla barredora.—Carríos de riego.

TERCERA SECCION.

Gastos de conservacion. 334

Descomposicion de los gastos de conservacion.—Desgaste del firme.—Cantidad de desgaste.—Métodos para medir el desgaste y gasto de material.—Mano de obra que corresponde al desgaste.—Mano de obra en los accesorios del firme.—Gastos de vigilancia.—Gasto total de conservacion.

CUARTA SECCION.

Efectos producidos por los carruajes y caballerias sobre los firmes y su influencia para establecimiento de porrazgos. 347

Observaciones sobre las cuestiones que han de tratarse.—Experimentos de Morin.—Influencia del diámetro de las ruelas.

das.—Influencia del ancho de las llantas y cargas.—Influencia de la velocidad.—Investigaciones de Courtois.—Accion de los carruajes.—Accion de las caballerías.—Resumen.—Resultados de varias opiniones.—Opinion de Dupuit sobre la industria de trasportes.—Observaciones de Berthault Ducreux.—Dictámen de la comision francesa.—Conclusiones.

QUINTA SECCION

Descripcion y exámen de los diferentes sistemas de afirmados construidos en diversas capitales. 358

Afirmados de Madrid.—Afirmados de las calles de Londres.—Empedrado Taylor.—Empedrados con carriles de losas.—Firmes á la Mac-Adam.—Gastos de construccion y conservacion.—Firmes de madera.

AFIRMADOS DE PARIS

365

Sistema administrativo y directivo.—Empedrados.—Afirmado de piedra machacada.—Firmes bituminosos.—Limpieza de las calles.

OBSERVACIONES SOBRE LOS SISTEMAS DE AFIRMADOS DE LAS CARRETERAS POR EL INGENIERO BAUDEMOULIN. 368

Empedrados de Nápoles, Florencia y Milan.—Análisis de los sistemas de afirmados de las calles de Paris y comparacion con los anteriores.

SESTA SECCION.

Organizacion del servicio de conservacion de las carreteras. 372

Exámen de diversos sistemas de organizacion -- Sistema de peones fijos y de auxiliares.—Longitud de los trozos de carretera de cada peon.—Organizacion del servicio de conservacion en España.—Organizacion en Francia y Alemania.—En Inglaterra.

Resúmen de las operaciones de conservacion en las diversas estaciones. 382

Invierno.—Primavera —Verano.—Otoño

CUARTA PARTE.

DEL CILINDRO COMPRESOR Y DE SUS APLICACIONES.

PRIMERA SECCION. 387

Materiales de que se construye. — Origen de las aplicaciones. — Experimentos con cilindros de pequeño diámetro. — Cilindros de gran diámetro. — Modificaciones introducidas en los cilindros compresores. — Cilindro de Haugeau. — Cilindro de Regnault. — Empleo del cilindro en España.

SEGUNDA SECCION.

Resúmen de las reglas que deben tenerse presente para el empleo del cilindro compresor. 394

Clase y dimensiones del cilindro. — Carga del cilindro y número de pasos. — Recebado. — Estaciones convenientes para cilindrar. — Servicio del cilindro y anotaciones que deben tomarse

TERCERA SECCION.

Aplicaciones del cilindro compresor. 399

Efectos del cilindrado: su influencia en los gastos de conservación de firmes ordinarios. — Empleo del cilindro en la conservación de empedrados.

QUINTA PARTE.

PRIMERA SECCION.

Observaciones sobre la influencia de los sistemas de ejecución de las obras en su perfeccion y organizacion de trabajos. 405

Sistemas de ejecución. — Qué obras conviene ejecutar á jornal, por ajustes, destajos, etc. — Detalles sobre los diferentes medios de ejecución de cada clase de obras — Aplicacion de los confinados á las obras.

SEGUNDA SECCION.

Documentos relativos á la organizacion de trabajos. 417

SESTA PARTE.

De los carruajes y animales de tiro empleados en los trasportes. 431

Observaciones generales.—Investigaciones de Comtois

DE LOS CARRUAJES. 432

Clasificacion de los carros de transporte, ventajas é inconvenientes respectivos. —Ruedas. —Relacion entre el peso muerto y el útil.—Resistencias que se oponen á la marcha de los carruajes. —Fórmulas para hallar las resistencias. —Aplicacion de las fórmulas.

DE LAS CABALLERÍAS DE TIRO. 444

Disposicion y número de caballerías en los tiros.—Esfuerzo desarrollado por las caballerías: fórmulas generales —Pruebas de agilidad, fuerza, etc , de las caballerías.—Investigaciones de Desvillers sobre la fuerza de tiro —Experimentos de Dupuits sobre la fuerza de tiro y resistencias.—Experimentos de Morin.

APENDICES.

