

+757838

DG  
COM

# LECCIONES

DE

GARRETERAS, CAMINOS DE HIERRO

y

NAVEGACION INTERIOR Y EXTERIOR,

EXPLICADAS EN LA ESCUELA DE AYUDANTES DE OBRAS PÚBLICAS

POR

D. CAYETANO GONZALEZ DE LA VEGA,

INGENIERO JEFE DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

~~~~~

## PARTE PRIMERA.

---

Obras de tierra y fábrica.—Carreteras.

~~~~~

BURGOS.

Establecimiento tipográfico de D. Sergio de Villanueva, Plaza Mayor, 2.

1868.

*Antonio Rivero*

LECCIONES

DE

CARRERAS, CAMINOS DE HIERRO

NAVIGACION INTERIOR Y EXTERIOR

EXPLICADAS EN LA ESCUELA DE INGENIEROS DE OBRAS PUBLICAS

POR

D. CAYETANO GONZALEZ DE LA VEGA

INGENIERO JEFE DE OBRAS, CARRERAS Y FERROVIAS

PARTI PRIMEIRA.

Obras de tierra y fábrica.—Carreteras.

ARTICULOS

1884

---

---

# ÍNDICE.

	Páginas.
INTRODUCCION. . . . .	I

## PRIMERA PARTE.

~~~~~

### SECCION PRIMERA.—OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.

#### CAPITULO PRIMERO.—Desmontes.

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 1 Ideas generales. . . . .                                 | 1   |
| 2 Ejecucion de los desmontes. . . . .                      | 4   |
| 3 Cava ó arranque segun la naturaleza del terreno. . . . . | id. |
| 4 Tierras flojas. . . . .                                  | id. |
| 5 Tierras duras. . . . .                                   | id. |
| 6 Tierras muy duras. . . . .                               | 5   |
| 7 Rocas flojas. . . . .                                    | 6   |
| 8 Rocas duras. . . . .                                     | id. |
| 9 Empleo del barreno. . . . .                              | id. |

|                                                     | Páginas. |
|-----------------------------------------------------|----------|
| 10 Perforacion del barreno. . . . .                 | 8        |
| 11 Carga del barreno. . . . .                       | 10       |
| 12 Explosion del barreno. . . . .                   | id.      |
| 13 Otro medio de aplicacion de la pólvora. . . . .  | 12       |
| 14 Explosion por medio de las minas. . . . .        | 14       |
| 15 Clase de pólvora mas conveniente. . . . .        | id.      |
| 16 Mano de obra de la cava ó arranque. . . . .      | 15       |
| 17 Marcha de los trabajos. . . . .                  | id.      |
| 18 Destino de los productos de un desmonte. . . . . | 16       |
| 19 Perfil trasversal de los desmontes. . . . .      | 18       |
| 20 Caja de la explanacion. . . . .                  | id.      |
| 21 Cunetas. . . . .                                 | 19       |
| 22 Taludes de los desmontes. . . . .                | id.      |
| 23 Superficie de los taludes. . . . .               | 20       |
| 24 Ejecucion y refino de los taludes. . . . .       | 21       |
| 25 Aparatos mecánicos para desmontar. . . . .       | 22       |

**CAPITULO SEGUNDO.—Carga, transporte y  
descarga.**

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 26 Principios generales. . . . .                           | 25  |
| 27 Número de cavadores y cargadores. . . . .               | id. |
| 28 Diferentes medios de transporte. . . . .                | 26  |
| 29 Transporte á la pala. . . . .                           | id. |
| 30 Transporte con espuertas y cestos. . . . .              | 27  |
| 31 Transporte con carretillas. . . . .                     | id. |
| 32 Descripcion de las carretillas. . . . .                 | 29  |
| 33 Transporte con el camion. . . . .                       | 30  |
| 34 Transporte con carros servidos por caballerías. . . . . | 31  |
| 35 Transporte con wagoes. . . . .                          | 32  |
| 36 Wagoes. . . . .                                         | 33  |
| 37 Vias. . . . .                                           | 34  |
| 38 Disposicion de las vias. . . . .                        | id. |
| 39 Desmontes de grande altura. . . . .                     | 37  |

|    | Páginas.                                                  |
|----|-----------------------------------------------------------|
| 40 | Trasporte con locomotoras. . . . . 37                     |
| 41 | Wagones y operarios necesarios en un desmonte. . . 38     |
| 42 | Comparacion entre los diferentes medios de transporte. 39 |
| 43 | Trasportes verticales.—Regla general para su cálculo. 40  |
| 44 | Trasportes por rampas de tierra. . . . . 41               |
| 45 | Casos particulares. . . . . 42                            |
| 46 | Aplicacion á diferente clase de vias. . . . . id.         |
| 47 | Medios de realizar el transporte vertical. . . . . 44     |
| 48 | Elevacion con la pala. . . . . id.                        |
| 49 | Elevacion por medio de tornos. . . . . id.                |
| 50 | Direccion de los caminos de transporte. . . . . 45        |

### **CAPITULO TERCERO.—Terraplenes.**

#### *Condiciones del terreno.—Materiales.—Ejecucion y forma.*

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| 51  | Partes de estudio mas esencial. . . . . 47                                  |
| 52  | Condiciones del terreno. , . . . . id.                                      |
| 53  | Terrenos húmedos y compresibles. . . . . 48                                 |
| 53' | Terrenos arcillosos en ladera. . . . . 49                                   |
| 54  | Preparacion de la superficie del terreno. . . . . id.                       |
| 55  | Materiales para formar terraplenes.—Tierras vegetales y sueltas. . . . . 50 |
| 56  | Arcillas. . . . . id.                                                       |
| 57  | Empleo de la arcilla en los terraplenes. . . . . id.                        |
| 58  | Arenas y gravas. . . . . 51                                                 |
| 59  | Piedras. . . . . id.                                                        |
| 60  | Procedencia del material de los terraplenes. . . . . 53                     |
| 61  | Mano de obra de los terraplenes.—Primer medio. . . 54                       |
| 62  | Segundo sistema. . . . . id.                                                |
| 63  | Terraplenes sobre las obras de fábrica. . . . . 56                          |
| 64  | Terraplenes en contacto con las aguas. . . . . id.                          |
| 65  | Forma y dimensiones de los terraplenes. . . . . 57                          |
| 66  | Terraplenes hechos con tierras de préstamo. . . . . id.                     |

|    | Páginas.                                                                  |
|----|---------------------------------------------------------------------------|
| 67 | Excavaciones de préstamo. . . . . 58                                      |
| 68 | Depósito de los productos excedentes de los desmontes 59                  |
| 69 | Depresion ó asiento de los terraplenes. . . . . id.                       |
| 70 | Empleo de muros de contenciu en los desmontes y<br>terraplenes.. . . . 60 |

#### **CAPITULO CUARTO.—Consolidacion de los desmontes y terraplenes.**

*Movimientos de los desmontes y terraplenes.—Causas  
que pueden producirlos.—Medios de corregirlos en  
cada caso.*

|    |                                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 71 | Movimientos en los desmontes y terraplenes.. . . . 63                               |
| 72 | Movimientos superficiales en las caras de los desmontes 64                          |
| 73 | Medios de corregir estos desprendimientos. . . . . 65                               |
| 74 | Revestimiento con tierra vegetal y semillas. . . . . id.                            |
| 75 | Revestimiento de céspedes. . . . . 66                                               |
| 76 | Revestimiento de empedrado. . . . . id.                                             |
| 77 | Corrimientos ó resbalamientos del terreno.—Causas<br>á que son debidos.. . . . 67   |
| 78 | Época de los corrimientos.. . . . 69                                                |
| 79 | Justificacion de esta teoría. . . . . 70                                            |
| 80 | Medios para corregir estos movimientos del terreno. 71                              |
| 81 | Casos en que los movimientos del terreno son debidos<br>á varias causas. . . . . 74 |
| 82 | Movimientos de los terraplenes. . . . . id.                                         |
| 83 | Desarreglos en el macizo de terraplen. . . . . id.                                  |
| 84 | Movimiento del terreno sobre que insiste un terraplen 75                            |
| 85 | Medios de corregir estos movimientos. . . . . 76                                    |

#### **CAPITULO QUINTO.—Subterráneos.**

|    |                                                  |
|----|--------------------------------------------------|
| 86 | Subterráneos.—Causas que los motivan. . . . . 79 |
|----|--------------------------------------------------|

|                                                               | Páginas. |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| 87 Seccion ó forma de los túneles. . . . .                    | 80       |
| 88 Marcha de los trabajos.—Indicaciones generales. . . . .    | id.      |
| 89 Condiciones del terreno.—Terrenos flojos. . . . .          | 81       |
| 90 Puntos de ataque.—Galerías.—Pozos. . . . .                 | id.      |
| 91 Revestimiento de la galería. . . . .                       | 82       |
| 92 Ensanche de la galería. . . . .                            | id.      |
| 93 Colocacion de las cimbras. . . . .                         | 83       |
| 94 Construccion de la bóveda. . . . .                         | id.      |
| 95 Construccion de los estribos ó pies derechos. . . . .      | 84       |
| 96 Observaciones acerca de la marcha de los trabajos. . . . . | 85       |
| 97 Ejecucion de los trabajos por galería baja. . . . .        | 86       |
| 98 Terrenos duros. . . . .                                    | 87       |
| 99 Pozos.—Su objeto. . . . .                                  | id.      |
| 100 Situacion, forma y profundidad de los pozos. . . . .      | 88       |
| 101 Revestimiento de los pozos. . . . .                       | 89       |
| 102 Ventanas ó galerías laterales. . . . .                    | 90       |
| 103 Desmontes. . . . .                                        | 91       |
| 104 Continúos reconocimientos del terreno. . . . .            | 92       |
| 105 Trasporte del producto de los desmontes. . . . .          | 94       |
| 106 Servicio de materiales y operarios. . . . .               | 95       |
| 107 Agotamientos. . . . .                                     | 96       |
| 108 Ventilacion. . . . .                                      | id.      |
| 109 Materiales para las mamposterías. . . . .                 | 97       |
| 110 Mezclas y morteros hidráulicos. . . . .                   | 98       |
| 111 Mano de obra de las mamposterías. . . . .                 | id.      |
| 112 Espesores de la bóveda y estribos. . . . .                | id.      |
| 113 Trasdosado del revestimiento. . . . .                     | 99       |
| 114 Descimbramiento. . . . .                                  | id.      |
| 115 Seccion ó forma de los estribos. . . . .                  | 100      |
| 116 Trabajos de saneamiento. . . . .                          | id.      |
| 117 Alumbrado. . . . .                                        | 101      |
| 118 Relevos de las brigadas de operarios. . . . .             | id.      |
| 119 Cabezas ó frentes de los túneles. . . . .                 | 102      |
| 120 Coste de los trabajos subterráneos. . . . .               | 103      |

**CAPITULO SEXTO.—Obras de fábrica.**

|                                                              | Páginas. |
|--------------------------------------------------------------|----------|
| 121 Clase de obras. . . . .                                  | 105      |
| 122 Obras de desagüe. . . . .                                | id.      |
| 123 Su situacion general. . . . .                            | 106      |
| 124 Terraplenes elevados. . . . .                            | id.      |
| 125 Oblicuidad de las obras de fábrica. . . . .              | 108      |
| 126 Terrenos muy inclinados. . . . .                         | id.      |
| 127 Terrenos muy llanos. . . . .                             | 109      |
| 128 Badenes.—Su inconveniencia.—Medios de evitarlos .        | 110      |
| 129 Desagües en los muros de contencion. . . . .             | id.      |
| 130 Defensa de los terraplenes contiguos á los desagües. id. | id.      |
| 131 Defensa de los cimientos.—Encachados. . . . .            | 111      |
| 132 Desagües en los desmontes. . . . .                       | id.      |
| 133 Claro ó desembocadura de las obras de desagüe. .         | 112      |

~~~~~

SECCION SEGUNDA.—AFIRMADO Y OBRAS ACCESORIAS  
DE LAS CARRETERAS.

—

**CAPITULO PRIMERO.—Firme y paseos.**

*Diferente clase de firmes.—Materiales.—Mano de obra.  
Comparacion.*

134 Idea general de una carretera. . . . .	115
135 Breve reseña histórica de las carreteras. . . . .	116
136 Dimensiones generales. . . . .	id.
137 Condiciones generales del firme. . . . .	117
138 Diferentes clases de firmes. . . . .	id.
139 Seccion ó forma de la superficie del firme. . . . .	118
140 Caja del firme. . . . .	120
141 Paseos. . . . .	121
142 Materiales para el firme. . . . .	122

	<u>Páginas.</u>
143 Piedras areniscas.—Granitos. . . . .	123
144 Piedras silíceas . . . . .	id.
145 Piedras calizas. . . . .	124
146 Sistemas seguidos en la construccion del firme. . . . .	125
147 Saneamiento de la caja del firme. . . . .	129
148 Machaqueo de la piedra. . . . .	id.
149 Extension y arreglo del firme. . . . .	132
150 Materiales de diferente calidad y dureza. . . . .	id.
151 Recebos. . . . .	133
152 Compresion del firme.—Rodillo compresor. . . . .	135
153 Efectos del cilindro. . . . .	137
154 Firmes empedrados. . . . .	138
155 Firmes adoquinados. . . . .	139
156 Materiales para los firmes empedrados y adoquinados	140
157 Comparacion entre los firmes adoquinados y los or- dinarios. . . . .	id.

**CAPITULO SEGUNDO.—Obras accesorias.**

158 Objeto y clase de estas obras. . . . .	143
159 Guarda-ruedas. . . . .	id.
160 Malecones. . . . .	144
161 Pretiles. . . . .	145
162 Fuentes y abrevaderos. . . . .	id.
163 Postes indicadores. . . . .	id.
164 Arbolado.—Su objeto. . . . .	146
165 Clase de árboles propios para las carreteras.—Su plantacion. . . . .	id.
166 Postes kilométricos. . . . .	148
167 Casillas de peones camineros. . . . .	id.
168 Su emplazamiento ó situacion. . . . .	149
169 Su capacidad. . . . .	id.
170 Su construccion. . . . .	150
171 Casas-portazgos. Su objeto, situacion y construccion.	id.

**CAPITULO TERCERO.—Conservacion de  
carreteras.**

	Páginas,	
172	Diversos sistemas de conservacion del firme. . . . .	153
173	Conservacion permanente. . . . .	155
174	Material del desgaste.—1.º Polvo. . . . .	id.
175	Idem.—2.º Lodo. . . . .	156
176	Empleo de los materiales. . . . .	157
177	Cantidad de materiales que debe emplearse. . . . .	159
178	Método en la mano de obra. . . . .	160
179	Reparacion de las degradaciones accidentales. . . . .	161
180	Reparacion de carreteras. . . . .	163
181	Inconvenientes de remover todo el firme. . . . .	id.
182	Reparacion de las carreteras en mal estado. . . . .	164
183	Del bombeo y del ancho de los firmes. . . . .	166
184	Resúmen. . . . .	167
185	Observaciones acerca de los anteriores principios. . . . .	id.
186	Acopios de piedra machacada.—Métros cúbicos neces- sarios por kilómetro. . . . .	168
187	Clase de material, su recepcion y apilamiento. . . . .	169
188	Efectos de los hielos.—Espaleo de nieves. . . . .	170
189	Conservacion de los firmes empedrados. . . . .	172
190	Id. de las obras de tierra.—Desmontes y terraplenes . . . . .	173
191	Cunetas. . . . .	id.
192	Paseos. . . . .	174
193	Conservacion de las obras de fábrica. . . . .	175
194	Idem de las obras accesorias. . . . .	176
195	Guarda-ruedas, malecones y postes kilométricos. . . . .	177
196	Fuentes y abrevaderos. . . . .	id.
197	Conservacion del arbolado. . . . .	id.
198	Organizacion del personal de conservacion. . . . .	179

## SECCION TERCERA.—TRAZADO Y PROYECTO.

**CAPITULO PRIMERO.—Condiciones del trazado de una via de comunicacion y medios de satisfacerlas.**

	Páginas.
199	Condiciones generales. . . . . 181
200	Condiciones facultativas y económicas. . . . . 182
201	Menor longitud de la via. . . . . 183
202	Influencia de las pendientes.—Pendientes límites en las carreteras. . . . . id.
203	Distribucion de las pendientes. . . . . 188
204	Alineaciones curvas.—Su influencia en la traccion. . 189
205	Puntos principales de paso. . . . . 192
206	Menor coste de construccion y conservacion de las obras 193

**CAPITULO SEGUNDO.—Trabajos de campo.***Reconocimiento del terreno.—Plano.—Perfiles.—Práctica y marcha de estas operaciones.*

207	Necesidad de los reconocimientos previos del terreno 195
208	Constitucion ó forma hidrográfica del terreno. . . 196
209	Modo de hacer los reconocimientos.—Datos que deben recogerse. . . . . 198
210	Puntos de paso de las divisorias. . . . . 200
211	Reconocimiento de las laderas ó vertientes de una divisoria. . . . . id.
212	Paso de las corrientes de agua. . . . . 201
213	Terrenos llanos. . . . . id.
214	Resultado de los reconocimientos. . . . . 202
215	Estudios de detalle. . . . . id.
216	Trazado horizontal. . . . . 203

	<u>Páginas.</u>
217	Dirección del trazado en los valles. . . . . 204
218	Paso de las divisorias y valles principales. . . . . 206
219	Nivelación longitudinal. . . . . 207
220	Idem trasversal. . . . . 208
221	Práctica de las operaciones indicadas. . . . . 209
222	Alineaciones curvas. . . . . 211

### **CAPITULO TERCERO.—Trabajos de gabinete.**

#### *Formación del plano y perfiles.*

223	Plano completo de terreno. . . . . 213
224	Alineaciones definitivas. . . . . 214
225	Alineaciones curvas. . . . . 217
226	Perfil longitudinal definitivo. . . . . id.
227	Perfiles trasversales. . . . . 220
228	Líneas de paso. . . . . 221
229	Perfiles y dibujos del firme, obras de fábrica y accesorias. . . . . 223

### **CAPITULO CUARTO —Presupuestos.**

230	Ideas generales. . . . . 225
231	Cubicación de los desmontes y terraplenes.—Diversos métodos. . . . . id.
232	Cubicación según las diversas posiciones de los perfiles trasversales. . . . . 232
233	Áreas de los perfiles trasversales. . . . . 234
234	Clasificación de los volúmenes de desmonte. . . . . 237
235	Cubicación del firme de las carreteras. . . . . 239
236	Cubicación del recebo. . . . . 240
237	Cubicación de las obras de fábrica. . . . . id.