1.º *Reseña histórica de las obras públicas de España y número de carreteras.* 457

2.º *Coste de varias carreteras de España por kilómetro.* 460

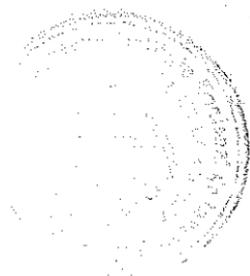
3.º *Productos de portazgos.—Relacion del tránsito en las carreteras.—Deducciones para formar los presupuestos de conservacion. —Unidad leguaria* 469

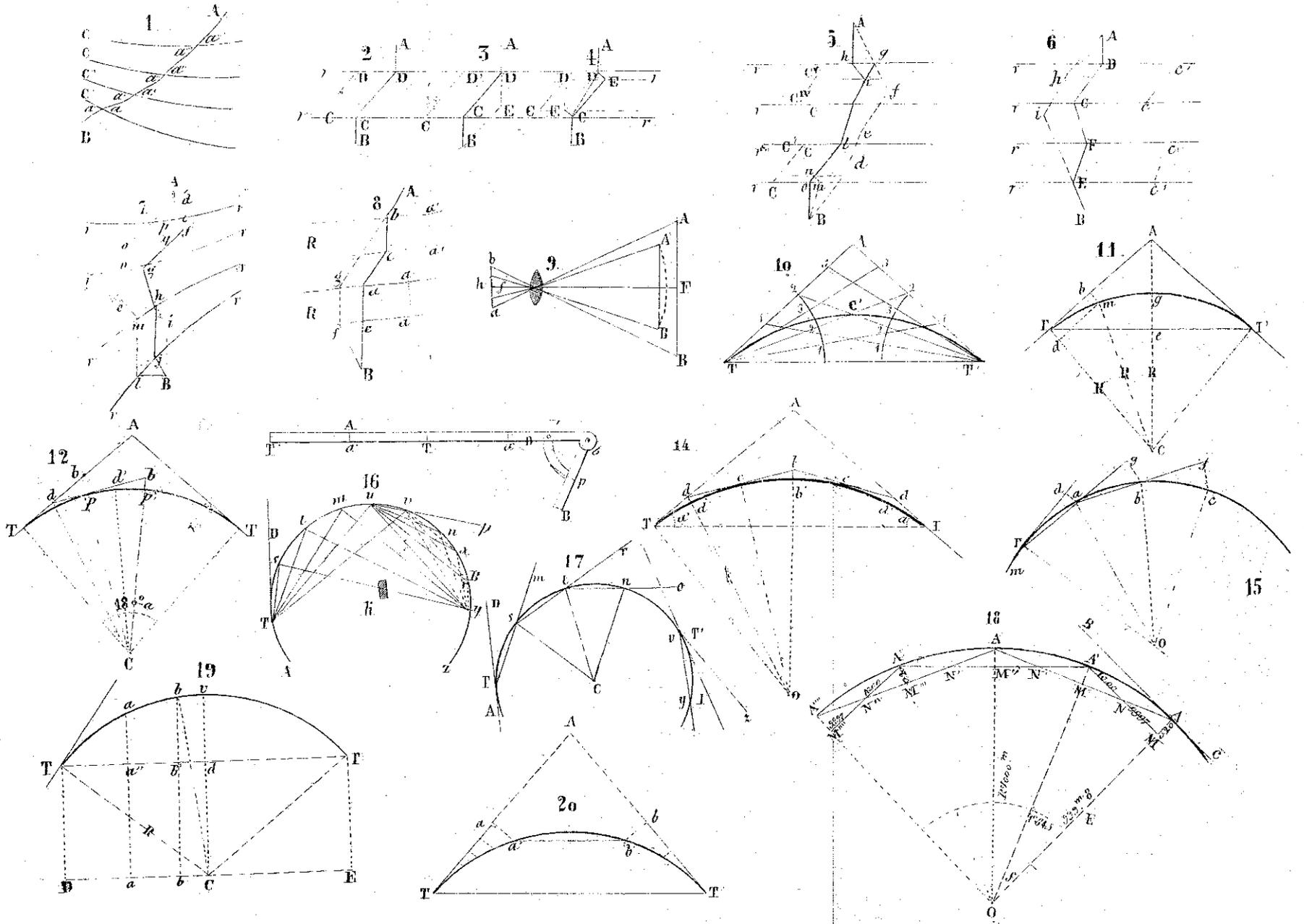
Unidad leguaria.

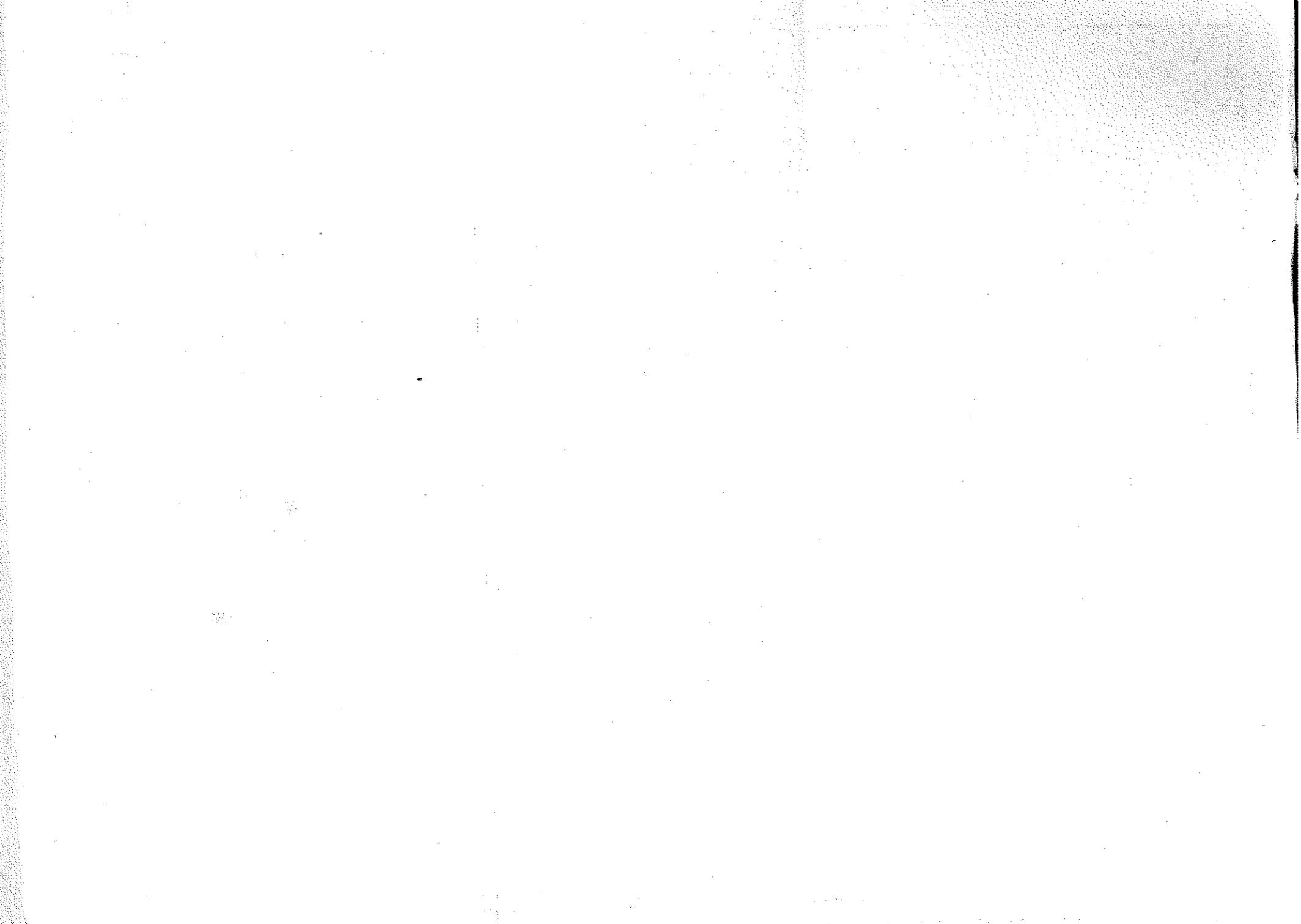
4.º *Precios elementales —De unidades de obras.—De transportes de tierras.