238	Observaciones acerca de la cubicacion y altura de las obras de fábrica.	241
239	Obras accesorias.	242
240	Cálculo de las distancias de trasporte de los desmontes	243
241	Trasportes del material para obras de fábrica y afirmado	246
242	Valoracion de las unidades de obra.—Explanacion.	248
243	Obras de fábrica.—Sillería.	251
244	Sillarejo.	252
245	Mampostería ordinaria.—Hormigon.	253
246	Ladrillo.	254
247	Obras de madera.	id.
248	Obras de afirmado.	255
249	Coste del cilindrado.	258
250	Obras accesorias.	259
251	Gastos de conservacion.	id.
252	Expropiaciones.—Conclusion.	260

**CAPITULO QUINTO.—Replanteo.**

253	Objeto del replanteo.	263
254	Replanteo de la directriz.	id.
255	Alineaciones rectas.	264
256	Alineaciones curvas circulares.—Primer método: por ordenadas sobre las tangentes.	265
257	Segundo método: por las bisectrices.	id.
258	Tercer método. por ordenadas sobre la cuerda.	266
259	Cuarto método: por los ángulos de las cuerdas sucesivas.	267
260	Quinto método: por el mismo anterior, pero sin medir las ángulos de las cuerdas.	268
261	Sexto metodo; por intersecciones de cuerdas.	269
262	Trazado de las curvas parabólicas; primer método; por las tangentes sucesivas.	id.

	Páginas.
263 Segundo método; por las subtangentes. . . . .	270
264 Trazado de la directriz en los subterráneos. . . . .	271
265 Replanteo de las rasantes. . . . .	id.
266 Zona de terreno necesaria para la explanación. . . . .	272
267 Rectificaciones del replanteo. . . . .	274
268 Observaciones acerca del replanteo.—Conclusion. . . . .	275

---

## INTRODUCCION.

---

**E**n los dos años que desempeñé el cargo de Profesor de la Escuela de Ayudantes de obras públicas, conocí desde un principio los graves inconvenientes que, así para la explicacion del profesor, como para el aprovechamiento de los alumnos, ofrecia en una de las asignaturas, la de las vias de comunicacion, la falta de un texto apropiado á la índole de la enseñanza, segun el programa indicado en el Reglamento de la Escuela.

Para remediar en lo posible esta falta, me fué necesario redactar primero algunos apuntes que, á manera de índice, sirvieran de base á mis explicaciones, y á las anotaciones de los alumnos.

Ampliados aquellos, y coordinados sucesivamente, llegué á formar un conjunto que comprendia la principal doctrina de las lecciones orales de la asignatura, y á que, por esta razon, he dado el nombre que expresa el título ó epígrafe de este tratado.

Algunos de mis apreciables compañeros de Cuerpo, á cuyo ilustrado criterio he sometido este pequeño trabajo, han creido que su publicacion podria ser de alguna utilidad, ya para su objeto primitivo, ya para la generalidad del personal subalterno de obras públicas, que en un reducido volúmen encontrará los principios y elementos mas esenciales de las diferentes materias que comprende, y que cada uno puede despues ampliar segun las circunstancias con el discurso de una buena práctica, ó con la lectura de obras especiales. En esta confianza me he decidido á emprender y realizar la publicacion de estas *Lecciones*, que estoy lejos de creer exentas de muchos defectos, pero que á pesar de esto satisfarán mi propósito, si consigo el objeto de mejorar la instruccion de nuestro personal subalterno, y si pueden servir de base para que, personas mas hábiles y de mas elevada capacidad, prosigan con mas fruto esta útil tarea.

Basta lo expuesto para comprender que estas *Lecciones* no son un tratado completo de cada una de las materias á que se refieren; este trabajo hubiera sido superior á nuestras débiles fuerzas, é inoportuno además á nuestro objeto. Para llenar este hemos debido, al contrario, compendiar y resumir, en la forma mas ordenada y sencilla que nos ha sido posible, aquellos principios mas fundamentales é importantes de cada materia, cuya

explicacion podia comprenderse en la duracion de un curso académico. Este trabajo no carece de dificultades, si ha de presentarse de una manera inteligible y provechosa en sus resultados, y comprendiéndolo así, hemos procurado extraer y presentar en el mejor orden y con la mayor claridad posibles cuanto de mas interés hemos hallado en los autores y publicaciones de cada materia, adicionándolo con aquello poco que nos han permitido nuestra corta experiencia y limitados conocimientos.

Nos resta solo decir dos palabras sobre el método de exposicion seguido. En la generalidad de los tratados de carreteras, caminos de hierro y canales se expone tambien lo relativo á las obras de explanacion y fábrica, pero debiendo ocuparnos aquí de todas estas vias, y teniendo en cuenta que los procedimientos para la ejecucion de sus obras de tierra y fábrica pueden considerarse idénticos y sin otra diferencia que la que procede de la magnitud y perfil de aquellas, hemos creído mas sencillo y oportuno exponer en una seccion especial todos los principios relativos á la ejecucion de dichas obras, como aplicables á toda clase de vias, reservando luego para la seccion respectiva de cada una, aquellas condiciones especiales de la explanacion, reclamadas por la forma y constitucion especial de cada clase de via.

Las operaciones topográficas y de gabinete relativas al estudio y proyecto de todas las vias de comunicacion reconocen tambien los mismos principios fundamentales, y se modifican solo en ciertos accidentes motivados por las condiciones especiales de cada clase de via. Por esto,

aunque con aplicacion mas especial á las carreteras, hemos incluido en una sola seccion todo lo relativo á esta materia, haciendo luego solamente mencion, al tratar de cada clase de via, de aquellas condiciones que le son peculiares.

Aunque en la generalidad de los tratados, sobre todo de carreteras, se presenta ordinariamente antes el estudio de su trazado y proyecto que el de su construccion, hemos invertido aquí este orden, porque, primero el examen detenido de la cuestion, y despues la experiencia, nos convencieron de que esta marcha facilitaba mas al alumno la comprension de las materias. Para el que ya conoce estas, siquiera sea incompletamente, esta cuestion de método podrá ofrecer poco interés, pero para la enseñanza y un estudio mas ordenado, creemos mas fundado y preferible el orden por nosotros seguido.

Agrupado así el estudio de todos aquellos principios y materias aplicables á toda clase de vias, solo ha sido despues necesario, al tratar de estas, ocuparnos casi únicamente de lo que se refiere á la forma y construccion de la via propiamente dicha, y de las diferentes obras necesarias para su mejor conservacion y explotacion.

Aunque nuestro trabajo ha debido ceñirse, por las razones antes expuestas, á formas muy abreviadas, hemos procurado sin embargo dar la mayor extension posible á aquellas materias que, como las de explanacion, afirmado y conservacion de carreteras, material y asiento de la via en los caminos de hierro, son ó pueden ser de mayor interés y mas frecuente aplicacion para el personal subalterno de obras públicas.

En las lecciones orales de la Escuela de Ayudantes no hemos explicado, ni tampoco nuestros dignos predecesores, nada relativo al material móvil de los caminos de hierro; mas al considerar la importancia de esta materia, sobre todo para el personal destinado á aquel servicio, nos ha parecido oportuno terminar lo relativo á la via con una sucinta descripción del material de tracción y transporte, á que hemos dedicado un capítulo especial.

Expuestas brevemente en los respectivos capítulos las nociones mas esenciales sobre los rios, canales y puertos, hemos creido oportuno, atendida la importancia del servicio marítimo, completar esta última parte con una ligera descripción del sistema de alumbrado y valizamiento de nuestros puertos y costas.

Tal es el plan adoptado en la exposicion de nuestras *Lecciones*, y que deseamos satisfaga lo mejor posible al único objeto que, segun queda indicado, nos hemos propuesto.

---





## SECCION PRIMERA.

---

### OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.

---

#### CAPÍTULO PRIMERO.

##### DESMONTES.

IDEAS GENERALES.—EJECUCION SEGUN LA CLASE DE TIERRAS.—  
USO DE LA PÓLVORA.—DESTINO DE LOS PRODUCTOS DE LOS DES-  
MONTES.—CONCLUSION Y REFINO DE SUS DIFERENTES PARTES.

1. **Ideas generales.** Cuando una via de comunicacion atraviesa un país, casi nunca es posible hacerla seguir los numerosos accidentes del terreno natural, y se encuentra por precision en una de estas tres situaciones:

1.<sup>a</sup> Al nivel del suelo ó terreno natural.

2.<sup>a</sup> Debajo del suelo.

3.<sup>a</sup> Encima del suelo del terreno.

En el primer caso, poco frecuente, la superficie del terreno exige solo la ligera preparacion y arreglo necesario para recibir la via.

En el segundo, es necesario arrancar ó *desmontar* todo el volúmen que media entre la superficie del terreno natural y la que debe recibir la via, y esta parte del terreno constituye lo que se llama un *desmonte*.

En el tercer caso es necesario, al contrario, elevar ó *terraplenar* el terreno natural hasta la altura exigida por la via, y este volúmen de tierras constituye lo que se llama un *terraplen*. La superficie del terreno, así preparada para recibir la via, se llama *plano rasante*, y simplemente *rasante* á su línea media ó sea su interseccion con un plano ó cilindro vertical, segun que la via esté en línea recta ó curva.

La proyeccion horizontal de esta misma línea media, se llama *eje* ó *directriz* de la via. Así, si establecida sobre el terreno esta directriz, se suponen una série de planos y cilindros verticales, cortarán al terreno natural segun una línea M P N P' Q P'' S.... que se llama el *perfil longitudinal* del terreno, y al plano rasante, segun la *rasante* R R'. La porcion P N P' constituye un *desmonte*, y la P' Q P'' un *terraplen*: los puntos P P' P''.... del perfil longitudinal; se llaman *puntos de paso*, y *líneas de paso de desmonte á terraplen* ó vice-versa á las intersecciones del plano rasante con el terreno natural, cuya línea es fácil determinar por los procedimientos de la geometria descriptiva, segun se verá mas adelante.

Fig. 1.<sup>a</sup>

Las alturas  $h h' a a'$ ..... de cada punto del terreno natural sobre el plano rasante, ó de éste sobre aquel, se llaman *cotas de desmante ó de terraplen*, y su conocimiento es necesario para la ejecucion de estos.

A partir del origen de la via ó de un punto cualquiera de ella, la rasante  $RR'$  puede ser *horizontal ó de nivel*, y en *pendiente* bajando ó subiendo: en este último caso se llama mas especialmente *rampa*.

Si ahora se conciben planos verticales y *perpendiculares á la directriz* por los diferentes puntos  $P, N, P', Q, S$ ..... estos planos cortarán al plano rasante segun rectas horizontales  $PP$ ..... y al terreno segun las líneas  $TT'$ ..... que se llaman el *perfil trasversal del terreno*, y que dan en este sentido una idea completa de su forma. Segun la cota de la rasante y la mayor ó menor inclinacion trasversal del terreno, la via puede hallarse:

1.º Toda al nivel del terreno, como en el perfil número 1.º

2.º Toda *en desmante* como en el perfil núm. 2.º

3.º Toda *en terraplen* como en el núm. 4.º

4.º Parte en desmante y parte en terraplen, ó *en ladera*, como se indica en los perfiles números 3 y 5.

5.º Cuando la cota de desmante ó terraplen es pequeña en el eje, como  $P'$  núm. 3.º, y que por consiguiente la mitad de la via está en desmante y la otra mitad en terraplen, se dá mas especialmente á esta posicion el nombre de *media ladera*.

El conjunto de trabajos relativos á la ejecucion de los desmontes y terraplenes, se comprende bajo el nombre de *explanacion*, que se divide en *explanacion á cielo*

*abierto* cuando los desmontes llegan á la superficie del terreno natural, y en explanacion *subterránea* cuando el desmonte no llega á la superficie del terreno.

2. **Ejecucion de los desmontes.** La ejecucion de los desmontes comprende:

- 1.º La cava ó arranque del terreno.
- 2.º La carga.
- 3.º El transporte y descarga.

Para realizar estas operaciones de la manera mas ordenada y económica que sea posible, es necesario conocer:

- 1.º La naturaleza del terreno.
- 2.º El empleo ó destino de sus productos.
- 3.º El tiempo en que el desmonte ha de ejecutarse.

3. **Cava ó arranque segun la naturaleza del terreno.** Los terrenos, bajo el punto de vista de la resistencia que ofrecen á la remocion ó arranque, pueden dividirse en

TIERRAS.	{ Flojas.
	{ Compactas ó duras.
	{ Muy duras.
ROCAS.	{ Flojas.
	{ Duras.

4. **Tierras flojas.** La primera clase de tierras comprende la tierra vegetal y franca, las arenas sueltas, el fango y tierras de pantanos. Esta clase de terrenos ofrece poca resistencia á la cava y se extraen simplemente con la pala y la azada.

5. **Tierras duras.** Las tierras duras comprenden

las arcillas, gredas y gravas compactas. La extraccion de esta clase de terrenos se verifica generalmente con el azadon ó zapapico.

6. **Tierras muy duras.** La tercera clase de tierras comprende las margas muy duras y las tobas, cuya extraccion se hace tambien con el zapapico. La remocion de esta clase de tierras suele á veces ser mas dificil y costosa que la de las rocas, porque si por una parte su gran dureza apenas permite el empleo del zapapico, por otra el uso de los barrenos y pólvora produce generalmente muy poco efecto. La extraccion de esta clase de tierras y tambien de las arcillas, depende mucho de su estado de humedad ó sequedad; en general cuando están ligeramente húmedas, se desmontan mucho mas fácilmente.

Para facilitar el desmonte en los terrenos compactos y duros, se emplea muchas veces el método llamado *á socavon*, que consiste en hacer en la cara del desmonte dos cortes ó rozas verticales  $a' a'$ ,  $b' b'$  que penetran en el terreno hasta una cierta extension  $a a$ ,  $b b$ .

Fig. 2.

Estos dos cortes se unen posteriormente por otro trasversal  $a b$  de pequeña profundidad; y despues de haber *socavado* por su parte anterior é inferior el macizo de tierra así aislado, se le remueve con palancas apoyadas en el corte trasversal  $a b b'$ , y se desprende en grandes masas. Este procedimiento, si bien muy empleado en los grandes desmontes de los caminos de hierro, es sin embargo muy peligroso, porque compromete la vida de los operarios. No debe, pues, emplearse sino con mucha circunspeccion: los destajistas abusan no pocas

véces de este medio y en mas de una ocasion nos hemos visto obligados á prohibirle en las obras.

7. **Rocas flojas.** Se entiende por *rocas flojas* no solo las que ofrecen poca dureza, sino aun las que, siendo duras, están sin embargo hendidas, agrietadas ó descompuestas de tal modo, que su remocion es fácil con solo el zapapico y la barra, ó con el auxilio de las cuñas y mazas; asi sucede con muchas rocas areniscas y calizas.

8. **Rocas duras.** Son aquellas que dispuestas en bancos ó grandes masas no se prestan á este medio de extraccion, y es necesario emplear otros mas poderosos.

Cuando las rocas duras, particularmente las estratificadas ó dispuestas en bancos se explotan para extraer materiales regulares como la sillería ó sillarejo, se hace el arranque por medio de cuñas y mazas, ya solas, ya con el auxilio de pequeños barrenos de pólvora, llamados *tacos*. Las cuñas de hierro ó de madera seca y muy dura se introducen á golpe de maza en las pequeñas hendiduras de la roca, ó bien en cortes ó rozas practicadas con el *pico* ó *puntero* sobre la cara superior del banco y que comprendan el trozo ó sillar que se quiere extraer.

Cuando se empleen cuñas de madera, conviene mojarlas despues para que, hinchándose, hiendan la roca, si ésta no presenta una gran resistencia.

9. **Empleo del barreno.** Fuera del caso indicado en el párrafo anterior, la extraccion de las rocas se verifica casi siempre por medio de la fuerza explosiva de la pólvora inflamada.

Este medio consiste en practicar un *barreno* ó agujero cilíndrico en la roca que se quiere romper, colocar

en su fondo una cierta cantidad de pólvora cubierta con un fuerte *taco* que llena el resto del barreno, y procurarse al mismo tiempo el medio de inflamar la pólvora allí encerrada.

La accion explosiva de la pólvora se hace sentir naturalmente sobre las caras de menor resistencia, y su efecto seria pequeño y aun nulo, si en la proximidad del barreno hubiera en la roca grietas ó hendiduras, que permitiesen el escape de los gases inflamados. Por esto la *posicion* del barreno, su *direccion*, su *longitud* y la *carga* de pólvora, deben en cada caso ser objeto de una atencion especial.

La explotacion de las rocas por la pólvora se hace por bancadas ó escalones, preparando al efecto aquellas de la manera mas regular posible; las caras de menor resistencia son entonces naturalmente las *anteriores*, sean verticales ó inclinadas, y ejerciéndose perpendicularmente á su longitud la accion explosiva del barreno, debe éste perforarse paralelamente á aquellas caras. La direccion vertical ó ligeramente inclinada del barreno, facilita además la perforacion y carga de éste, por lo que debe preferirse esta direccion siempre que sea posible.

En las rocas extratificadas ó dispuestas por bancos, la direccion del barreno debe ser perpendicular á estos, y no es conveniente que los lechos de extratificacion se encuentren próximos á la carga del barreno, porque podrian dar salida á los gases inflamados, y disminuir ó anular por completo el efecto útil.

No es posible establecer una relacion general entre la longitud del barreno, su carga y la distancia á las ca-

ras de menor resistencia, que dependerá de la dureza de la roca, naturaleza de ésta y de otras condiciones y circunstancias especiales de cada caso. Es sin embargo costumbre muy admitida cargar el barreno con una cantidad de pólvora igual en volúmen al tercio ó cuarto de la longitud de aquel. Es asimismo regla admitida que las cargas de pólvora deben ser proporcionales á los cubos de las distancias á las caras de menor resistencia. En todo caso, en la explosion del barreno debe evitarse:

- 1.º Que verificándose por la boca, su efecto sea nulo; lo que indicaria que su carga y profundidad serian menores que las correspondientes á la resistencia de la roca.
- 2.º Que la accion explosiva proyecte á largas distancias los fragmentos de la roca, lo que seria prueba de que la carga era superior á la resistencia y de que con la misma carga hubiera podido obtenerse un efecto útil bastante mayor, si la fuerza de proyeccion perdida se hubiera empleado simplemente en dislocar y remover la roca.

La carga de pólvora varía tambien en los desmontes subterráneos de los de cielo abierto; en los primeros la carga de los barrenos, llamados generalmente *tacos*, suele ser de 60 á 150 gramos; en los segundos, en que no son tan temibles los desprendimientos, la carga suele ser hasta de un kilogramo.

**10. Perforacion del barreno.** El agujero ó taladro se practica por medio de una barra cilindrica de hierro, terminada en su extremidad por un bisél ó boca acerada, un poco mas ancha que el diámetro de la barra, para que el taladro sea un poco mayor y que la barra pueda girar fácilmente; el bisél es además curvo para

Fig. 3.\*

que sus dos puntas no se rompan. El operario golpea sobre la cabeza de la barra con una maza de unos dos kilogramos, y entre cada dos golpes consecutivos hace girar la barra un sexto de la circunferencia. El agujero se empieza por medio de un puntero, y en seguida se hace uso de una pequeña barra cuadrangular, cuya punta ó boca está formada por dos biseles cruzados á ángulo recto.

Fig. 4.ª

Cuando se emplea un solo hombre para la perforacion del taladro, se hace uso de tres clases de barras: la primera de unos 30 centímetros de longitud y 3 centímetros de diámetro en la boca: la segunda para cuando el agujero tiene ya unos 15 centímetros de profundidad, de 50 centímetros de longitud y 2,40 centímetros en el corte ó boca, y la tercera de 70 centímetros de longitud y 2,20 de diámetro en el bisél. Con estos útiles se abren barrenos hasta de 55 centímetros de profundidad.

Cuando las barras se manejan por dos ó mas operarios, estas tienen de 2 á 2,5 métrros de longitud: un operario la coje por su parte inferior y otro ú otros dos por su parte superior, haciéndola girar al mismo tiempo que el choque debido al solo peso de la barra produce la trituracion de la roca y avance del barreno. Estas barras que tienen un diámetro en la boca de 4 á 6 centímetros y un peso de 20 á 30 kilogramos, se emplean para hacer barrenos de más profundidad y diámetro que los antes indicados.

Para evitar que el corte de la barra se desgaste, y facilitar la desagregacion de la roca, se echa de tiempo en tiempo agua en el taladro, y cuando la parte formada

por el agua y el polvo dificulta la accion de la barra, se limpia y extrae con la *cucharilla*. Esta consiste en una varilla de hierro encorvada en su extremidad en forma de cuchara.

Fig. 5.ª

**11. Carga del barreno.** Cuando éste tiene ya la profundidad necesaria, se limpia y seca perfectamente por medio de trapos ó estopas colocadas en el ojo de la cucharilla. Cuando el barreno está abierto de arriba á abajo, puede echarse la pólvora suelta, pero aun en este caso, es siempre preferible su empleo en cartuchos de papel grueso, ó de tela embreada ó de hoja de lata, si hay mucha humedad.

El cartucho se baja hasta el fondo con el *atacador* de hierro, ó mejor de cobre ó madera que ofrecen mas seguridad, y cuya extremidad es semicilíndrica. Así colocado el cartucho, se abre en su parte superior un orificio

Fig. 6.ª

por medio de la *aguja* de hierro, ó mejor de cobre, terminada por un lado en una punta aguda y del otro por un anillo ó agarradera.

Fig. 7.ª

Al rededor de la aguja que queda metida en el cartucho se rellena todo el barreno con arcilla seca ó detritus calizo, que se comprime y ataca fuertemente por medio del atacador, cuidando en esta operacion de hacer girar la aguja para que no se adhiera al taco, y retirándola despues á la mano ó pasando el atacador por el anillo.

**12. Explosion del barreno.** Cuando la aguja se ha retirado, se coloca en el hueco que deja, la *mecha* ó *espoleta*, que hasta hace poco era generalmente un tubo de papel ó cañon de pluma, caña ó paja, relleno de pólvora, bien sea sola ó formando una masilla con

aguardiente ó vinagre. Esta mecha se prende con una pajuela puesta en comunicacion por un extremo con el oido de aquella, y de bastante longitud para que no haya exposicion á desgracias, dando tiempo para que el operario se retire. Tambien con este mismo objeto se emplea un pequeño trozo de yesca colocado sobre la mecha del barreno.

Con preferencia á las espoletas de caña ó paja se emplean ya hoy generalmente las *mechas de seguridad*, que consisten en una cuerda de cáñamo ó algodón, redonda y embreada, cuyo interior hueco está relleno de pólvora; esta mecha entra algunos centímetros en el cartucho á que vá sujeta, y sale fuera del barreno unos 10 centímetros. El retacado se hace al rededor de la mecha, evitándose por consiguiente el uso de la aguja y los accidentes que proceden de la separacion de esta.

Para hacer saltar el barreno, se desenvuelve la cuerda por su extremo y se le dá fuego, bien directamente ó mejor con un poco de yesca; el fuego se comunica así por el alma de la mecha hasta el cartucho. Estas mechas tardan en arder un segundo proximately por cada medio métró de longitud, que en todo caso puede calcularse, para que el operario tenga el tiempo suficiente para ponerse á salvo.

Las mechas de seguridad con los cartuchos impermeables tienen además la ventaja de poder emplearse en sitios de mucha humedad y aun debajo del agua.

Para evitar pérdidas de tiempo y accidentes se hacen saltar á la vez todos los barrenos de un taller cuando los operarios se han puesto al abrigo de las explosiones,

aprovechando con este mismo objeto las horas de comida ó suspension de los trabajos. La explosion simultánea de los barrenos puede además, si están convenientemente dispuestos, facilitar la rotura y dislocacion de la roca y aumentar por consiguiente el efecto útil total.

Cuando uno ó mas barrenos de un taller *faltan*, ó no estallan, es necesario dejar pasar algun tiempo desde la inflamacion de la mecha, antes de ir á examinarle y aproximarse siempre con mucha precaucion.

La pólvora tarda á veces en hacer explosion, y los obreros se aproximan imprudentemente y se exponen á los mas grandes peligros, cuyas funestas consecuencias se deploran por desgracia con bastante frecuencia en esta clase de obras.

Despues de la explosion del barreno ó barrenos, los obreros proceden con los picos, palancas y barras á la remocion y arranque de todas las partes de la roca hendidas y quebrantadas, no volviendo á dar nuevos barrenos, particularmente en las galerías subterráneas, sino en aquellos puntos en que la roca ha quedado intacta; lo cual se conoce al oido por el sonido que produce al golpeo con una maza de hierro.

### 13. **Útro medio de aplicacion de la pólvora.**

Un nuevo procedimiento para la extraccion de las rocas por medio del barreno ha sido ensayado por Courbebaissé, Ingeniero de Puentes y Calzadas de Francia. En vez de multiplicar el número de barrenos cuando se trata de desmontar una gran masa, este medio consiste al contrario en disminuir aquel número, pero aumentando la profundidad y capacidad de cada uno.

La perforacion del barreno se hace como en el procedimiento ordinario por medio de barras de mayor longitud, y cuando se ha llegado á la profundidad necesaria, se practica en el fondo un ensanche ó depósito por medio de reactivos químicos ó por medios mecánicos.

En los barrenos ordinarios se obtiene generalmente una masa muy dividida, y una proyeccion de ésta inútil y peligrosa; con barrenos de mayor profundidad y capacidad se obtienen al contrario masas mas considerables, y se evitan sus proyecciones; además la pólvora en mayor cantidad arde mejor, tiene mas fuerza expansiva y puede adquirirse con mas economía.

Este procedimiento ha sido aplicado en grande escala á la extraccion de rocas calizas duras, valiéndose del ácido muriático, con barrenos de 2 á 6 méetros de profundidad, y distantes de 3 á 10 méetros del *frente libre* de la roca, la accion explosiva de cada barreno se hace sentir generalmente á una distancia igual de cada lado del barreno á la de dicho frente. Por este medio con barrenos de 5 méetros de profundidad y carga de 50 kilogramos de pólvora, se han desmontado masas de roca de 500 méetros cúbicos. La explosion tiene lugar sin ruido y sin proyecciones de trozos de roca, se oye solo un ruido sordo procedente del crujido de la roca al hendirse y dislocarse en todos sentidos, pero sin salir casi de su sitio, salvo el caso de rocas muy inclinadas, en que las masas destacadas ruedan naturalmente hasta su parte baja.

Sin poder detenernos á detallar la aplicacion de este procedimiento, y aun cuando en la práctica no sea habitualmente aplicable, demuestra sin embargo la conve-

niencia de practicar, en muchos casos, barrenos de mayores dimensiones, á fin de destacar grandes masas y de evitar la proyeccion de éstas á largas distancias, cuyo principio está ya muy generalizado en los desmontes de las grandes trincheras en roca.

**14. Explosion por medio de las minas.** Se ha empleado tambien la pólvora en grandes cantidades para hacer saltar grandes macizos por medio de las *minas*. Este medio de continuas aplicaciones en el dia, así en los trabajos públicos, como en los de la guerra, es de origen bastante antiguo, y su primera aplicacion se atribuye á un ingeniero español.

Consiste generalmente en practicar en la base de la roca una galería subterránea que penetre hasta el centro de la masa que se trata de *volar*; á un lado y otro de ésta, y en direccion perpendicular, se abren otras dos, tres ó mas galerías, y en el extremo de todas ellas se abren pozos que hacen funciones de barrenos. En cada uno de estos pozos se depositan grandes cantidades de pólvora, que se cierran por medio de un fuerte macizo de mampostería, y la explosion se verifica hoy generalmente para mayor seguridad por medio de la chispa producida por una batería eléctrica colocada á bastante distancia y al abrigo de los efectos de la explosion.

**15. Clase de pólvora mas conveniente.** La pólvora que se emplea en los desmontes en roca y explotacion de canteras es generalmente la llamada de cañon, no solo porque es la mas económica, sino porque, conteniendo entre los granos mayor cantidad de aire, dilatándose éste, favorece el efecto de la explosion. Con este

mismo objeto, suele mezclarse con la pólvora alguna cantidad de serrin ú hojas secas, y tambien suele ponerse en el fondo del barreno un trozo cónico de madera, que deja aire interpuesto entre el cartucho y el fondo del taladro, pero es necesario cuidar siempre de que este aire interpuesto no sea excesivo y superior al que corresponda á la fuerza expansiva de la pólvora, que, no dilatando entonces suficientemente el aire, no produciria el efecto que se esperaba.

**16. Mano de obra de la cava ó arranque.**

El número de méetros cúbicos desmontados por un operario en un jornal de 10 horas, depende no solo de la naturaleza del terreno, sino de una porcion de circunstancias locales. En cada caso deberán consultarse como mas seguros los datos experimentales recogidos en la localidad ó provincia. Como resultados medios indicaremos los siguientes sin incluir la carga:

Tierras flojas. . . . . de 10 á 14 méetros cúbicos.

Tierras duras. . . . . de 5 á 8 id. id.

Tierras muy duras. de 2 á 4 id. id.

En cuanto á las rocas, la mano de obra varía entre límites aun mas distantes; depende no solo de la dureza, sino de la estructura maciza ó extratificada de la roca y de la habilidad ó destreza del operario. El precio por méetro cúbico depende no solo de estos elementos, sino tambien del valor del jornal, de la pólvora, herramientas, alimentos etc. etc.

**17. Marcha de los trabajos.** La buena orga-

nizacion de los trabajos de un desmonte depende, segun ya se ha indicado, del destino que haya de darse á sus productos y del tiempo mas ó menos limitado en que haya de ejecutarse, y de aquí resultarán naturalmente los *puntos de ataque* y el número de operarios que haya de situarse en cada punto.

**18. Destino de los productos de un desmonte.** Los productos de un desmonte pueden destinarse:

1.º Todos á formar terraplenes situados de un lado ó de los dos del desmonte

2.º Parte al mismo objeto, y el exceso á ser depositado fuera de la explanación de la via ú á otra clase de obras, afirmado, mamposterías, etc.

3.º Todo á ser depositado fuera de la via.

En la disposicion de los trabajos de un desmonte debe procurarse:

1.º Que los diferentes operarios trabajen de una manera continuada y sin entorpecerse unos á otros; y 2.º Que los trasportes verticales y en rampa sean un *mínimum*, prefiriendo como mas expeditos y económicos los trasportes horizontales y en bajada.

Por regla general en los proyectos bien estudiados se procura que haya compensacion entre los desmontes y terraplenes, y si bien esto no es siempre posible, nos hacemos primero cargo de este caso, pasando despues á los demás particulares que pueden presentarse.

Fig. 8.ª

Si el producto del desmonte  $a D D' c$  se destina á los terraplenes  $T$  y  $T'$ , despues de calculados los volúmenes respectivos de aquel y estos se verifica la cava ó arran-

que á partir de los extremos  $a$  y  $c$  segun capas ó planos inclinados  $a b$  y  $c b$ ,  $a' b'$  y  $c' b'$ ,  $a'' b''$  y  $c'' b''$  etc. Una brigada de operarios colocados en ala ó de frente hacen la excavacion de la primera capa hasta  $a b$ , y si la actividad de los trabajos lo exigiese, una segunda brigada desmontaria la  $a' b'$ , cuando los de la primera hubiesen adelantado un cierto trecho; y análogamente para la tercera capa y siguientes. Escalonando de esta manera los trabajos y practicando las rampas ó salidas necesarias para los trasportes, segun la clase de medios con que estos se hagan, es posible dar á los trabajos de un desmonte toda la actividad correspondiente á su volúmen y el tiempo en que deba ejecutarse.

Si, lo que no es frecuente, la mayor parte del desmonte hubiera de ser trasportado al terraplen  $T'$ , entonces, á fin de evitar la rampa ó *contrapendiente*, se prolongaria de aquel lado la excavacion de las capas  $c b$ ,  $c' b'$ ... hasta la horizontal  $c H$  si fuese necesario, dejando todo ó la mayor parte del volúmen  $a H c$  para ser trasportado al lado opuesto. En estos casos se deberá examinar con cuidado la relacion entre los trasportes horizontales, y en rampa ó verticales, por las reglas que se detallarán mas adelante, á fin de adoptar la division mas económica en la distribucion de los productos del desmonte.

Cuando el volúmen de estos excede al del terraplen, es necesario depositar el exceso fuera de la explanacion de la via; y á fin de que el transporte de esta parte sea el menor posible, se elije generalmente la parte superior y central  $D b D'$  del desmonte segun el sitio que la localidad ofrezca mejor para el depósito de los productos

excedentes. En este caso la extraccion ó transporte se puede verificar por rampas practicadas sobre las caras del desmorte; pero como estas rampas son costosas y ocasionadas á desprendimientos peligrosos, sobre todo en tiempo de humedades, suele ser en general preferible la extraccion del terreno natural por los extremos D y D'.

Para este mismo objeto y tambien para proporcionarse nuevos puntos ó caras de ataque, y dar por consiguiente mayor actividad á las cavas del desmorte, es en muchos casos muy conveniente practicar, segun la longitud y volúmen del desmorte, uno ó mas cortes ó aberturas laterales  $m n$ ,  $m' n'$  por donde se extrae y transporta una parte de los productos á los puntos de descarga mas convenientes.

19. **Perfil trasversal de los desmontes.** La seccion ó perfil trasversal de un desmorte consta del fondo ó *caja*  $b b'$  cuya forma y latitud varian segun la clase de vias de comunicacion: de dos cauces laterales  $b a t$ ,  $b' a' c' m$  llamados *cunetas*, cuyo objeto es dar salida á las aguas que se acumulan en el fondo del desmorte y de las caras ó taludes  $t t'$ ,  $c' d$ .

Fig. 9.ª

20. **Caja de la explanacion.** La forma y dimensiones de la superficie de la explanacion que ha de recibir la via, depende de la clase de ésta, y nos ocuparemos de ella al tratar particularmente de cada una de dichas vias, bastando ahora á nuestro objeto considerarla como una superficie plana que hemos llamado *plano rasante*.

En la ejecucion del desmorte conviene no bajar éste

de una vez hasta la rasante, sino dejar ésta un poco mas elevada á fin de poder rectificar siempre los errores de la nivelacion; cuando esta ha sido rigurosamente comprobada en el replanteo definitivo de la via, se termina y perfila la caja del desmonte hasta la profundidad marcada por la rasante del proyecto.

21. **Cunetas.** La forma de las cunetas es trapezoidal y sus dimensiones proporcionales á la cantidad de aguas á que dan paso; ordinariamente las cunetas tienen 80 centímetros de ancho en su parte superior, y 42 centímetros en el fondo; en los desmontes en roca, estas dimensiones pueden ser algo menores.

El fondo de la cuneta debe quedar inferior á la caja de la via ó rasante de la explanacion, á fin de que esta quede bien saneada y sus aguas puedan salir lateralmente. La pendiente de las cunetas es generalmente la de la explanacion; cuando esta es grande y el terreno flojo, la velocidad de las aguas produce socavaciones y conviene empedrar el fondo y parte de los costados de las cunetas. Cuando la explanacion tiene una pendiente muy pequeña ó es de nivel, como sucede en muchos casos en los caminos de hierro, se aumenta la pendiente de las cunetas dando á estas mayor profundidad del lado hácia donde vierten las aguas, á fin de que estas corran con expedicion y las cunetas no se obstruyan con frecuencia.

22. **Taludes de los desmontes.** Segun la naturaleza del terreno, las caras del desmonte se sostienen con una inclinacion ó *talud* mayor ó menor. En los terrenos flojos esta inclinacion varia generalmente de 1,50

Fig. 9.<sup>a</sup> á 1 de base por 1 de altura; en los terrenos de arcilla mas ó menos fuerte, el talud es por regla general de 45° ó de 1 de base por 1 de altura. Las rocas duras se sostienen sin talud alguno ó verticales, y aun con talud inverso ó fuera de plomo, pero es conveniente darles un talud de  $\frac{1}{4}$  á  $\frac{1}{10}$  segun la menor ó mayor dureza de las rocas, á fin de evitar los efectos de los desprendimientos que con mas ó menos frecuencia se originan, ya por la descomposicion debida á la accion atmosférica, ya por el estado de agrietamiento propio de ciertas rocas, ya en fin porque alguna parte de estas haya quedado resentida por la accion de los barrenos. Los taludes *volados* ó fuera de plomo no solo no son convenientes, sino que son peligrosos, aun en las rocas muy duras, sobre todo en los caminos de hierro en que los desprendimientos de la parte volada podrian ocasionar los accidentes mas funestos.