—De empedrados.—De recargos.—De arbolados.* 473

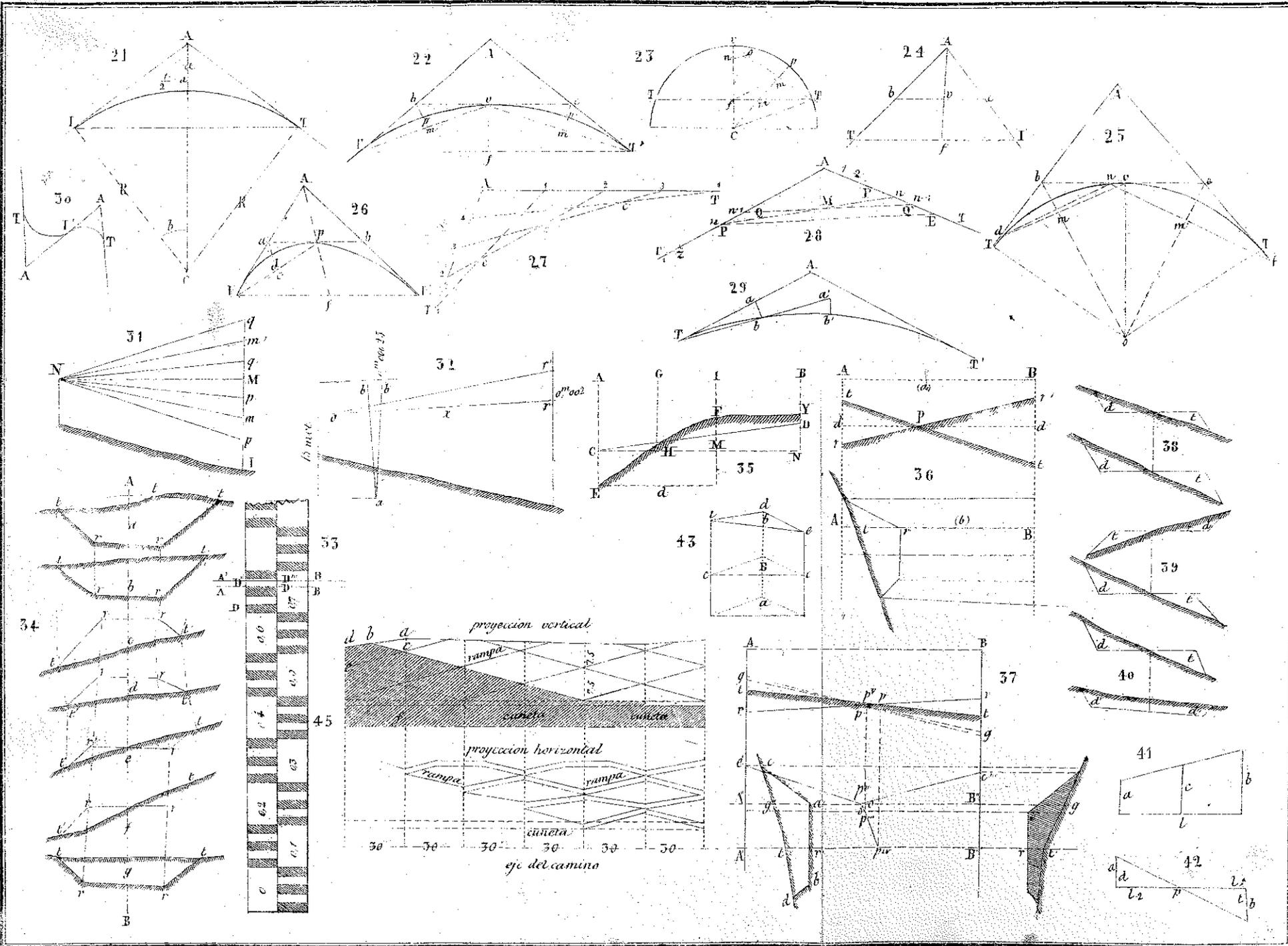
Por compra al pie de obra.