Fig. 9.<sup>a</sup> 23. **Superficie de los taludes.** Segun que la alineacion del desmante sea recta ó curva, las caras del desmante serán planas ó cónicas, y segun la mayor ó menor altura se hacen continuas ó interrumpidas por medio de escalones de 50 á 60 centímetros de ancho, situados á cada 2 á 3 metros de altura. Esta última disposicion tiene por objeto evitar los surcos y degradaciones que las aguas producen en las caras de los grandes desmontes en terrenos flojos y arcillosos; las mesetas ó escalones *m n, p q, r s*, pueden ser horizontales ó ligeramente inclinadas al interior de la via ó al contrario con inclinacion al lado exterior. En los dos primeros casos las mesetas destruyen la velocidad adquirida del agua;

pero toda ella baja á la cuneta principal de la via; en el tercero las aguas pueden detenerse en las mesetas y correr por ellas hasta el extremo del desmonte, cuya disposicion, bien preparadas dichas mesetas, puede ser en algunos casos mas conveniente.

Esta disposicion por escalones es generalmente poco económica, porque aumenta mucho el volúmen del desmonte, y para atenuar este inconveniente se ha reducido el talud con escalones al adoptado sin estos, de modo que el perfil de la cara del desmonte seria entonces  $m n n p x z d$ . Este medio es inconveniente y mas defectuoso á nuestro juicio que el del talud continuo  $m d$ , porque los prismas  $n n p$ ,  $p x z$ ,  $z d d'$  están muy espuestos á desprenderse segun el talud  $n d'$  que se supone ser el propio de la clase de terreno de que se trata. Las mesetas ó escalones son además de costosa conservacion, y por esto son poco empleados; adoptándose con preferencia otros medios preservativos y de saneamiento, que se indicarán mas adelante.

**24. Ejecucion y refino de los taludes.** Cuando se empieza la ejecucion de un desmonte, es difícil y muy erróneo poder apreciar la inclinacion de los taludes, y si bien para el replanteo y expropiacion de terrenos es preciso fijar estos, solo se hace por aproximacion y teniendo en cuenta la formacion geológica del terreno. La remocion y extraccion de las tierras se hace siempre segun inclinaciones mayores  $tt''$ ,  $tt''$ .... que la que el conocimiento del terreno hace ya prever como necesaria: estas caras simplemente devastadas se aproximan cada vez mas hasta llegar á 15 ó 20 centímetros de la adopta-

da como definitiva. A partir de aquí se practican á distancias de 5 á 6 metros y en planos verticales perpendiculares al eje de la via, *rozás* ó *maestras*, que unidas por cuerdas por su parte superior, sirven de directrices para determinar las superficies planas ó cónicas que marcan el talud definitivamente adoptado. La inclinacion de las rozas directrices del talud se fija por medio de un reglon  $ll'$  al que se aplica un nivel de albañil en forma de bastidor cuadrado  $abcd$ , en cuya diagonal  $ac$  la plomada  $bp$  marca líneas previamente graduadas para cada talud. Con este mismo objeto se emplea tambien el *clinómetro* ó cuadrante  $ao$  graduado, fijo al reglon  $ll'$  por uno de sus lados  $ob$  y provisto de un nivel  $on$  móvil al rededor del centro  $o$ ; este nivel puesto horizontal, marca en el limbo  $ab$  por medio de una alidada el ángulo  $bon$  que el reglon forma con la horizontal, ó el  $ao$  con la vertical. Este aparato es sobre todo muy expedito para medir los taludes de los desmontes ó terraplenes ya construidos.

Fig. 10.<sup>a</sup>

Fig. 11.<sup>a</sup>

### 25. Aparatos mecánicos para desmontar.

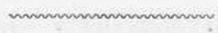
A los medios comunes que se han expuesto para verificar las excavaciones, se ha tratado de sustituir aparatos mecánicos, como el escavador americano y los arados. El primero es complicado, costoso, aplicable solo á cierta clase de terrenos, y útil únicamente en aquellos países en que los jornales son muy elevados y escasean operarios.

Los arados apenas son útiles mas que para extraer tierras en grandes superficies y pequeña profundidad, para emplearlas en terraplenes; pero como precisamente

este medio, segun se verá mas adelante, tiene el inconveniente de robar muchos terrenos á la agricultura y de exigir mucha expropiacion, es poco aplicado y por eso nos limitamos á indicarle.

## CAPITULO SEGUNDO

### DE LOS MEDIOS DE ENRIQUECIMIENTO





---

## CAPÍTULO SEGUNDO.

### CARGA, TRASPORTE Y DESCARGA.

RELACION ENTRE CARGADORES Y TRASPORTADORES.—DIFERENTES MEDIOS DE TRASPORTE.—SU COMPARACION.—TRASPORTES VERTICALES.—DIRECCION DE LOS TRASPORTES.

26. **Principios generales.** En un taller de desmonte en que los trabajos estén bien organizados, debe verificarse: 1.º que haya un número de cargadores y trasportadores en proporcion con el de cavadores, y que todos los operarios estén continuamente ocupados en sus respectivos trabajos; 2.º que las distancias ó caminos recorridos desde el punto de carga á los de descarga sean los menores posibles, y 3.º que los medios de transporte sean los mas convenientes no solo á estas distancias, sino al volúmen de las tierras que deben trasportarse.

27. **Número de cavadores y cargadores.** La relacion entre unos y otros operarios depende de la

mayor ó menor consistencia del terreno. Si se llama  $T$  el tiempo empleado por un cavador en remover un volúmen dado de tierras, y  $T'$  el tiempo empleado por otro operario en cargar el mismo volúmen, la relacion  $\frac{T}{T'}$  representa el número de cavadores necesarios á un cargador para que no haya interrupcion en el trabajo, y  $\frac{T+T'}{T'}$  representa el número de cavadores y cargadores necesarios para cavar y cargar un métro cúbico de tierra; de donde será fácil deducir el precio de éste conocido el jornal de aquellos.

La relacion  $\frac{T}{T'}$  se emplea tambien para dar una idea del grado de dureza de las tierras; así se dice: tierra de un hombre si  $\frac{T}{T'}=1$ , ó el número de cavadores es igual al de cargadores.

Tierra de hombre y medio, si  $\frac{T}{T'}=1,50 = \frac{3}{2}$  ó de tres cavadores para dos cargadores.

Tierra de dos hombres, si  $\frac{T}{T'}=2$ , ó de dos cavadores para un cargador.

Tierra de cuatro etc. hombres, ó de tres, cuatro cavadores para un cargador.

28. **Diferentes medios de trasporte.** Los medios de trasporte dependen no solo de las distancias sino del volúmen que debe trasportarse. En el órden progresivo de las distancias se emplean la pala, la espuerta y cestos, la carretilla, el carro tirado por hombres, bueyes ó caballerías, y por último, los wagones sobre vias de hierro servidas por motores animados ó por locomotoras.

29. **Trasporte á la pala.** Este medio, mas bien de arrojar las tierras que de trasportarlas, solo se emplea

con ventaja á cortas distancias como sucede en las explanaciones á media ladera, excavaciones para cimientos y casos análogos. Por medio de la pala no solo puede arrojarse la tierra horizontalmente hasta la distancia de 4 á 5 metros, sino elevarla verticalmente hasta 1,50 ó 2 metros, lo cual puede ser muy útil en casos dados, sobre todo en tierras fangosas ó muy húmedas. La pala sirve además generalmente para cargar los demás medios de transporte. El trabajo del transporte á la pala se gradúa en 15 metros cúbicos á 3 metros horizontalmente, ó á 1<sup>m</sup>,65 verticalmente.

**30. Transportes con espuelas y cestos.** Este medio de transporte es solo aplicable á cortas distancias hasta de 30 metros, y despues de estos solo cuando se trata de desmontes poco importantes y en que no hay conveniencia ó posibilidad de adquirir otra clase de material mas conveniente. Si se compara el peso de una espuela cargada con el de una carretilla, se deduce, y asi resulta tambien probado experimentalmente, que con este medio de transporte solo ejecuta el obrero un trabajo útil que es próximamente la cuarta parte del que haria empleando la carretilla. Tiene sin embargo este medio la ventaja de poder emplear mujeres y chicos, lo que será muy conveniente y hasta económico en muchos casos. El transporte por medio de *serones* conducidos á lomo por caballerías mayores ó menores nos parece tambien un medio poco conveniente y económico, y que no puede tener aplicacion sino en ciertas condiciones locales que no permitan otra clase de conduccion.

**31. Transporte con carretillas.** La capacidad

de la carretilla, de cuya disposicion daremos luego una idea, es por término medio de 0,04 de méτρο cúbico, y así como antes se ha indicado la relacion, que debe existir entre el número de cavadores y cargadores, debe haberla tambien entre estos y los rodadores ó conductores para que no haya interrupcion en el trabajo, de modo que el cargador tenga siempre vacía una carretilla para cargar, y el conductor otra llena para trasportar. Para que haya regularidad en el trabajo, es pues necesario que el tiempo que el conductor emplea en llevar la carretilla cargada al punto de descarga y volverla vacía, sea igual al que el cargador emplea en cargar una carretilla.

Suponiendo que un operario puede cargar 15 méetros cúbicos en diez horas de trabajo, tardará en cargar una carretilla un tiempo  $T = \frac{10 \times 0,04}{15} = 0,027$  de hora.

Suponiendo que el conductor puede recorrer en el mismo dia de diez horas treinta mil méetros, recorrerá en aquel tiempo una distancia  $D = \frac{30000 \times 0,027}{10} = 81$  méetros: su mitad será 40,5 méetros, cuya distancia es lo que se llama una *parada* ó *relevo*, que generalmente se reduce á 30 méetros en camino horizontal, teniendo en cuenta el tiempo perdido en la descarga, y detenciones varias é imprevistas. De aquí resulta: 1.º que el número de relevos es igual á la distancia total dividida por 30; 2.º que el número de conductores es igual al de relevos; 3.º que un solo cargador basta para una brigada de conductores; 4.º que son necesarias tantas carretillas como hay de cargadores y conductores.

De estos datos es fácil deducir el coste de la carga y transporte por méetro cúbico á una distancia cualquiera

$D$ : llamándole  $p$  y  $j$  el jornal de cada operario, el número de estos será  $1 + \frac{D}{30}$  y  $p = \frac{1 + \frac{D}{30}}{15} j$ ; así, si  $D = 120$  metros y  $j = 8$  rs.  $p = \frac{1+4}{15} \times 8 = \frac{1}{3} \times 8 = 2,66$  rs.

Para que los conductores no se entorpezcan en su marcha, es preciso dar á la explanacion del terreno la mayor latitud posible y que su superficie sea firme y unida; en caso contrario, como en tiempo de humedades, se facilita el rodaje de las carretillas echando tablas sobre la explanacion.

**32. Descripcion de las carretillas.** Estas consisten en una caja de forma piramidal truncada, apoyada sobre un bastidor entre cuyos largueros se mueve por su parte anterior una rueda, generalmente de fundición, que sirve de apoyo á la carretilla, y que el operario coge y empuja por el otro extremo de los largueros. Esta carretilla, llamada del *modelo inglés*, con las paredes de la caja muy abiertas y poco elevadas sobre el fondo, ofrece sobre otros modelos estas ventajas: 1.<sup>a</sup> Que la superficie de la carretilla siendo mayor, el centro de gravedad se encuentra mas bajo.

2.<sup>a</sup> Que basta inclinar á 45° la carretilla para descargarla.

3.<sup>a</sup> Que esta operacion puede tener lugar sobre un sitio muy reducido, y sin que el operario tenga necesidad de cambiar de sitio ó de dejar los largueros.

La rueda de esta carretilla es generalmentẽ de fundición con una llanta de hierro de 0,025 metros de ancho y de forma algo convexa. Esta llanta separa delante de

Figs. 12,  
13 y 14.

sí la tierra y piedras, y facilita por consiguiente el rodaje mejor que la llanta cilíndrica.

33. **Trasporte con el camion.** El camion es un pequeño carro tirado generalmente por dos hombres y empujado por detrás por un tercero: su capacidad media es de 0,2 méetros cúbicos, y por un cálculo análogo al de las carretillas, es fácil darse cuenta del coste y conveniencia de este medio de transporte.

Un operario que carga 15 méetros cúbicos al dia tardará en llenar el camion  $\frac{10 \times 0,20}{15} = 0,13$  horas, y descontando de este tiempo el empleado en el enganche del camion, ponerse en marcha, descarga y volver á contramarchar, que segun la experiencia es de 0,02 horas, quedará  $0,13 - 0,02 = 0,11$  horas para el tiempo de ida y vuelta del camion cargado, mientras se carga otro en el desmonte; y suponiendo que los conductores anden á razon de 30000 méetros en las mismas 10 horas de trabajo, recorrerán en el tiempo de 0,11 horas una longitud ó distancia  $D = \frac{30000 \times 0,11}{10} = 330$ , y su mitad 165 méetros seria la distancia que deberia recorrer el camion cargado y volver vacío mientras se cargaba otro en el desmonte. Ordinariamente se emplean dos operarios en la carga, y entonces la distancia precitada se reduce á la mitad 82 méetros, desde la que se empiezan á emplear los carros con preferencia á las carretillas, pues hasta esta distancia de 80 á 100 méetros la diferencia es poco importante. A la distancia de 180 á 200 méetros, el coste del transporte por méetro cúbico seria en carretillas  $\frac{1 + \frac{180}{30}}{15} \times 8 = 3,73$  rs. y en camiones seria próximamente  $\frac{1+3}{15} \times 8 = 2,13$ .

Además de estos motivos para preferir las carretillas hasta la distancia de 80 á 100 métrros, hay la circunstancia de que al concluirse los trabajos las carretillas tienen mas fácil salida ó venta que los camiones, lo cual es muy importante para el contratista.

**34. Transporte con carros servidos por caballerías.** Los carretones servidos ó tirados por caballerías, tienen generalmente una capacidad de 0,5 ó 0,8 métrros cúbicos, ó sea de 5 á 8 hectólitros. Suponiendo como antes que un operario carga 15 métrros cúbicos en diez horas de trabajo, empleará en la carga de un métrro cúbico un tiempo  $T = \frac{10}{15} = 40$  minutos, y por consiguiente 4 minutos en un hectólitro; luego si se representa por  $c$  la capacidad del carretón en hectólitros, y por  $n$  el número de cargadores, la duracion de la carga del carretón será  $\frac{4c}{n} = T'$ .

Suponiendo ahora que un caballo recorra en el mismo dia de diez horas 30000 métrros ó 50 métrros por minuto, y agregando 2 minutos á la distancia de cada viaje, por razon de la descarga y maniobras, será fácil por medio de la fórmula anterior determinar ya el número de cargadores correspondientes á una distancia  $D$ , dada ya ésta, si el número de cargadores es conocido. Así por ejemplo: Si  $D=500$  métrros y  $C=8$  hectólitros, el tiempo empleado por el caballo en ida y vuelta será

$$T = \frac{1000 \times 600'}{30000} + 2' = \frac{60(0000)}{3(0000)} + 2' = 22';$$

$$\frac{4c}{n} = 22' \dots \text{ ó } \frac{4 \times 8}{n} = 22' \dots \quad n = \frac{32}{22} = 1,5.$$

La fórmula  $\frac{4c}{n} = \frac{2D \times 600}{30000} + 2'$  dá para  $n=2$  y  $c=8$

$$16 = \frac{2D \times 6}{300} + 2. \quad 14 \times 300 = 2D \times 6. \quad 2D = \frac{14 \times 300}{6} = 700 \text{ y } D = 350;$$

$$\text{para } n=4 \text{ y } c=8 \quad \frac{4 \times 8}{n} - 2 = \frac{2D \times 6}{300} \quad 2D = \frac{6 \times 300}{6} = 300 \quad D = 150.$$

En el primer caso el número de viajes sería de  $N = \frac{600}{16} = 40$  próximamente, y el doble en el segundo. Calculado así el número de los cargadores según las distancias, quedará organizado el transporte de modo que al volver un carreton vacío, está dispuesto á marchar otro carreton cargado; de este modo los cargadores están siempre ocupados y los caballos producen el mayor trabajo posible.

El coste del transporte de un méτρο cúbico á la distancia de 350 méetros, por ejemplo, fijando en 8 rs. el jornal de los cargadores, y en 24 rs. el del caballo con el carretero será:  $\frac{2 \times 8 + 24 \times 2}{30} = \frac{64}{30} = 2,13$  rs.

El coste del méτρο cúbico por carretilla sería:

$$p = \frac{1 + \frac{350}{30}}{15} 8 = 7,47 \text{ rs.}$$

**35. Transporte con wagoes.** Cuando se ejecutan desmontes de mucha importancia, como sucede en los caminos de hierro y en los canales, en que es preciso proceder con mucha energía y actividad, y en que los productos deben trasportarse á largas distancias, los medios hasta aquí indicados son generalmente insuficientes y poco económicos; el transporte por carretillas y carros tiene además el grave inconveniente de hacerse muy difícil y á veces hasta imposible cuando las humedades llenan de lodo las trincheras y la superficie de la explanacion, ó cuando ésta es de piedra. Para todos estos casos se emplean con preferencia los wagoes movidos

sobre vias de hierro por caballerías y hasta por locomotoras.

36. **Wagones.** Los wagones consisten en una caja prismática de 2 á 2,50 métrors del lado de la base y de 40 á 50 centímetros de altura, y que por lo tanto tienen una capacidad media de 2 métrors cúbicos. Esta caja está construida sobre un bastidor montado sobre dos ejes con su correspondiente par de ruedas que se mueven sobre un camino de hierro. La caja de los wagones es ordinariamente móvil al rededor de un eje, y puede invertirse hácia adelante ó de costado, y así se llaman *wagones de frente ó de costado*; los hay tambien que por una disposicion particular pueden girar á voluntad de frente ó de costado.

La construccion de los wagones debe ser sencilla, pero fuerte y en relacion con el servicio que deben prestar.

La altura de un wagon no debe ser mayor de 1,65 métrors, comprendiendo las caras laterales de la caja, á fin de que la carga pueda hacerse fácilmente.

La inclinacion de la caja cuando gira, no debe ser menor de 45°, á fin de que las tierras arcillosas y húmedas no se adhieran á las paredes de la caja, sino que caigan por su solo peso, sin que sea necesario acudir al azadon para la descarga. Para realizar ésta, una de las caras de la caja, la del costado ó de delante segun la clase de wagon, es móvil sobre unos goznes ó ejes horizontales, y puede cuando se invierte quedar en prolongacion del fondo de la caja.

Estas y las demás disposiciones de los wagones se comprenden fácilmente á la inspeccion de las figuras.

Figs. 15,  
16, 17 y  
18.

37. **Vias.** Al ocuparnos de los caminos de hierro, se expondrá todo lo relativo al material y establecimiento de las vias, limitándonos por ahora á indicar que generalmente el ancho de las destinadas á los movimientos de tierras suele ser el mismo que el de la via definitiva, á fin de poder emplear en esta el mismo material de wagoes para refino, conclusion y reparaciones de la explanacion, balastage de la via y otras necesidades del servicio de ésta.