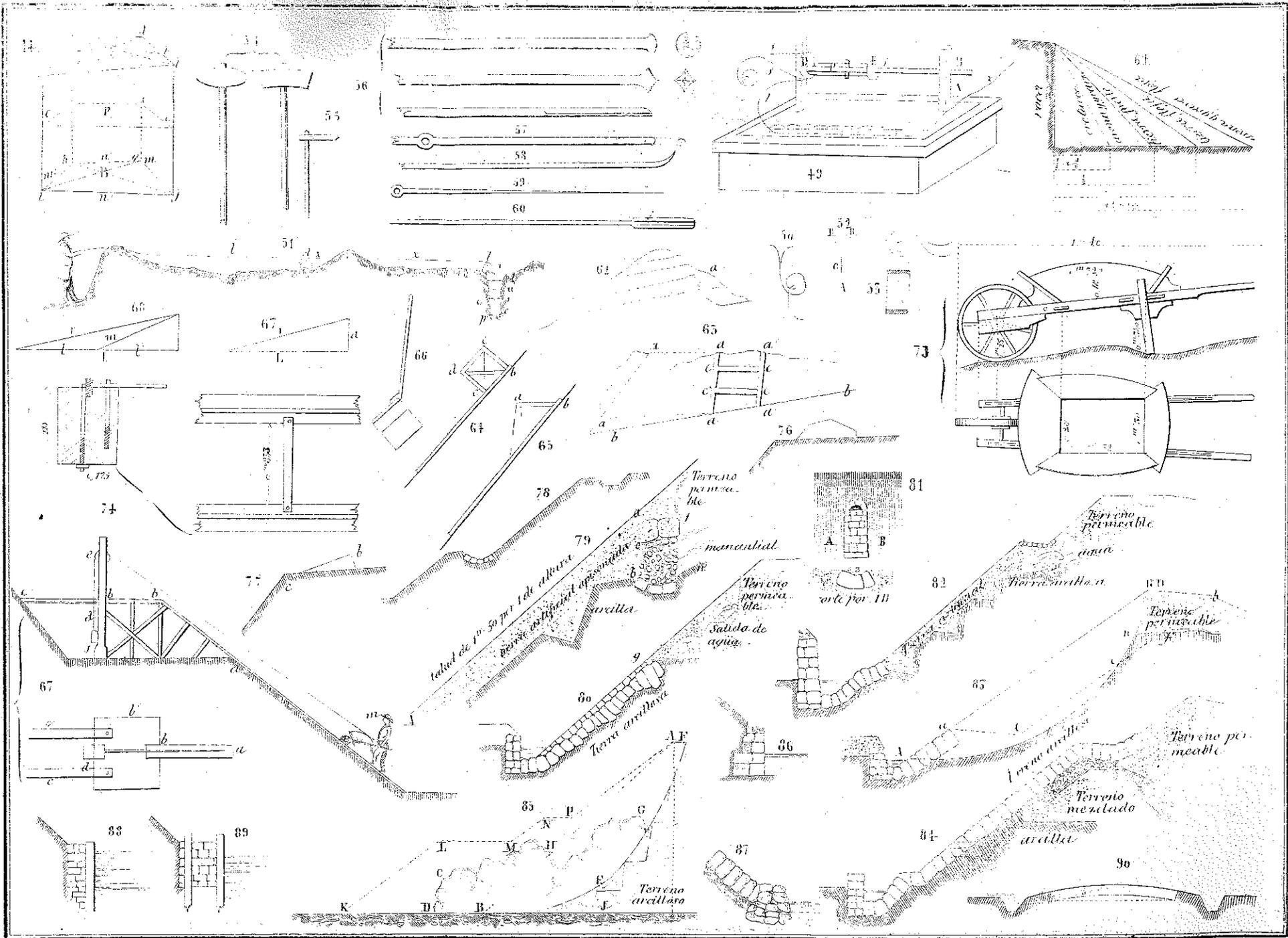
5.º *Tabla de correspondencia de las medidas y pesos mas usuales.* 483

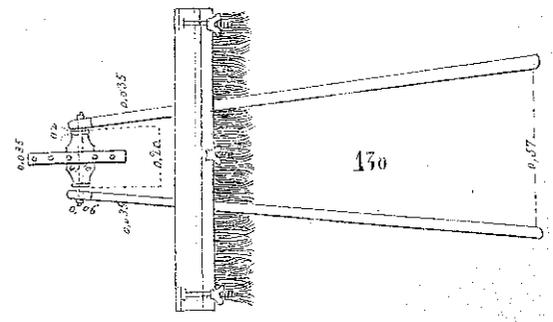
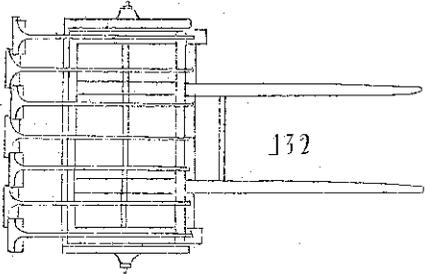
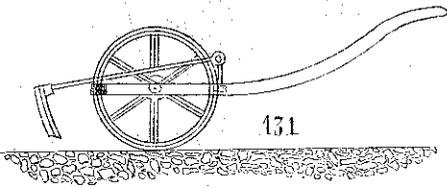
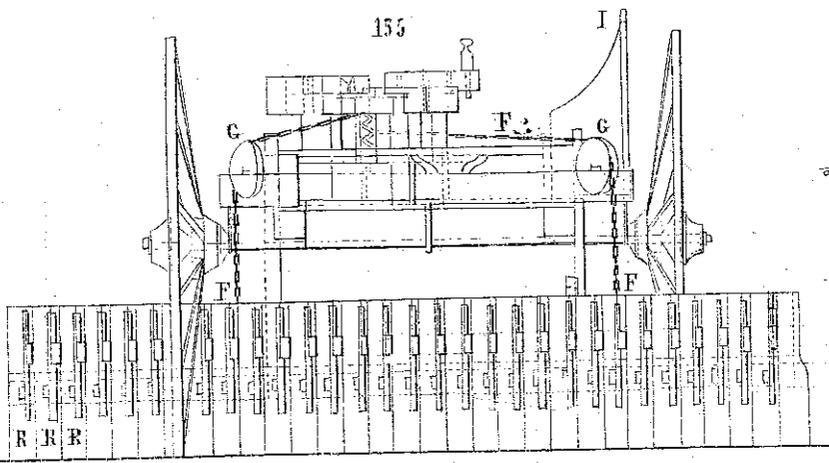
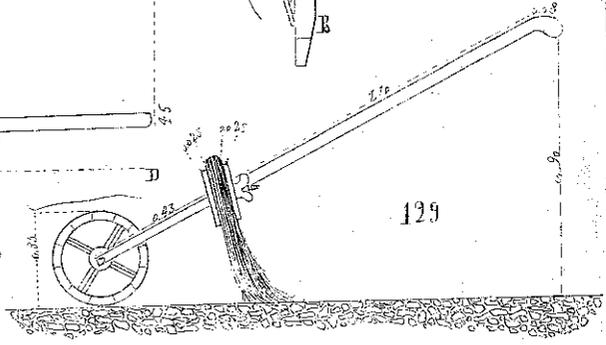
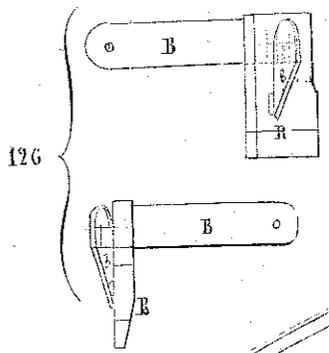
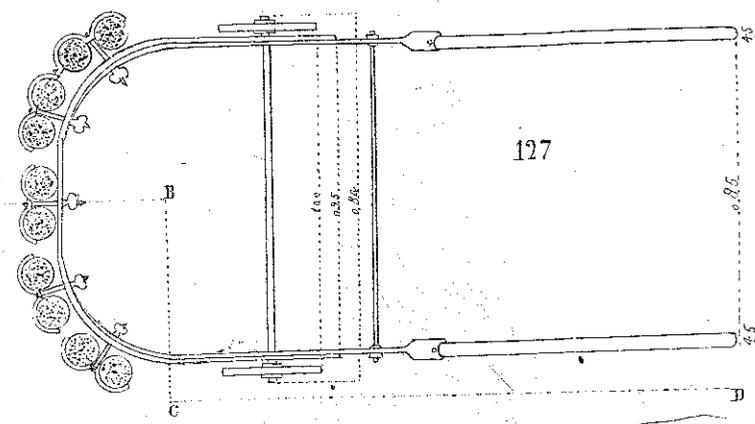
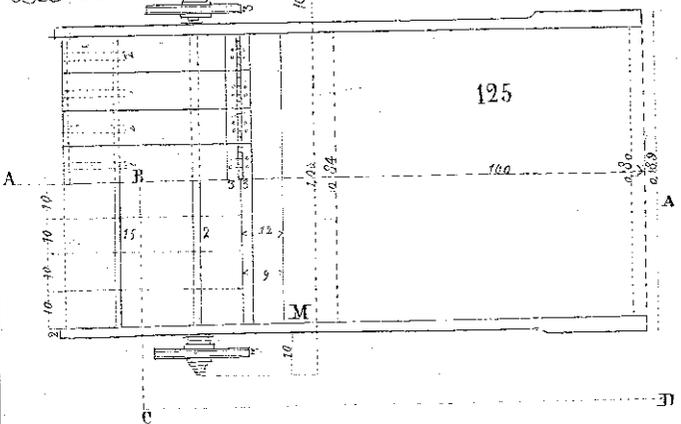
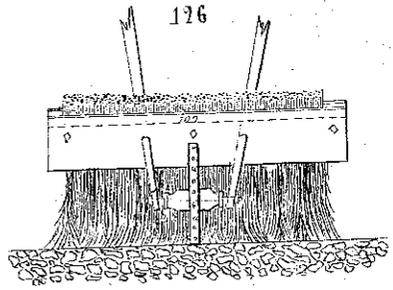
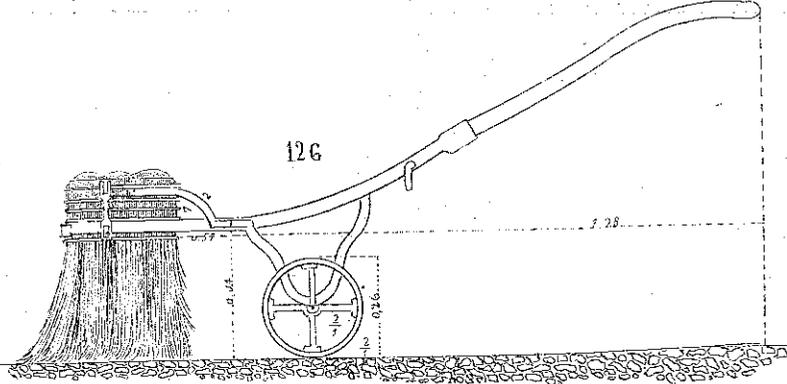
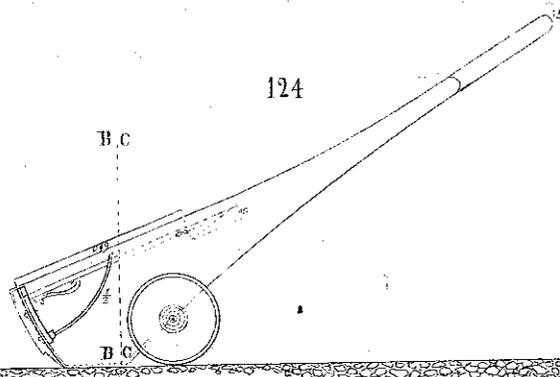