38. **Disposicion de las vias.** Esta es muy variada, pero indicaremos aquella que está mas generalizada como mas expedita y de mejores resultados. El transporte de los productos del desmonte se hace al principio por carretillas hasta la distancia de 80 á 100 méetros, y despues se entra *en cuneta* en el frente del desmonte. Al nivel de la explanacion y en el eje del trazado, se abre una excavacion ó *cuneta* de unos 6 méetros de ancha, en la que se establecen dos vias paralelas, en cada una de las cuales se coloca un tren de 3 á 6 wagoes.

Continuando siempre con actividad la excavacion de frente, se trabaja además en los costados hasta el nivel superior de los wagoes, haciéndose la carga de estos directamente.

Fig. 20. Cuando sobre la parte lateral de la cuneta se ha hecho un ensanche al nivel superior de los wagoes, se colocan unos tablones sobre la cuneta, y la carga de los costados del desmonte se verifica por medio de carretillas, cuyo acceso á los wagoes se facilita por medio de los tablones indicados antes.

Conviene generalmente hacer avanzar con actividad

la excavacion en cuneta, ya para comunicar los dos frentes del desmonte, ya cuando á ésta sigue un túnel, para entrar lo antes posible en los trabajos de éste.

Fig. 19.

Las dos vias *de carga* antes citadas, se reunen en la entrada del desmonte en una sola, que se vuelve á dividir despues en otras dos paralelas, destinadas una á los wagoes *cargados* y otra á los *vacíos*. Cerca del punto de descarga, las dos vias se reunen nuevamente en una sola, que se divide luego en dos ó mas segun el ancho del terraplen ó punto de descarga. Siempre que es posible se establecen las vias en pendiente de medio á uno por ciento desde el punto de carga al punto de descarga; lo cual facilita notablemente el trasporte que se verifica del modo siguiente: preparado un tren de tres, cuatro ó mas wagoes cargados en una de las vias  $V V'$ , se le pone en movimiento y baja por solo la accion de la gravedad por la via de wagoes llenos  $V' V'' V'''$ , y al llegar á la via de depósito  $d$  se le detiene por medio de los frenos, manejados por uno ó mas operarios que van con el mismo tren; se engancha un caballo á uno de los wagoes que se separa entonces de los demás, marcha al trote, y al llegar á cierta distancia de la extremidad en una de las vias  $a, b, c$ , que sirven para formar el terraplen, se desengancha instantáneamente, y mientras que vuelve para engancharse al wagon siguiente, el wagon lleno por su velocidad adquirida llega al extremo del terraplen, en donde una traviesa colocada sobre los carriles de la via, detiene bruscamente la marcha del wagon; en este instante un obrero por medio de la pala desengancha la puerta, y la caja no estando en equilibrio se invierte y ar-

roja por delante las tierras. Cuando el wagon se ha descargado, un caballo le conduce al depósito de los wago- nes vacíos y se procede á la descarga de un nuevo wagon lleno.

El tren de wago- nes vacíos es conducido de nuevo por uno ó dos caballos á la via ó punto de carga, y estos mismos caballos podrian emplearse en conducir el tren cargado, si las vias fuesen horizontales ó en rampa y por consiguiente no pudiesen los wago- nes bajar por su propio peso. A medida que el terraplen adelanta, se hacen tambien avanzar las vias paralelas; y cuando estas tienen una longitud suficiente para ser recorridas al trote por el caballo enganchado al wagon de descarga, y que el terraplen ha avanzado esta misma longitud, esto es, unos 50 mé- tros, se desmonta la via única y se corre otro tanto hácia el extremo del terraplen, á fin de que el depósito de wago- nes llenos y vacíos se aproxime todo lo posible al punto de descarga. Estos cambios de via se verifican para no perder tiempo en las horas de descanso, por operarios prácticos en estas maniobras. Con las dimensiones ordinarias del terraplen bastan generalmente dos vias de descarga, y para hacerle avanzar y ensanchar en proporcion se dispone el tren de wago- nes de modo que el primero ó primeros descarguen de frente y los demás de costado.

Para simplificar las maniobras de los wago- nes, se ha hecho la descarga de estos en algunos caminos de hierro por medio de una via sentada sobre un andamiaje ó viga armada de madera que se mueve sobre otra via de hierro colocada al pié del terraplen. Este medio, no obs-

tante sus pretendidas ventajas, está poco generalizado, es muy embarazoso por sus continuas reparaciones y movimientos, muy difícil de emplear en terrenos accidentados, y muy complicado y costoso para terraplenes de mas de 8 á 10 méetros de altura.

39. **Desmontes de grande altura.** Cuando la mayor altura del desmonte excede de 6 á 8 méetros, se la divide en capas de modo que la que debe removerse la última, que es la mas baja, tenga próximamente la altura del wagon y se atacan sucesivamente estas capas, segun se ha indicado anteriormente, colocando las vias de trasporte sobre los costados y taludes del desmonte y reuniéndolas todas en una sola al extremo de éste. Si no fuese muy largo, podria tambien hacerse por una sola cuneta *central*, y verificando el trasporte de todo el resto superior por medio de carretillas hasta los wagoes colocados en dicha cuneta.

Fig. 20.

40. **Trasporte con locomotoras.** Esta clase de trasporte es muy poco empleado en los trabajos de explanacion; las locomotoras exigen una via fuerte y casi definitivamente sentada, son costosas de primera adquisicion, y su entretenimiento y consumo ocasionan tambien gastos considerables. Por todas estas razones no producen resultados ventajosos sino á distancias mayores de dos mil méetros, y su empleo por consiguiente casi siempre se limita, cuando la via está ya sentada, al trasporte del balasto, á los del producto de algun desmonte que ha quedado sin concluir, ó lo que es tambien frecuente á la extraccion de los corrimientos que ocurren en las cortaduras de grande altura, ó á la reposicion de

grandes terraplenes que son destruidos en las épocas de temporales y crecidas de los rios.

**41. Wagones y operarios necesarios en un desmonte.** Con un sistema de excavacion que presente un frente de trabajo mas ó menos grande, es posible aumentar mucho el número de operarios de un desmonte; pero el número de wagones estará limitado por el volúmen de tierras que sea preciso descargar en la formacion de un terraplen, y cualquiera que sea el medio de trasporte, el número de wagones empleados en la descarga será igual al ocupado en la carga. El material de wagones será tambien mas considerable á medida que disminuya la velocidad del trasporte.

Con lo expuesto es fácil determinar en cada caso la relacion que debe existir entre el número de cargadores y wagones de un desmonte. Supóngase que hay en éste dos vias y en cada una de ellas un tren de cuatro wagones á la carga para ser conducidos por un caballo. Este, descontando el tiempo perdido en la descarga y otras maniobras, recorrerá en diez horas de trabajo una distancia próximamente de veinte mil métrros, y si la del trasporte es de quinientos métrros, hará un número de viajes de ida y vuelta representado por  $\frac{20000}{500 \times 2} = 20$ , y por cada via saldrán  $20 \times 4 = 80$  wagones, y entre las dos permitirian la descarga de 160 wagones ó 320 métrros cúbicos próximamente; el número de wagones necesarios será el de 16, á los que deberá agregarse de  $\frac{1}{4}$  á  $\frac{1}{3}$  por los que ordinariamente están en reparacion. El número de cargadores empleados se calculará observando que cada tren de cuatro wagones cubica 8 métrros, y siendo

de 0,5 de hora =30' la duracion de cada viaje, un operario cargará en este tiempo un volúmen de  $\frac{15 \times 0,5}{10} = 0,75$  méetros cúbicos, y para los 8 méetros cúbicos se necesitará un número de operarios representado por  $\frac{8}{0,75} = 10$  próximamente, y por tanto 20 para los dos trenes.

Agregando el jornal de estos al de los empleados en la descarga y arreglo, caballos, etc.... se deduciria el precio del transporte por méetro cúbico, á lo que seria preciso agregar la parte correspondiente por coste y arreglo de las vias y material de transporte.

**42. Comparacion entre los diferentes medios de transporte.** Los principios expuestos servirán para determinar cuál sea el medio preferible de transporte en cada caso particular. Estas consideraciones y los resultados de la experiencia aconsejan generalmente, como preferibles en el órden de distancias, los medios siguientes:

- De 0 á 20 méetros, las palas y cestos, empleando chicos y mujeres.
- De 20 á 90 id., carretillas.
- De 90 á 200 id., camiones ó carros.
- De 200 á 500 id., carros tirados por caballos.
- De 500 á 2000 id., wagones tirados por caballos.
- De 2000 en adelante, wagones tirados por locomotoras.

Estos resultados pueden sufrir sensibles alteraciones, teniendo en cuenta, como es indispensable, el coste de adquisicion, establecimiento, conservacion y demérito del material de transporte; y como estos gastos han de repar-

tirse sobre el número total de unidades trasportadas, es evidente que cuanto mayor sea éste, tanto menos gravada resultará cada una de aquellas unidades.

Esta circunstancia es importantísima y debe ser en las aplicaciones objeto de un detenido estudio en cada caso particular, en el cual entrará también como elemento indispensable el tiempo en que el transporte haya de verificarse. Así, en la ejecución de un desmante de cien mil metros cúbicos, por ejemplo, dentro del término de un año, y un transporte á la distancia media de 500 metros, debería emplearse un material muy diferente del necesario para el desmante de mil metros cúbicos que hubiera de trasportarse á la misma distancia y en el mismo tiempo. Por esta razón, en las grandes explanaciones de los caminos de hierro ó canales se emplea con frecuencia y ventajosamente el transporte por wagones sobre vías provisionales, cuyo medio sería muy dispendioso y poco apropiado á las pequeñas explanaciones que ordinariamente exigen las carreteras.

**43. Transportes verticales.—Regla general para su cálculo.** En todo lo que precede se ha supuesto que los transportes se hacían horizontalmente; pero cuando se verifican de bajo á alto se comprende que han de ser más costosos, y por consiguiente que ha de ser mayor el precio por unidad. Ya que la elevación se haga por medio de una rampa ó plano inclinado, ya solo verticalmente por medio de tornos, poleas etc., la mecánica dá los medios de determinar la fuerza total necesaria, sumando en el primer caso el valor del rozamiento del vehículo ó cuerpo sobre el plano, con el de la *gravedad re-*

*lativa* del mismo cuerpo, ó sea la componente paralela al plano ó rampa, y determinando en el segundo la igualdad del trabajo motor y resistente segun el medio de eleccion que se emplee.

**44. Transportes por rampas de tierra.** El transporte de las tierras de un desmonte al punto de descarga, se verifica frecuentemente sobre rampas de  $\frac{1}{12}$  ó próximamente de un  $\frac{8}{100}$ , dispuestas sobre los taludes ó caras de la explanacion, y se admite de conformidad con la generalidad de los resultados prácticos, que el transporte de un métró cúbico á la distancia horizontal  $AB$  de 30 métrós cuesta lo mismo que desde  $A$  á  $C$  cuya distancia horizontal  $AE$  es de 20 métrós, por la rampa  $AC$  de  $\frac{1}{12}$ ; así, llamando  $AB=D=30$  métrós;  $AE=d=20$  métrós;  $CE=h$ , será  $\frac{h}{d} = \frac{1}{12}$ ,....  $h = \frac{20}{12} = 1,667$ : siendo  $p$  el precio pagado por la distancia horizontal de 30 métrós, se verificará:  $30:20::p:x = \frac{2}{3}p$ ; luego  $p - \frac{2}{3}p = \frac{1}{3}p$  será el coste debido á la rampa  $AC$  ó á la altura  $h = 1,667$  métrós, y por consiguiente se verificará tambien;

$1,667 : \frac{1}{3}p :: 30 : x = \frac{30}{1,667} \times \frac{1}{3}p = 6p$ ; lo que expresa que el transporte vertical á una altura cualquiera  $h$  es seis veces mas costoso que el transporte horizontal entre dos puntos cuya distancia fuese  $h$ . Así, si el transporte se verifica entre dos puntos cualesquiera  $A$  y  $B$  cuya distancia horizontal es  $D$ , por rampa de  $\frac{1}{12}$  y siendo  $H$  la diferencia de altura entre  $A$  y  $B$  el precio de trasportè seria:

$P = \frac{D}{30}p + \frac{H}{30} \times 6p$  y como  $D = 12H$ ;  $P = \frac{12H}{30}p + \frac{6H}{30}p = \frac{18H}{30}p$ ; por manera que el precio  $P$  se calcula, ó bien pagando la distancia horizontal  $D$  y aumentando á esta seis veces el valor de la altura  $H$ , ó mas sencillo aun

abonando como distancia horizontal 18 veces el valor de la altura  $H$ . Este último medio es sobre todo aplicable al caso en que todo el transporte es vertical y no existe distancia horizontal  $D$  entre los puntos  $A$  y  $B$ , cuya relacion se deduce tambien observando que entonces debe verificarse;

$1,667 : p :: 30 : x = \frac{30}{1,667} p = 18 p$  lo que expresa que la elevacion á 30 métrros de altura cuesta 18 veces el transporte á la distancia horizontal de los mismos 30 métrros.

Fig. 22.

**45. Casos particulares.** En el caso en que  $\frac{MB}{AB} = \frac{H}{D} > \frac{1}{12}$ , la rampa  $AM$  tendria una inclinacion mayor que la adoptada, y con ésta solo se podria elevar el transporte al punto  $N$  tal que  $\frac{NB}{AB} = \frac{1}{12}$ , por consiguiente ó seria necesario ver si era posible dar mas desarrollo á la línea  $AB$ , y aun en el caso contrario calcular el precio del transporte por los principios antes indicados, del modo siguiente:  $P = \frac{D}{30} p + \frac{BN}{30} 6p + \frac{NM}{30} 18 p \dots$ ; pero como  $BN = \frac{D}{12}$  y  $NM = BM - BN = H - \frac{D}{12}$ , resultará,

$$P = \frac{D}{30} p + \frac{\frac{D}{12}}{30} 6p + \frac{H - \frac{D}{12}}{30} 18p = \frac{P}{30} \left( D + \frac{D}{2} + 18H - \frac{3D}{2} \right)$$

ó sea  $P = 18 H \frac{P}{30}$  como en el caso anterior.

Si al contrario la relacion  $\frac{BN}{BC} = \frac{H}{D'} < \frac{1}{12}$  la rampa  $CN$  tendria una inclinacion menor, y seria posible recorrer una cierta distancia  $CA = d$ , y subir luego por la rampa  $AN$ ; el precio seria:

$$P = \frac{d}{30} p + \frac{D}{30} p + \frac{H}{30} 6p = \frac{D'}{30} p + \frac{H}{30} 6p.$$

**46. Aplicacion á diferente clase de vias.** Cuando los transportes se verifican sobre otra clase de vias, como carretera ó camino de hierro, las considera-

ciones anteriores son poco aplicables, y es mas sencillo examinar entonces la influencia de la rampa en la carga. Así, si se representa por  $F$  la fuerza del motor en kilogramos, por  $n$  el valor del rozamiento, ó sea el número de kilogramos necesarios para mover una tonelada sobre un camino horizontal, y por  $n'$  el número de kilogramos debidos á la influencia de la rampa,  $\frac{F}{n}$  será el número de toneladas que el motor arrastrará en camino horizontal á la distancia  $D$ , en un cierto tiempo;  $\frac{F}{n+n'}$  en el segundo á la misma distancia, pero en la rampa  $D'$ , en el mismo tiempo; y debiendo verificarse entre las cantidades de trabajo que  $\frac{F}{n}D = \frac{F}{n+n'}D'$ , se deduce, que los valores  $D$  y  $D'$  estarán en razon inversa de los números representados por  $\frac{F}{n}$  y  $\frac{F}{n+n'}$  ó  $\frac{1}{n}$  y  $\frac{1}{n+n'}$ ; de modo que se tendrá:  $D':D :: \frac{1}{n} : \frac{1}{n+n'}$  ó  $\frac{D'}{D} = \frac{n+n'}{n}$  ó  $D' = D \times \frac{n+n'}{n}$  es decir; que para convertir en distancia horizontal la rampa  $D'$ , bastará multiplicar la horizontal  $D$  ó sea la que separa los dos puntos dados, por la relacion  $\frac{n+n'}{n}$ : Así por ejemplo, en el caso de tierras conducidas en wagoes movidos sobre un camino de hierro por un caballo, en la rampa de 1,5 por 100 ó de 15 milímetros por métro, á la distancia horizontal de 200 métros, se tendrá  $F$ , esfuerzo medio del caballo = 60 kilogramos,  $n = 5$  kilogramos, valor del rozamiento, ó fuerza necesaria para hacer mover una tonelada sobre una via de hierro horizontal,  $n' = 15$  kilogramos valor aproximado de la gravedad relativa;  $D = 200$  métros;  $D' = D \times \frac{n+n'}{n} = 200 \frac{5+15}{5} = 200 \times 4 = 800$  métros;  $\frac{F}{n} = \frac{60}{5} = 12$  toneladas..... y  $\frac{F}{n+n'} = \frac{60}{20} = 3$  toneladas.

Por manera que el transporte de 12 toneladas á la distancia horizontal de 200 métrros, costaria lo mismo que el de 3 toneladas á la misma distancia en la rampa de 4,5 por 100, y por consiguiente, que el coste del transporte de una unidad cualquiera por esta rampa á la distancia de 200 métrros equivaldría al del transporte de la misma unidad á la distancia horizontal de 800 métrros. Se ve tambien que cada métrro de elevacion equivale, en este caso particular, á 200 de aumento en la distancia horizontal.

Estas consideraciones serán nuevamente tratadas, y tal vez mejor comprendidas, cuando nos ocupemos con mas extension de la influencia de las pendientes en las diferentes clases de vias de comunicacion.

**47. Medios de realizar el transporte vertical.** Cuando no se dispone del espacio suficiente para establecer vias de transporte en rampa, como sucede en las excavaciones profundas para cimientos, en los pozos de los túneles y otras obras, la elevacion vertical se verifica ó á la pala ó por medio de tornos.

**48. Elevacion con la pala.** Este medio solo se presta á pequeñas alturas que no excedan de 5 á 6 métrros, estableciendo, como ya hemos indicado, escalones ó mesetas de 1,60 métrros de altura, sobre las cuales cada obrero situado en el inferior, puede arrojar al dia de 12 á 15 métrros cúbicos de tierras.