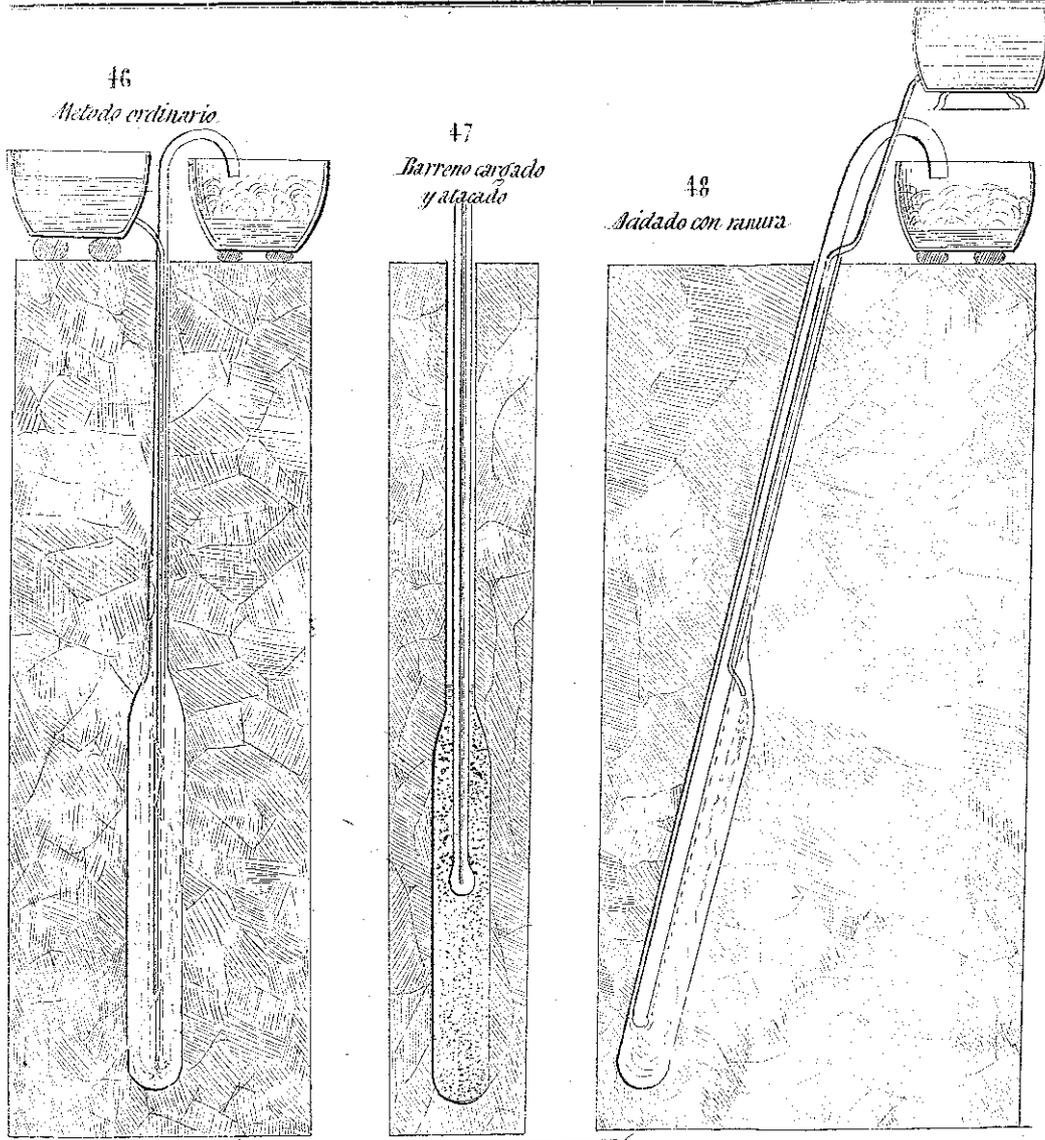




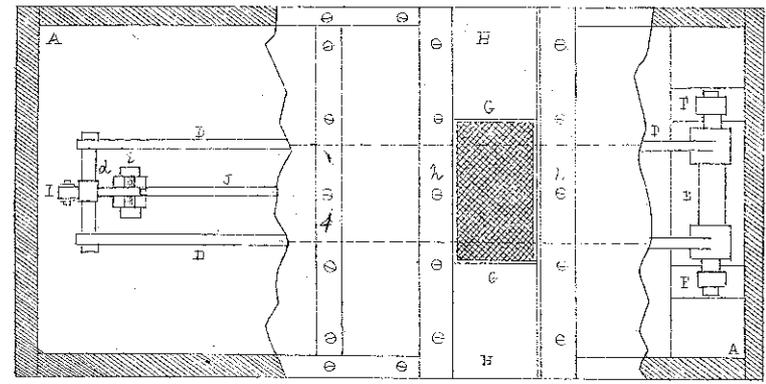
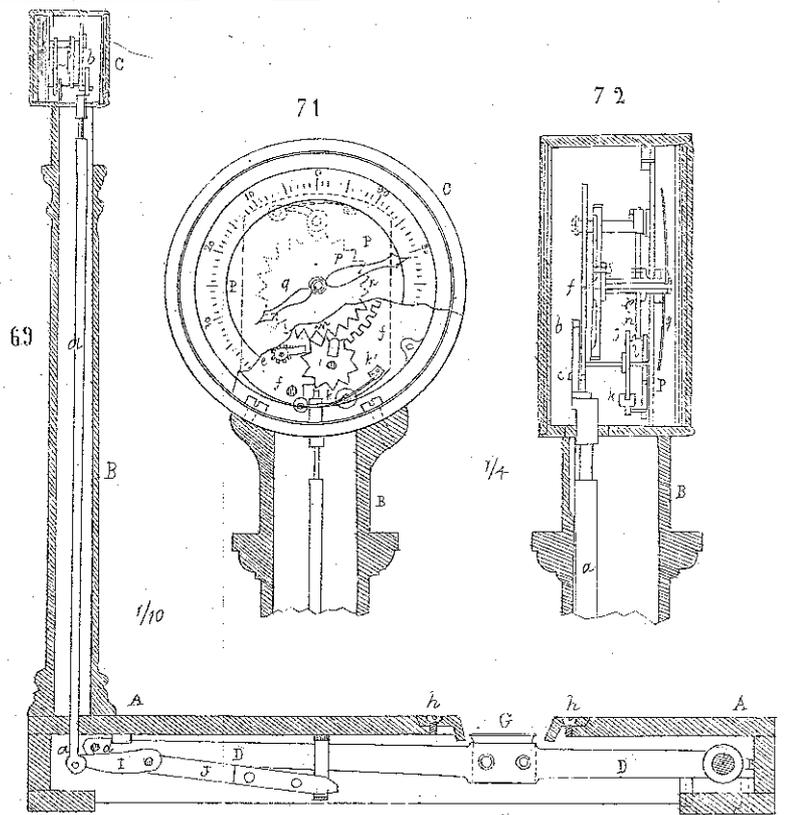
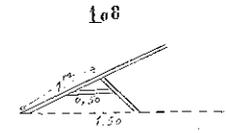
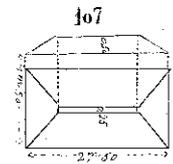
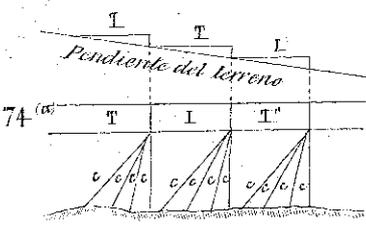


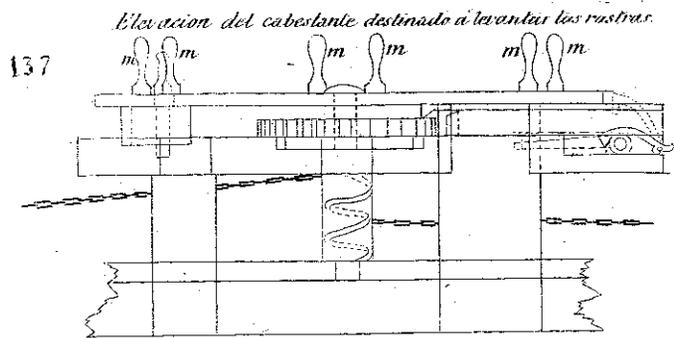




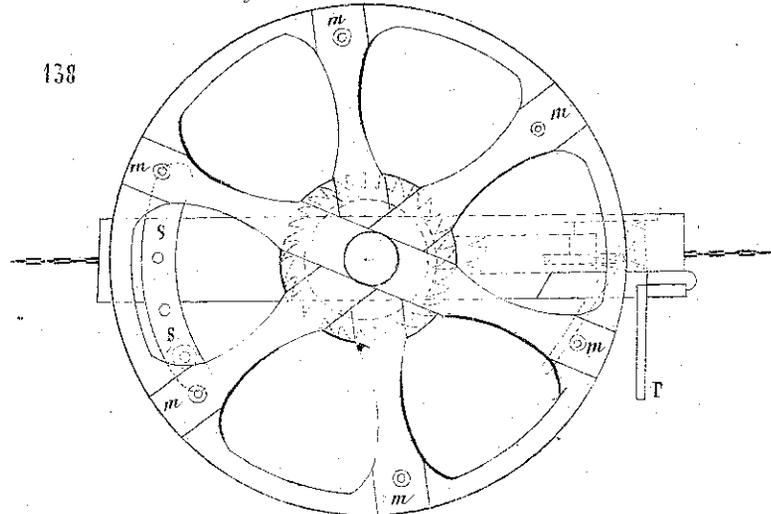


Escala 0 015

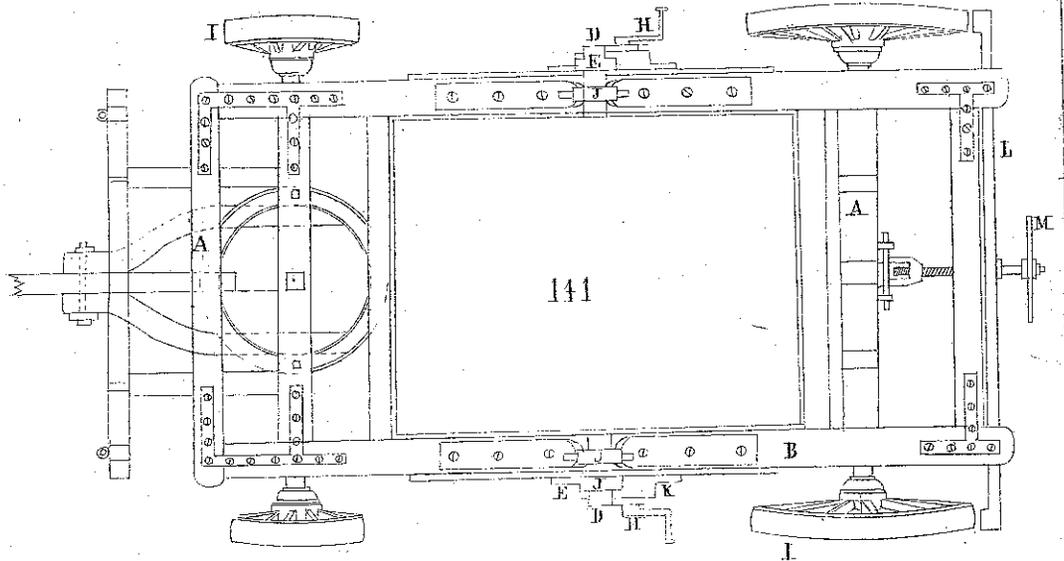
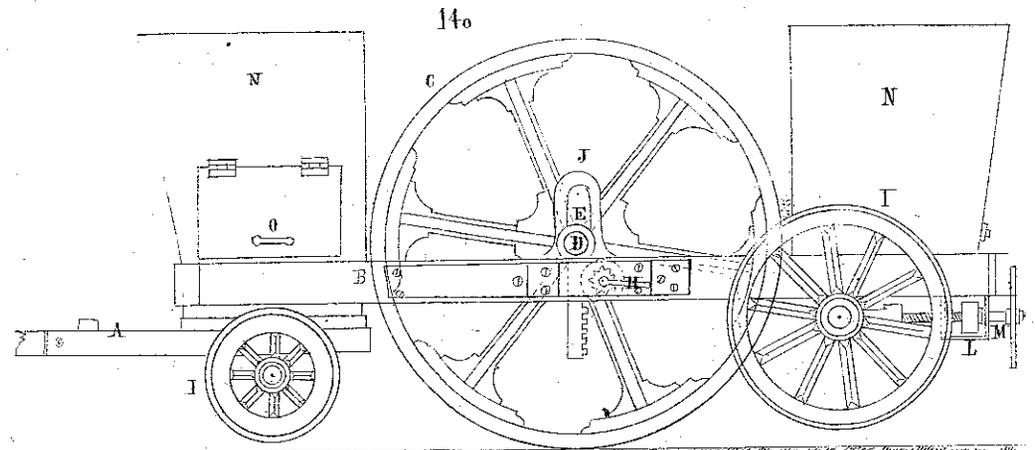
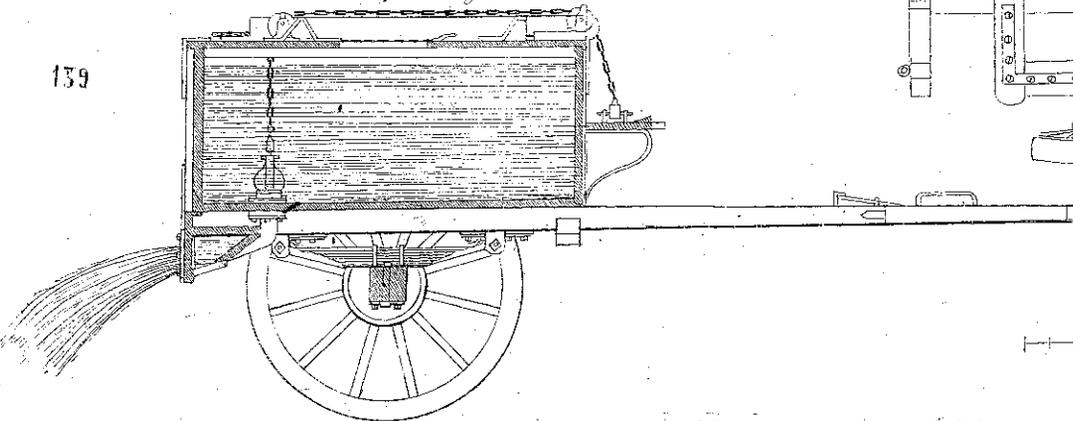




Proyeccion horizontal.



Seccion de un carro para riego



Escala para las fig^s 140 y 141