**49. Elevacion por medio de tornos.** Cuando las alturas á que han de elevarse ó extraerse las tierras son considerables, se emplean tornos movidos por hombres, caballerías, y hasta por máquinas de vapor. Una

cuerda ó cable metálico, según los casos, arrollada á un torno, sube una espuerta ó caja llena de tierras, mientras del otro lado baja otra caja vacía, y mientras los obreros situados en la parte superior desenganchan y descargan la caja, otro operario situado en la parte inferior recoge la caja vacía y engancha otra cargada. Conocidos el diámetro del torno y su manivela, se determina (Mecánica, Teoría del torno) la relacion que debe existir entre la potencia y la resistencia, y por consiguiente el efecto útil que en cada caso podrá producir en cada dia ú hora la potencia aplicada al torno, ó inversamente la potencia que sea necesaria para producir el efecto útil que sea necesario.

Cuando se emplean los caballos como motores, se hace generalmente uso del aparato llamado *malacate* que consiste en un torno ó gran polea de eje vertical, sobre la cual se arrolla la cuerda por un lado y se desarrolla por el otro, cambiando despues su direccion horizontal en vertical por medio de dos poleas.

El movimiento del malacate se verifica por una, dos ó mas caballerías, de un modo análogo al usado en las norias.

Las máquinas de vapor solo se emplean para grandes profundidades, porque su adquisicion y entretenimiento son costosos, y su efecto es tanto menor cuanto mas pequeña es la profundidad y mayor el tiempo perdido en la carga y descarga.

**50. Direccion de los caminos de transporte.**  
Creciendo el coste de los trasportes con las distancias, es evidente que hay interés en que estas sean las menores

que sea posible. Cuando hay un solo punto de carga y otro de descarga, la solución se reduce á aproximar todo lo mas posible el camino de transporte á la recta que une los dos puntos; pero cuando son varios los puntos de excavacion y carga, y dos ó mas tambien los de depósito, no se presenta al primer golpe de vista la solución mas conveniente, pero se determina fácilmente por los principios de la geometría, procurando siempre satisfacer la regla general de que *los caminos de transporte no se crucen entre los puntos de partida y de llegada*. Así, por ejemplo, si de los tres puntos *A*, *B* y *C*, deben transportarse tierras á los *A'*, *B'* y *C'*, se vé bien, que la línea de los caminos *AA'* „ *BB'* „ y *CC'* seria menor que cualesquiera otra combinacion de las indicadas en la figura, y que por consiguiente los productos de *A* deberian transportarse á *A'*, los de *B* á *B'*, y los de *C* á *C'*, pues si los de *A* se transportáran á *B'*, los de *C* á *A'*, y los de *B* á *C'* se verificaria:

Fig. 23.

$$AM + MA' > AA';$$

$$BN + NB' > BB';$$

$$CM + MO > CO ;$$

$$ON + NC' > OC';$$

y sumando ordenadamente resultará que  $AB' + CA' + BC' > AA' + BB + CC'$ .

Análogos principios deben igualmente tenerse presentes para hacer que la elevacion vertical sea tambien la menor posible.



## CAPÍTULO TERCERO.

### TERRAPLENES.

CONDICIONES DEL TERRENO.—MATERIALES.—EJECUCION Y FORMA.

51. **Partes de estudio mas esencial.** Para la buena ejecucion de un terraplen deben conocerse:

- 1.º El terreno sobre que ha de insistir.
- 2.º Los materiales de que ha de componerse.
- 3.º Su procedencia.
- 4.º La mano de obra ó sistema de construccion mas conveniente.
- 5.º Las dimensiones y forma necesarias segun su objeto ó que exige su permanencia y estabilidad.

52. **Condiciones del terreno.** Un terraplen, como toda obra, exige firmeza y estabilidad en el terreno natural sobre que ha de construirse; sin esta condicion el terreno cederia bajo el peso del terraplen, y las conse-

cuencias de este doble movimiento del terreno y del terraplen pueden ser, y son casi siempre, muy difíciles y costosas de remediar. No siempre es posible prever estos movimientos; pero no pocas veces tambien se omite ó se descuida este estudio prévio, que en muchos casos es del mayor interés.

En los terrenos pantanosos, ó atravesados por corrientes de agua, es de temer que el peso del terraplen produzca estos movimientos, muy frecuentes tambien en las laderas de los terrenos arcillosos y de greda. El agua es la causa que principalmente los favorece, y conviene por tanto alejarla y sanear de este modo todo el terreno á que estos efectos puedan extenderse.

### 53. **Terrenos húmedos y compresibles.**

Cuando se atraviesan terrenos húmedos pueden estos sanearse préviamente, estableciendo al pie del terraplen dos zanjás  $AA'$ ,  $BB'$  paralelas á éste, y comunicadas por otras trasversales  $CC'$  con pendiente hácia las primeras desde su parte média. Las dimensiones y pendiente de estas zanjás dependerán, en cada caso, de las condiciones del terreno, y la pendiente de las laterales, ó paralelas al terraplen, estará determinada por la profundidad del talweg ó corriente del valle adonde dichas zanjás han de tener su desagüe natural.

Fig. 24.

Es conveniente rellenar estas zanjás de piedra en seco, y en su fondo construir con la misma piedra un pequeño acueducto ó caño por donde las aguas corran libremente. El relleno de piedra en seco es indispensable en la parte de las zanjás que queda ó ha de quedar bajo el terraplen.

Es tambien conveniente en estos casos dar á la base del terraplen la mayor latitud ó ancho posible, por los medios que mas adelante indicaremos.

Tambien se ha solido interponer entre el terreno natural y el terraplen una camada ó lecho general de enfaquinado ó tejido de ramaje, á fin de aumentar la estabilidad del terraplen: pero este medio nos parece dispendioso y en general de peores resultados que el sistema de saneamiento, que debe preferirse, siempre que sea posible, como mas permanente y seguro.

53. **Terrenos arcillosos en ladera.** Cuando la pendiente trasversal del terreno sea algo considerable, bastará hacer la zanja longitudinal superior con la profundidad necesaria para evitar la entrada del agua en aquellas capas ó bancos sobre los que sea de temer el resbalamiento, añadiendo algunas de las zanjas trasversales, para impedir toda comunicacion del agua por dichas capas.

54. **Preparacion de la superficie del terreno.** Cuando la superficie natural del terreno está revestida de vegetacion abundante y arbustos, conviene, sobre todo en las laderas, rozar y despejar dicha superficie, á fin de aumentar la adherencia del terraplen, y evitar la desunion y corrimiento de éste. Cuando las laderas tienen una pendiente trasversal muy grande, entonces debe arreglarse el terreno por escalones, los cuales no solo aumentan el rozamiento y dan mas estabilidad al terraplen, sino que facilitan su ejecucion, sobre todo en los de grande altura y que se hacen de una sola capa, volcando los carros ó wagoes; pues entonces las tierras

Fig. 25.

adquieren gran velocidad, y sin el recurso de los escalones, una gran parte de aquellas van rodando hasta grandes distancias fuera de la base del terraplen. La latitud y altura de estos escalones depende de la pendiente del terreno; pero en general su ancho no deberá ser menor de 1,5 á 2 metros y su altura no deberá exceder de 50 á 60 centímetros.

55. **Materiales para formar terraplenes.— Tierras sueltas y vegetales.** Los materiales que constituyen un terraplen deben satisfacer á la condicion de que construido éste, experimente el menor descenso ó *asiento* posible, y de resistir sin alteracion á todas las acciones é influencias atmosféricas, como las aguas, hielos, vientos, sequedad fuerte etc. Las tierras sueltas y vegetales son las que en general llenan mejor estas condiciones.

56. **Arcillas.** Las arcillas y gredas se alteran y descomponen mucho por la accion de la atmósfera; con la sequedad se contraen y agrietan, el agua penetra despues por estas aberturas en el interior de la masa del terraplen y ocasiona su rotura ó el corrimiento del todo ó parte, favorecido por el aumento de volumen de la masa, debido á la misma humedad, sobre todo si á ésta se siguen fuertes heladas.

57. **Empleo de la arcilla en los terraplenes.** Si las circunstancias locales hiciesen indispensable el empleo de la arcilla en un terraplen, convendrá hacerlo únicamente en el núcleo ó masa central, quedando ésta recubierta por todas partes de una capa de tierra vegetal de 0,50 á 1 méτρο de espesor, que se oponga á la filtra-

cion y paso del agua; debiendo adoptarse además los otros medios y precauciones que se indicarán al tratar de la consolidacion de los terraplenes.

58. **Arenas y gravas.** La arena suelta y fina es fácilmente arrastrada por las aguas, y levantada y llevada por los vientos por cuyos motivos no es conveniente para la formacion de terraplenes y establecimiento de ninguna clase de vias. Las gravas ó arenas muy gruesas resisten mejor las acciones del agua y del viento; pero aun así será conveniente revestirlas en los terraplenes con tierra suelta ó vegetal, y sujetas de este modo, el asiento del terraplen seria casi nulo, cuidando mucho de impedir toda accion ó corriente de agua en el macizo interior.

59. **Piedras.** Hasta la construcción de los caminos de hierro, los terraplenes hechos con piedras, llamados generalmente *pedraplenes*, han sido poco comunes; pero la necesidad de emplear en los terraplenes el producto de los grandes desmontes en roca, que ha exigido el establecimiento de esta clase de vias, ha hecho muy frecuente el uso de los pedraplenes, que en general son de muy buen efecto, si se cuida de no emplear en su construcción piedras muy voluminosas. Salvo el caso de materiales muy tiernos y descomponibles, los pedraplenes experimentan poco asiento y resisten sin deformacion alguna los efectos atmosféricos aun en los temporales mas fuertes, lo cual es debido en gran parte á su permeabilidad, que dispensa en algunos casos de la construcción de obras de desagüe.

Como los pedraplenes se construyen generalmente

de una sola capa y con wagones, al verterse éstos en la cresta del piedraplen, la piedra se rompe y divide en trozos de los que los mayores ruedan hasta el pié y los mas pequeños se detienen en la parte superior; por manera que los materiales de un piedraplen decrecen generalmente de tamaño desde la base hasta la parte superior, cuya circunstancia envuelve una gran condicion de estabilidad.

Los piedraplenes son además muy convenientes cuando se atraviesan terrenos fangosos, ó bañados por las aguas, ó muy expuestos á las corrientes de éstas, como sucede en las costas del mar ó en los valles inundados por la crecida de los rios. El ferro-carril de Alar del Rey á Santander ofrece patentes y variados ejemplos de los buenos resultados de los piedraplenes en los tres últimos kilómetros construidos sobre el suelo fangoso de la bahía, sumergido por las mareas, en varios puntos de las márgenes del rio Besaya y en otros muchos de las cordilleras ibérica y cantábrica que aquella línea atraviesa.

Los grandes piedraplenes producen tambien sobre las obras de fábrica efectos menos sensibles y perjudiciales que los terraplenes de tierras arcillosas. Hemos visto obras de fábrica de importancia con carga de 10 y 12 méetros de altura de piedraplen sobre la bóveda, sin advertirse en ninguna de sus partes efecto alguno de desarreglo de la fábrica; mientras que cargas iguales y menores de tierras arcillosas, sobre obras análogas y aun mucho menores, han ocasionado roturas y desplomes de la mayor consideracion.

Los piedraplenes serian inoportunos en los canales,

en donde la *impermeabilidad* es una condicion exencial, á menos de hacer un revestimiento interior por los medios que se explicarán al tratar de esta clase de vias.

Los piedraplenes tienen solo, en nuestro juicio, para las carreteras y los caminos de hierro el inconveniente de hacer la via mas dura ó menos elástica, y por consiguiente menos cómoda que los terraplenes, cuyo inconveniente puede atenuarse aumentando algo el espesor del firme ó la capa de balasto, segun se dirá en el lugar correspondiente.

Salvo el caso del aprovechamiento necesario del material de los desmontes los piedraplenes serán mas costosos que los terraplenes por el mayor coste de la extraccion de la roca.

**60. Procedencia del material de los terraplenes.** Los terraplenes se construyen ó con los productos de los desmontes ó con materiales ó tierras *de préstamo*, esto es, extraidas al efecto fuera de la explanacion de la via. La eleccion mas conveniente de uno de estos dos medios, ó de los dos á la vez, debe ser objeto de un detenido estudio, en cada caso, en la redaccion del proyecto y ejecucion de los trabajos. Por regla general *en las grandes explanaciones* suele preferirse el sistema de *compensacion*, esto es, *la construccion de los terraplenes con el producto de los desmontes*, como mas económico y menos perjudicial á la agricultura por la ocupacion de los terrenos próximos á la zona de la via.

Fuera de las operaciones y gastos comunes á uno y otro medio, el de los terraplenes hechos con productos de desmontes solo exige el gasto del transporte, mientras

que el sistema de préstamos ocasiona el de la adquisición de terrenos, su excavacion y trasporte, terrenos necesarios para el depósito de los productos del desmonte y trasporte y arreglo de estos. La comparacion de unos y otros gastos y de las circunstancias locales hará optar en cada caso por el sistema mas conveniente y económico.

El sistema de préstamos ofrece además no pocas veces el grande inconveniente de privar á la agricultura de terrenos productivos, y convertir estas zanjas de extraccion de tierras en depósitos de agua estancada y perjudicial á la salud pública.

**61. Mano de obra de los terraplenes.—Primer medio.** Estos se construyen de dos modos: ó por *capas* de 20 á 30 centímetros de altura, ó avanzando en toda su altura á la vez.

Por el primer medio se obtienen terraplenes mas consistentes y sujetos por tanto á menor asiento ó descenso, porque el paso de los trabajadores sobre cada una de dichas capas desde la inferior les dá naturalmente mayor consistencia, que suele aumentarse en algunos casos apisonándolas por medio de *pisones* en forma de cuña. Este sistema es sin embargo poco empleado, y limitado casi á ciertos terraplenes especiales ó parte de estos en que es indispensable la mayor perfeccion en la mano de obra. Para terraplenes de mas de 4 á 5 métrós de altura, hechos con productos del desmonte y en terrenos accidentados, este medio seria muy lento, caro y complicado para el establecimiento de las vias y medios de trasporte.

**62. Segundo sistema.** En el segundo medio el

terraplen avanza de un extremo á otro en toda su altura, verificándose la descarga en su parte extrema y superior ó *cresta*, y rodando las tierras por su propio peso hasta la parte inferior segun su talud ó inclinacion natural. Este medio está generalmente mas adoptado como mas expedito y económico, y puede decirse que es casi indispensable cuando los terraplenes tienen una altura algo considerable y los trasportes se verifican con carros ó wagoes. El inconveniente del mayor asiento que se atribuye á este medio de ejecucion es, en nuestro sentir, menos importante de lo que generalmente se cree; el asiento ó depresion de un terraplen depende en primer lugar tanto ó mas de la calidad de las tierras como de su mano de obra; y en cuanto á esta observaremos: 1.º Que el apisonado por capas debido al tránsito de operarios en el primer sistema está reemplazado en el segundo por otro igual y aun mas fuerte sobre la parte superior del terraplen, no solo por el paso de operarios sino por el de carros y hasta por la consolidacion debida al establecimiento de las vias de hierro provisionales. 2.º Que siendo muy conveniente en uno y otro medio reducir los materiales á pequeños fragmentos, y por consiguiente *desterronar* las tierras al cargarlas, este efecto se obtiene á un grado mas perfecto en el segundo sistema, en el que las tierras al caer y rodar por las caras del terraplen se fraccionan y deshacen muchísimo mas, y los trozos mas gruesos vienen á colocarse naturalmente en las partes bajas del terraplen, como ya se ha indicado al tratar de los trasportes. 3.º Que esta accion de la pesantez y de la colocacion de los materiales en el orden de sus dimen-

siones, favorece notablemente la consolidacion de la masa y el menor hueco posible entre sus diferentes partes.

**63. Terraplenes sobre las obras de fábrica.**

En la inmediacion de las obras de fábrica los terraplenes deben avanzar gradual y simétricamente de uno y otro lado, y cuando el pié del terraplen ha llegado á la mitad ó dos tercios de la altura de los estribos y aletas es conveniente arreglar á mano y por capas apisonadas esta parte del terraplen, hasta dejar cubierta la obra de fábrica; sobre todo si el terraplen tiene mucha mayor altura que ésta. Cuando la obra de fábrica está así protegida de los golpes ocasionados por el material descargado en la cresta del terraplen, no hay ya inconveniente en hacer avanzar éste hasta su encuentro.

Sin estas precauciones el empuje del terraplen, no contrarestado por el lado opuesto, podria dislocar la obra de fábrica y destruirla en todo ó parte.

En los grandes terraplenes que atraviesan en cañadas ó valles estrechos y de terrenos compresibles son á veces necesarias análogas precauciones respecto al avance de aquellos, á fin de evitar los movimientos y dislocaciones del terreno que ocasiona el exceso de presion sobre una de las vertientes del valle.

**64. Terraplenes en contacto con las aguas.**

Cuando el pié ó parte de las caras de un terraplen está bañado por las aguas, como sucede en las costas ó en los terrenos inundados por las crecidas de los rios, es indispensable fortificar el terraplen con un revestimiento de piedra en seco, en forma de escollera, en toda la altura á que llegan las aguas; y mejor aun construir en piedra-

Fig. 26. plen toda esta parte á fin 'de evitar la accion diluente de las aguas sobre el interior del macizo, accion muy sensible y perjudicial cuando es muy continúa, como sucede con las mareas en el océano, en las que al bajar las aguas, que han penetrado en el interior, arrastran las tierras y concluyen por destruir poco á poco el terraplen. Estos revestimientos tienen generalmente un talud exterior igual al del terraplen y un espesor proporcionado á su altura, pero que ordinariamente no es menor de 80 centímetros á 1 métró en la base y de 40 á 50 centímetros en la coronacion.

#### 65. **Forma y dimensiones de los terraplenes.**

Fig. 25. La seccion ó perfil trasversal de un terraplen consta de la línea superior *ab* destinada á recibir la via y cuya latitud depende de la clase de ésta; de la *cd* correspondiente al terreno natural, y de las caras laterales *ac* y *bd* cuyo *talud* ó inclinacion depende de la clase de tierras que constituyen el terraplen, y que ordinariamente es de 1,5 de base por uno de altura. La ejecucion definitiva y refino de los taludes puede hacerse por medio de reglones, de una manera análoga á la explicada al tratar de los desmontes. Cuando, como hemos indicado respecto á los terrenos poco consistentes, conviene dar mayor latitud á la base del terraplen, puede esto hacerse como en los desmontes, ya un talud continuo, ó por escalones; el primer medio es generalmente preferido, como mas expedito, económico y de mejor efecto para la conservacion del terraplen.

66. **Terraplenes hechos con tierras de préstamo.** Ya porque las distancias de trasporte sean muy

grandes y por consiguiente muy costosas, ya por la mala clase de tierras, ó ya en fin por las condiciones especiales del perfil de la via ó del terreno, es indispensable en muchos casos ejecutar los terraplenes con tierras extraídas de los costados ó inmediaciones de la via, y formar al mismo tiempo depósitos ó *caballeros* con los productos excedentes de los desmontes, de cuyos dos casos vamos á ocuparnos separadamente.

67. **Excavaciones de préstamo.** Deben estas practicarse en terrenos que perjudiquen poco á la agricultura, de fácil remocion y situados en la proximidad del terraplen y cerca del nivel de la rasante, á fin de disminuir el coste de los trasportes horizontales y verticales.

Al practicar la excavacion convendrá en muchos casos separar la tierra vegetal y dar á aquella poca profundidad, no solo por disminuir el transporte vertical, sino para que, volviendo á extender la tierra vegetal, pueda el terreno ser nuevamente productivo. Es difícil fijar aquí, para todos los casos, la forma ó seccion de la excavacion; pero, bajo el punto de vista de los trasportes, la altura ó profundidad de ésta no debe ser mayor de  $\frac{1}{15}$  de su ancho ó base. El fondo de la excavacion debe además quedar en todo caso con la pendiente necesaria para la salida de las aguas, á fin de evitar la insalubridad y otros malos efectos debidos á su estancamiento.

En la generalidad de los casos, en los terraplenes de préstamo entra por mucho el transporte vertical, que se verifica ordinariamente por medio de carretillas sobre rampas de 7 á 8 por 100, practicadas sobre las caras de

la excavacion y los taludes del terraplen. En todo caso se aplicará el medio de trasporte mas conveniente, segun los principios y reglas expuestas en el capítulo anterior.

**68. Depósito de los productos excedentes de los desmontes.** Cuando, por alguna de las causas antes indicadas, el producto de un desmonte no puede ser empleado en terraplen, es necesario depositarle fuera de la via. Se dá ordinariamente á estos depósitos la forma de un terraplen, esto es trapezoidal, suponiendo horizontal el terreno; pero como para una seccion dada la altura del trapecio puede ser mayor ó menor relativamente á la base, se comprende que entre todas hay una mas conveniente para los trasportes, y el cálculo hace ver que ésta es aquella en que la base es próximamente 15 veces la altura del trapecio, dando á las caras laterales del depósito la inclinacion que les corresponda segun la clase de tierras.

Como el terreno queda ocupado por estos depósitos á perpetuidad, debe elegirse el mas económico y en que se originen menos perjuicios.

Debe asimismo procurarse no situar los depósitos muy próximos á las caras del desmonte, porque su peso pudiera ocasionar en éste desprendimientos y roturas del terreno perjudiciales y costosas de reparar.

**69. Depresion ó asiento de los terraplenes.** Cuando se calcula el volúmen del todo ó parte de un desmonte, necesario para formar un terraplen, debe tenerse en cuenta el aumento de volúmen que las tierras experimentan despues de removidas; las arcillas sobre todo aumentan notablemente, hasta un 50 por 100, y

otro tanto puede decirse de las rocas. Las demás clases de tierras aumentan solo de un sexto á un octavo de su volúmen.

En compensacion de este aumento debe tambien tenerse presente el *asiento* del terraplen, esto es, el descenso ó disminucion de su altura, debido á su propio peso y á la accion atmosférica que produce la compresion y aproximacion de las tierras. La mayor parte de este asiento se verifica en el primer año despues de la construccion del terraplen.

En cuanto á su valor numérico depende no solo de la clase de tierras, sino de su altura; pero en general puede apreciarse el asiento en  $\frac{1}{20}$  de su altura total, es decir, que debe calcularse el volúmen definitivo del terraplen con el aumento correspondiente á esta altura.

**70. Empleo de muros de contencion en los desmontes y terraplens.** Cuando las caras de un desmonte ó terraplen vienen á ocupar terrenos ó propiedades de mucho valor, cuando las caras del terraplen caen sobre corrientes de agua, ó no pueden alcanzar su talud natural por la mucha inclinacion de las laderas, y en otros muchos casos particulares que ocurren con frecuencia, es indispensable el empleo de muros de contencion, que sostienen en el primer caso el empuje del terreno natural, y en el segundo el del terraplen; pero que en los dos reduce notablemente el ancho de la explanacion sobre el terreno natural. Estos muros se hacen de mampostería con mezcla ó en seco; cuando hay materiales apropiados, el segundo medio es generalmente preferible, porque los huecos naturales de la mam-

postería en seco dan mas fácil paso á las aguas y disminuye los efectos del empuje. Las grandes masas de mampostería con mezcla tardan en secarse y en adquirir la necesaria consistencia y enlace; y así se las vé con frecuencia, ó aplastarse bajo su propio peso, ó ceder y deslocarse al empuje de las tierras empapadas de agua en los grandes temporales. Hemos tenido ocasion de dirigir la construccion de muchos muros en seco hasta de 25 méetros de altura y sus resultados han sido constantemente satisfactorios.

Fig. 27.

La forma ó seccion de estos muros es generalmente la de un trapecio, cuyo ancho ó espesor en la base es de 0,40 de la altura y de 80 á 90 centímetros en la coronacion. La cara exterior se construye con un talud de  $\frac{1}{5}$  á  $\frac{1}{10}$  segun los casos, y la interior segun otro con la inclinacion que resulta de los datos anteriores, ó mas generalmente dispuesto por escalones de 1,20 á 1,50 méetros de altura y de 20 á 30 centímetros de ancho. El sistema de escalones es preferible no solo por lo que puedan contribuir á la mayor estabilidad del muro, sino porque pueden ser un medio de obtener una mano de obra mas perfecta.



---

## CAPÍTULO CUARTO.

### **CONSOLIDACION DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES.**

MOVIMIENTOS DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES.—CAUSAS QUE PUEDEN PRODUCIRLOS.—MEDIOS DE CORREGIRLOS EN CADA CASO.

**71. Movimientos en los desmontes y terraplenes.** Ya que por falta de prevision no se hayan adoptado los medios preventivos necesarios, ya porque los adoptados hayan sido insuficientes, se observan con mucha frecuencia importantes movimientos así en las caras de los desmontes, como en los macizos de los terraplenes y en los terrenos sobre que estos insisten. Estos movimientos no se manifiestan generalmente recién terminadas las explanaciones, sino pasados algunos meses y á veces hasta años; pero suelen ser de tal magnitud, que no pocas veces obstruyen la via é interrumpen la circulacion, y son casi siempre motivo de grandes y costosos trabajos de reparacion. Los medios de prevenir y

corregir estos movimientos tan perjudiciales, han sido objeto de muchos estudios y observaciones, y los diferentes resultados obtenidos han dado lugar á encontradas opiniones entre Ingenieros muy distinguidos; pero que en nuestro sentir han incurrido en el grave error de querer erigir en sistemas generales, principios y recursos aplicables solo á casos determinados. Con estos antecedentes, y nuestras cortas observaciones hechas en los trabajos de esta clase que hemos tenido ocasion de dirigir, procuraremos presentar, con el órden y claridad posibles, las *causas* á que estos movimientos son generalmente debidos, y los medios que en consecuencia deben producir y nos han producido resultados mas eficaces y seguros.

**72. Movimientos superficiales en las caras de los desmontes.** Cuando estos están practicados en terrenos arcillosos, las capas de arcilla puestas al descubierto experimentan directamente la accion atmosférica, y cambian sucesivamente de volúmen, contrayéndose é hinchándose, segun que la atmósfera está seca ó húmeda, resultando del primer efecto grietas ó hendiduras mas ó menos profundas, que dan paso al agua llovediza y á la que pueda venir filtrada por el mismo terreno. Reblandecida la arcilla por la humedad, pierde su cohesion, y al aumentar de volúmen, sobre todo si este cambio está favorecido por las heladas, el efecto de este aumento se hace sentir naturalmente sobre la cara exterior ó libre, que, afectando al principio una forma convexa, concluye por separarse de la masa interior, produciéndose los consiguientes *desprendimientos* ó *desmoronamientos*.

Fig. 28.

tos del terreno, mas ó menos profundos, segun que la influencia atmosférica haya sido mas ó menos intensa, y las condiciones especiales del terreno hayan permitido que su efecto penetre mas ó menos en su interior. La rotura se verifica generalmente segun una línea curva  $d' m f'$ , casi horizontal en su parte inferior y vertical en la superior, y cuya mayor distancia al talud está próximamente hácia el centro del desprendimiento; cuya forma se explica bien observando que en los puntos extremos  $f'$  y  $d'$  hay mas sujecion y cohesion del terreno, y por tanto los efectos predichos no pueden verificarse con tanta libertad como en el centro de la cara.

**73. Medios de corregir estos desprendimientos.** Cuando los desprendimientos del terreno se verifican en esta forma, es indudable que la *causa* á que estos efectos son debidos, no puede ser otra que la accion atmosférica. La observacion atenta de los hechos prueba bien que estos siguen la marcha de las causas indicadas; los grandes desprendimientos se verifican no en los primeros dias de humedades, sino despues, y muy particularmente en las heladas siguientes á los períodos húmedos ó lluviosos.

Conocida la causa por la observacion atenta de sus efectos, los medios de corregir estos son ya sencillos y deben reducirse á sustraer las caras del desmonte á toda influencia atmosférica y evitar por consiguiente que la humedad, la sequedad y los hielos penetren en la masa arcillosa del terreno.

**74. Revestimientos con tierra vegetal y semillas.** Uno de los medios generalmente mas econó-

micos y eficaces consiste en revestir las caras del desmonte, despues de haber dado á estas un talud de 1,25 á 1,50 de base por uno de altura, con una capa de tierra vegetal bien apisonada, sobre la que se hacen siembras de yerbas apropiadas á las condiciones y cuyas raices penetran bastante en el terreno, y sus ramas se extienden sobre la superficie del talud, que consolidada de este modo, al poco tiempo no dá paso á las aguas que corren sobre el mismo hasta la cuneta.

La siembra ó plantacion de arbustos tiene el inconveniente de que el crecimiento de estos es mas lento, no protege con igual eficacia toda la superficie, y sus raices pueden desunir y perjudicar el macizo de tierra.

Para proteger la capa de tierra vegetal en los primeros tiempos, y evitar que sea arrastrada por las aguas y vientos, puede defenderse con un tegido de ramaje sujeto al terreno por medio de piquetes.

75. **Revestimiento de céspedes.** Un resultado análogo al del método anterior puede obtenerse revisitando las caras del desmonte con céspedes, que en su cara exterior llevan ya las plantas ó yerbas antes indicadas. En taludes de 1 á 1,5 de base por uno de altura se colocan *de plano*, removiendo algun tanto la tierra de la cara del desmonte para que se una bien á la del césped. En taludes mas inclinados será conveniente colocarlos de canto ó con sus lechos normales á la superficie del talud, ó bien aumentar su sujecion por medio de piquetes y ramaje, como antes se ha dicho.

76. **Revestimiento de empedrado.** Cuando falta la tierra vegetal ó céspedes, ó las condiciones espe-

ciales de la localidad y clima no dan á este medio toda la eficacia necesaria, se emplean revestimientos de piedra en seco, con un espesor que dependerá de la inclinacion de las caras del desmonte. En los taludes ordinarios basta generalmente un grueso de 25 á 30 centímetros que conviene vaya aumentando algo hácia la base, sobre todo si el talud es algo mayor. Los revestimientos de piedra producen generalmente buenos resultados; pero para ello es preciso que se ejecuten con esmero, y que, rellorando todas sus juntas y huecos con tierra ordinaria, se impida que las aguas y heladas penetren al interior del macizo, que es el objeto principal de toda esta clase de revestimientos.

**77. Corrimientos ó resbalamientos del terreno.** Los movimientos del terreno antes indicados, si bien frecuentes en los terrenos arcillosos, son en general de poca importancia, y se corrigen fácilmente por alguno de los procedimientos descritos; pero hay otros movimientos en que el terreno se corre ó se resbala en grandes masas, haciéndose sentir sus efectos á distancias considerables del desmonte, y hasta sobre los árboles y edificios que se ven arrastrados en este movimiento general.

¿Cuál es la causa de estos grandes movimientos del terreno? Algunos Ingenieros la han creído hallar en la misma accion atmosférica de que antes se ha hablado, aumentados sus efectos por la influencia de las corrientes de agua subterráneas, contenidas entre capas impermeables del terreno. En nuestro concepto esta opinion es infundada, y los medios que en su consecuencia se aplicasen serian de todo punto ineficaces.

Otros creen que la causa principal de estos corrimientos está en la rotura del equilibrio de las capas del terreno por efecto de la cortadura de éste. En nuestro concepto esta opinion es la mas fundada y la que sugiere medios mas oportunos y adecuados para evitar esta clase de movimientos. Estos en efecto se manifiestan casi siempre en terrenos arcillosos ó en que por lo menos las capas de arcilla alternan con otras de grava, arena, roca arenisca etc., y se manifiestan en mayor escala en los terrenos de esta clase, pero situados en las laderas de los valles. Estudiando la disposicion hidrográfica de estas laderas se observan en sentido longitudinal una série de depresiones y elevaciones del terreno que no son otra cosa que las *encañadas ó valles y las estribaciones ó contrafuertes* del orden inmediatamente inferior al del valle en que terminan y cordillera en que se apoyan. Las capas del terreno permeable, de arcillas, arenas etc., tienen generalmente un espesor decreciente desde abajo arriba hasta el punto de hallarse muchas veces la roca al descubierto en la cresta de estas laderas.

Esta accion de la *denudacion* producida por la natural division en la corriente de las aguas ha ocasionado los corrimientos y acumulacion de las tierras y arcillas sobre las partes inferiores, que naturalmente no han podido cesar hasta quedar el terreno en la posicion y forma que exigia su equilibrio.

Cuando una via de comunicacion viene á establecerse sobre estas laderas, se practican generalmente terraplenes en las encañadas y cortaduras en los contrafuertes ó estribaciones. Este aumento de peso por un lado y de

Fig. 28.

disminucion y falta de apoyo por otro perturba las condiciones naturales en el modo de estar del terreno y el equilibrio se rompe. Resulta de aquí que, contrayéndonos ahora á los desmontes, toda la parte  $f' d' N S$ , del lado mas alto de la ladera queda sin apoyo por efecto de la cortadura  $a b f' d'$  y por tanto expuesta á resbalar y correrse como *sobre un plano inclinado*, desde el momento en que existan ó puedan producirse caras de rotura ó de resbalamiento, cuya inclinacion sea mayor que la correspondiente á su rozamiento.

Estas caras de resbalamiento preexisten ó se producen despues de una manera mas ó menos marcada y visible; en su superficie el terreno es generalmente permeable hasta las primeras capas de arcilla, y estas á su vez están despues separadas ó por capas de tierras y arenas permeables y en las que circula el agua, ó simplemente por juntas casi imperceptibles por las que el agua se rezuma y aparece al exterior como por una resudacion, pero que no por esto son menos terribles para facilitar el corrimiento del terreno.

**78. Epoca de los corrimientos.** La cohesion natural del terreno impide generalmente que este se corra inmediatamente despues de practicada la cortadura; pero cuando pasado algun tiempo el agua, saliendo al exterior por las capas permeables, destruye y arrastra las materias de que estas se componen, y suaviza en consecuencia las capas impermeables de la arcilla, disminuye el rozamiento de unas sobre otras; reblandecida además la arcilla, dilatada en su volúmen y empujada al exterior por la presion de las corrientes de agua en los

grandes temporales, estas dos causas reunidas, el menor rozamiento y el aumento de presión, inician inevitablemente el corrimiento del terreno que, una vez iniciado, se continúa después con más facilidad por el aumento progresivo de las mismas causas.

**79. Justificación de esta teoría.** Que los hechos pasan de esta manera, y que son debidos á la rotura del equilibrio en el macizo de tierras, se prueba observando:

Fig. 28.

1.º Que el desprendimiento del terreno se verifica casi siempre del lado superior ó más elevado  $f' d' N S$  del desmonte, y pocas veces de la parte opuesta  $a b$  en la que solo ocurren generalmente desmoronamientos superficiales, debidos casi exclusivamente á la acción atmosférica.

2.º Que las caras de resbalamiento  $p q, p' q'$  etc. presentan después del corrimiento del terreno una superficie tan lisa y suave como el jaspe más pulimentado y en la que por consiguiente el rozamiento es muy pequeño.

3.º Que estos corrimientos se hacen sentir á veces á distancias considerables de centenares de metros y hasta de uno y dos kilómetros.

4.º Que no pocas veces también, antes ó al mismo tiempo de verificarse los corrimientos, no solo se eleva el fondo ó rasante de la explanación según la línea  $x y$ , lo que indica que el terreno tiende á *recobrar su forma primitiva de equilibrio*, sino que es empujada al exterior, porque la capa del terreno sobre que está la rasante se mueve también sobre un plano ó superficie de rotura inferior á aquella; siendo ineficaces cuantos trabajos se

hacen para volver la rasante á su nivel primitivo  $b f'$ , si no se evitan los corrimientos.

5.º Que estos se verifican muchas veces sin ocurrir heladas ni grandes lluvias, sino simplemente por la accion de la gravedad favorecida por las filtraciones naturales que salen al exterior del desmorte.

6.º Que si para corregir estos movimientos del terreno se limita á defender el talud del desmorte de la accion atmosférica, como en el caso de los desmoronamientos superficiales, los resultados son generalmente nulos, á no emplearse revestimientos de piedras muy gruesas cuyo peso contraresta el empuje del terreno.

7.º Que el corrimiento de las capas arcillosas del terreno por la rotura del equilibrio se explica igualmente en los desmontes por la *falta ó extraccion* de las tierras que servian de apoyo á las superiores, como en los terraplenes por la *adicion ó aumento de peso* sobre el terreno natural, y en donde la accion atmosférica no tiene influencia alguna, segun luego veremos.

**80. Medios para corregir estos movimientos del terreno.** Cuando la causa á que estos movimientos son debidos está bien estudiada y conocida, con todos sus detalles y condiciones locales, deben ejecutarse los trabajos que mas eficazmente destruyan y se opongan á los efectos de aquella. Indicaremos los mas adecuados y que generalmente producen resultados mas seguros.

**1.º Muros de sostenimiento.** Si los corrimientos del terreno son de grande importancia, y las superficies del resbalamiento tienen una grande extension, es muy difícil apreciar el empuje de las tierras, y el empleo

de los muros es generalmente poco eficaz, sobre todo si hay planos de rotura ó resbalamiento que pasan debajo de la caja ó rasante de la explanacion, en cuyo caso es muy expuesto que el muro se corra y trastorne con el mismo terreno. En otro caso los muros podrán tener aplicacion útil y deberá preferirse su construccion en seco, con contrafuertes interiores *b d m n* que dividan el macizo de las tierras, aumenten el rozamiento de estas y faciliten lateralmente y de frente la salida de las aguas. La altura de estos muros no deberá en general exceder de 3 á 4 méetros, y desde su coronacion convendrá *descargar* todo lo posible el peso de las tierras, aumentando el talud de estas segun se indica por la línea *b p*. Hemos tenido casos de uno y otro resultado con el empleo de los muros; pero en general no recomendamos este procedimiento que sobre ser de éxito dudoso, es bastante costoso.

**2.º Zanjas de saneamiento paralelas al desmonte.** A una distancia mas ó menos considerable, segun los casos, pero que en general no deberá ser menor de 10 á 15 méetros, se abre paralelamente á la explanacion y del lado de los corrimientos una zanja *M N P Q* que corte todos los planos de resbalamiento y cuyo fondo esté sobre una capa impermeable del terreno; se rellena esta zanja de piedra en seco, y en su fondo se construye un desagüe *D D'* ó tajea tambien en seco, con salida ya al mismo desmonte ó mejor fuera de él al terraplen y alcantarilla mas próxima. Despues de todo lo expuesto, el objeto de esta zanja es bien conocido, recoge y dá salida al exterior á todas las aguas de filtracion, é impide

Fig. 29.

Fig. 28.

Fig. 28.

por consiguiente que estas penetren en el resto del macizo de tierras  $f' d' M P$ , que seco y saneado resiste entonces como una masa inerte, junto con el macizo de piedra, el empuje de las tierras del lado superior  $Q N$ , produciendo por tanto el efecto de un muro de contencion.

Fig. 28.

La cara  $M P$  de la zanja debe practicarse todo lo mas próxima posible á la vertical, y muy inclinada ó con el mayor talud la del lado opuesto  $N Q$ . Es bien conocido el objeto de esta diferencia, á saber, disminuir el empuje y la filtracion de las aguas sobre el lado inferior y aumentar la fuerza de contencion. Este procedimiento es generalmente de muy ventajosos resultados.

### 3.º Zanjas perpendiculares al desmante sobre el talud de este.

No siempre el terreno permite en buenas condiciones la ejecución de las zanjas antes indicadas, y en su lugar ó en el caso de no ser estas completamente eficaces, puede apelarse á otro medio de consolidacion. Consiste este en practicar sobre la cara del desmante zanjas  $f d—f' d' g h$  perpendiculares á dicha cara, de 2 á 3 metros lo menos de profundidad, distantes de 6 á 8 metros una de otra; se rellenan estas de piedra en seco, gruesa y bien arreglada, y se enlazan por su parte inferior por un muro tambien en seco, en cuyo fondo se practica un pequeño desagüe. Es muy conveniente enlazar estas zanjas por medio de otras de menor espesor, y trazadas ya en arcos de círculo  $r s t$ . ya en línea quebrada  $l k i$ ; el todo se enrasa y termina segun el talud ordinario de la cara del desmante. Este procedimiento produce generalmente muy buenos resultados y es uno de los mas expeditos y económicos. Las

Fig. 28.

zanjas sanean y secan el terreno en toda la profundidad á que alcanzan y aumentan el rozamiento, y por consiguiente ellas y los macizos de tierra intermedios oponen una gran resistencia al resbalamiento de los bancos superiores. Con este procedimiento hemos obtenido un resultado completo allí en donde habia sido deshecho un muro de contencion de un espesor considerable.

**81. Casos en que los movimientos del terreno son debidos á varias causas.** Puede suceder que el movimiento de las caras de un desmonte sea ocasionado á la vez por la rotura del equilibrio del macizo de tierras y por las alteraciones que la accion atmosférica produzca en la superficie del mismo, ó bien que una de estas causas venga á aumentar los efectos de la otra, en cuyo caso es bien claro que deberán aplicarse á la vez los dos procedimientos antes descritos, reducidos el primero á preservar la superficie de toda degradacion por los agentes atmosféricos, y el segundo á desviar la corriente de las aguas, ó evitar las filtraciones que facilitan el corrimiento de las capas del terreno.

**82. Movimiento de los terraplenes.** En estos pueden ocurrir dos casos de movimientos, uno en el mismo macizo del terraplen, otro en el terreno sobre que aquel insiste; no pocas veces tambien los dos movimientos se verifican simultáneamente.

**83. Desarreglos en el macizo del terraplen.** Cuando los terraplenes están formados por arcillas ó gredas, aunque descansan sobre terrenos firmes é incompresibles, si no se ha cuidado de envolverlos con una capa de buena tierra apisonada, las arcillas, contraidas

por la sequedad, reciben en su interior las aguas llovedizas que reblandecen y dilatan el macizo, le hacen perder su cohesion y hasta su resistencia al aplastamiento, y de aquí descensos y desarreglos continuos en toda la masa del terraplen. El único medio de evitar estas degradaciones es aquí, como en los desmontes, preservar el macizo de toda accion atmosférica, revistiéndole de una capa de tierra vegetal sobre que se extienden semillas de plantas ó yerbas de pronto crecimiento y desarrollo.

El revestimiento de empedrado es aquí menos oportuno que en los desmontes, por su mas fácil desarreglo, á menos de estar en la inmediacion ó en continuo contacto con las aguas.

Será tambien muy conveniente además del revestimiento y siembras, interponer en el macizo y perpendicularmente á su longitud algunas zanjas rellenas de piedra en seco que, así como en los desmontes, no solo facilitan la salida de las aguas, sino que aumentan el rozamiento, y obrando como contrafuertes se oponen á todo desarreglo y dislocacion del macizo.

**84. Movimiento del terreno sobre que insiste un terraplen.** Al tratar de la ejecucion de los terraplenes, hemos indicado las precauciones que deben tomarse cuando descansan sobre terrenos compresibles á fin de no aplastar y dislocar el terreno, cargando de repente ciertos puntos con una masa excesiva. Pero cuando estos terrenos compresibles están compuestos de capas inclinadas que pueden resbalar unas sobre otras, ocurre aquí, análogamente á lo dicho respecto á los desmontes, que el aumento de presion producido por

el peso del terraplen perturba y rompe el equilibrio en que se hallaba el terreno natural, y no pudiendo la parte inferior de este resistir esta sobrecarga, el terraplen y el terreno se corren en virtud de su gravedad, sobre el plano inclinado que presentan las capas del terreno, sobre todo cuando el agua que circula por las capas permeables viene á facilitar este movimiento. Es un hecho, repetimos, enteramente análogo al de los desmontes, pero producido por una causa contraria.

Se vé con frecuencia elevarse el terreno natural del lado inferior de los terraplenes, lo cual es una nueva prueba de que en esta perturbacion el terreno tiende por sí á tomar una nueva posicion de equilibrio.

#### 85. **Medios de corregir estos movimientos.**

Los muros de contencion son en general medios poco eficaces y muy costosos para oponerse á estos movimientos, y tambien nos parece poco adecuado el medio de sujetar las capas del terreno por estacada ó pilotage, porque los pilotes resisten así en muy malas condiciones, y parece muy difícil que puedan producir la completa inmovilidad del terreno.

El procedimiento que creemos mas fundado y que nos ha producido inmejorables resultados, en casos no poco difíciles, consiste en practicar del lado superior del terraplen una zanja  $Z Z'$  paralela á este y de toda la profundidad que permita su desagüe natural, procurando que llegue mas abajo de las capas permeables del terreno, y del lado opuesto ó inferior, y en toda la extension del movimiento otras varias zanjas  $M M'$  perpendiculares al terraplen, bastante profundas, separadas de 8 á 10

Fig. 30.

métros una de otra y practicadas en las partes mas bajas ó encañadas del terreno, con desagüe y salida natural hácia el pié de la ladera. Es conveniente enlazar estas zanjias por otras trasversales *s s s* en forma de ángulo saliente ó apuntado hácia la parte superior. Todas estas zanjias deben rellenarse de piedra en seco, sobre todo las del lado inferior, y practicar en su fondo una tagea ó caño tambien en seco por donde las aguas puedan correr libremente. Es asimismo conveniente depositar en forma de caballeros entre zanja y zanja las tierras extraidas de cada una de estas sobre todo hácia su extremo inferior. El fundamento de este procedimiento es bien conocido y explicable; la zanja superior *Z—Z'* evita las filtraciones y sana el terreno del *subsuelo* del terraplen; si algo de agua penetra todavia en este, sobre todo en el sentido longitudinal del terreno, tiene su salida en las zanjias *M—M'* completadas por las *s—s'*; el terreno queda así completamente saneado y seco, y además de disminuirse el rozamiento de los planos ó caras de resbalamiento, los macizos de piedra de las zanjias y los intermedios de tierra obran por su inercia como verdaderos muros de contencion, para oponerse al movimiento del terraplen y del terreno sobre que insiste.

No es en general posible prescribir las dimensiones y detalles de cada una de estas zanjias que podrán variar segun las condiciones especiales de cada caso.

Aquí, como en los desmontes, siempre que no sea económicamente posible la apertura de zanjias, pueden estas sustituirse en los trabajos de saneamiento por medio de pozos enlazados y reunidos á la profundidad conve-

niente por galerías subterráneas. Este medio puede ser y ha sido de muy útil aplicacion en muchos trabajos de esta clase.

Es casi inútil expresar que, cuando el movimiento del terraplen sea debido simultáneamente á las dos causas que quedan indicadas, deberán aplicarse tambien á la vez los dos medios ó procedimientos que quedan descritos.

## CAPÍTULO QUINTO.

### SUBTERRÁNEOS.

86. **Causas que los motivan.** Las condiciones especiales del trazado de ciertas vías de comunicacion, como los canales y los caminos de hierro, no permiten en muchos casos, en los terrenos accidentados, el paso en desmante de las estribaciones y divisorias, á causa de la considerable elevacion de estas sobre la rasante de la via, y se hace preciso practicar un paso subterráneo. Sin establecer un principio fijo, puede sin embargo observarse, que cuando los desmontes tienen una cota ó altura de 16 á 20 métrors en el eje, puede ya en muchos casos ser preferible la ejecucion de un subterráneo ó túnel.

La eleccion entre desmante ó túnel depende además de otras muchas causas ó circunstancias locales, como el

tiempo ó duracion de la obra, el empleo ó destino de los productos de la excavacion, el coste de las expropiaciones, la necesidad ó conveniencia de poner la via al abrigo de la intemperie, la naturaleza del terreno, las corrientes de agua y filtraciones, la proximidad de buenas canteras, y otras condiciones que favorecen ó dificultan la ejecucion de los trabajos. Todas estas y otras circunstancias deberán ser en cada caso objeto de un estudio comparativo para poder optar por la obra de mas conveniente y económica ejecucion.

87. **Seccion ó forma de los túneles.** Esta depende naturalmente de la clase de via ú objeto del subterráneo; contrayéndonos á los caminos de hierro, la figura 31 indica la forma adoptada oficialmente en España para los caminos de dos vias. Esta seccion *peraltada* y compuesta de arcos de círculo, si bien es la mas adecuada á las condiciones de resistencia, ofrece no pequeños inconvenientes en la construccion y para el paso del material móvil, por lo que es generalmente preferida la seccion semicircular ó de medio punto con estribos verticales ó en talud segun las circunstancias del terreno.

Fig. 31.

88. **Marcha de los trabajos.—Indicaciones generales.** La construccion de los trabajos subterráneos difiere esencialmente de los de *á cielo abierto* por la *sujecion* con que se ejecutan y las muchas dificultades y hasta riesgos con que el obrero tiene que luchar; por cuyas razones estas obras son siempre mas lentas y costosas.

Aunque sea difícil establecer reglas fijas para la ejecucion de esta clase de trabajos, que depende en gran

parte de la naturaleza del terreno, y de la habilidad del que los dirige y ejecuta, haremos sin embargo algunas indicaciones sobre la marcha mas generalmente seguida, y que puede conducir á mejores resultados.

89. **Condiciones del terreno.—Terrenos flojos.** El terreno en que se perfora un túnel puede ser: poco resistente, que exija *apuntalamiento provisional y revestimiento definitivo de fábrica; suficientemente duro* para sostenerse sin apuntalamiento, pero que exige revestimiento de fábrica y por último *bastante duro* y que no necesite ni apuntalamiento para sostenerse temporalmente, ni revestimiento definitivo de cantería. En todo lo que va á seguir nos referiremos especialmente al primer caso, que es el mas frecuente y difícil, y porque los otros dos pueden considerarse como casos particulares del primero, á los que es todo aplicable con la supresion de aquellos trabajos que hacen innecesarios las condiciones del terreno.

90. **Puntos de ataque.—Galerías.—Pozos.** Por lo mismo que la construccion de un túnel es generalmente difícil y penosa, debe conducirse con toda la actividad posible, multiplicando los puntos del trabajo no solo por las dos bocas ó cabezas del túnel, sino practicando pozos verticales que permitan puntos de ataque intermedios.

A partir de cada cabeza del túnel se practica, segun el eje del trazado, una galería de seccion rectangular y de dimensiones suficientes para el paso cómodo de los obreros y extraccion de materiales, esto es de 2 á 3 metros de ancho por otro tanto de alto, y lo mismo se prac-

tica á uno y otro lado, á partir de cada uno de los pozos que se vayan ejecutando. El fondo ó nivel inferior de esta galería se situa generalmente de 1 métró á 1,20 métrós sobre el nivel del arranque del arco.

**91. Revestimiento de la galería.** El terreno que atraviesa la galería se sostiene por medio de un revestimiento de madera formado por cuadros ó bastidores situados de 1 á 2 métrós de distancia; sobre el puente ó cabezal del bastidor se colocan los tablonés que contienen el cielo del terreno, así como en caso necesario otros detrás de los postes para sostener las paredes ó costados.

**92. Ensanche de la galería.** Cuando los túneles no son muy largos, no se emprende generalmente ningun otro trabajo hasta concluir la perforacion de la galería de un extremo al otro, lo cual es muy conveniente para la salida de las aguas, la ventilacion, introduccion de materiales, comunicacion con las explanaciones contiguas á las bocas del túnel y seguridad en la direccion del trazado. En los túneles de mucha longitud, en que se practican pozos intermedios, se termina generalmente la porcion de galería comprendida entre la boca y el primer pozo ó entre cada dos de estos antes de proceder á su ensanche. Este se verifica primero en sentido vertical, quitando uno de los bastidores al revestimiento y los tablonés que sobre él se apoyan, y excavando hasta una altura de 20 á 30 centímetros mayor que el trasdos de la bóveda y sosteniendo el cielo de la excavacion por medio de pies derechos y largueros segun se indica en las figuras.

Se continúa despues lateralmente la excavacion segun

Figs. 32  
y 33.

Figs. 34  
y 35.

Figs. 36  
y 37.

una curva paralela al trasdos de la bóveda hasta llegar al nivel del suelo de la galería principal, conteniendo el terreno por medio de una série de puntales en forma de abanico.

**93. Colocacion de las cimbras.** Cuando, siguiendo la marcha anteriormente indicada, se ha practicado el ensanche en una longitud de 10 á 15 métrós, se procede á la colocacion y asiento de las cimbras que han de servir para la ejecucion de la bóveda. Esta se construye ordinariamente por porciones ó *anillos* de 5 á 6 métrós de longitud, sostenidos, segun los casos, por 3 á 4 formas ó cuchillos, segun la mayor ó menor presion que el terreno ejerce. Las cimbras deben ser de construccion sólida, pero sencilla, á fin de que puedan armarse y desarmarse con la mayor facilidad y ser transportadas luego en piezas sueltas ó mejor en bastidores formados de varias piezas. Segun la distancia que media entre dos abanicos consecutivos, se colocan uno ó dos cuchillos; y sobre el trasdos de estos se apoyan unos puntaletes que sostienen el terreno y permiten por consiguiente el separar totalmente el apuntalamiento de abanicos.

Figs. 38  
y 39.

Antes de colocar las cimbras debe cuidarse de fijar bien sobre el terreno la línea media ó eje del arco á fin de hacer coincidir con este el punto medio de cada cuchillo de la cimbra.

**94. Construccion de la bóveda.** Cuando una porcion de cimbra, de la longitud antes indicada, está colocada, se procede á la ejecucion de la bóveda, sentando provisionalmente su arranque sobre tablonés apoya-

dos en las cuñas *a* y *b*, y continuando la construcción hasta el vértice ó parte mas alta de la bóveda. Durante este trabajo de revestimiento definitivo, otra cuadrilla de operarios se ocupa, inmediatamente delante, en la colocación de nuevas cimbras.

**95. Construcción de los estribos ó pies derechos.** Cuando toda la bóveda, ó una porción de ella, está ejecutada, se procede á la construcción de los pies derechos. Para esto se practica una excavación vertical de una longitud variable de 4 á 10 metros según la resistencia del terreno, y que se baja hasta el nivel de los carriles, sosteniendo el tirante de las cimbras por medio de uno ó mas puntales de madera *d* y *e*. Cuando estos están colocados y la cimbra bien apoyada, se desmonta el resto del terreno correspondiente al emplazamiento del pié derecho y se construye este como un muro ordinario, cuidando de guiar, por medio de cerchas, la ejecución de la parte curva que corresponde yá al arco de la bóveda, y de enlazarla bien con esta.

Figs. 40  
y 41.

Si el terreno es medianamente consistente no es necesario conservar la cimbra, ni por consiguiente sostener el tirante de esta para construir los estribos. Se descimbra el anillo, y se ejecutan los estribos algunos días después, cuando los morteros han adquirido bastante consistencia; cuidando de sostener el arranque de la bóveda con una ó dos soleras y sus correspondientes puntales. En este caso tampoco es indispensable, aunque sí conveniente, el uso de los tablonés y cuñas, para el arranque de la bóveda, que puede sentarse directamente sobre el terreno: debe fijarse bien la atención en el buen

enlace de la parte superior del estribo con el arranque de la bóveda. Esta parte ofrece alguna dificultad material para el trabajo de los operarios, y no pocas veces es la causa del asiento y grietas que se observan en las bóvedas de los túneles.

Ejecutando del mismo modo el estribo ó pié derecho del lado opuesto, queda terminado el revestimiento definitivo del túnel, restando solo el desmonte del núcleo central, que se ejecuta ya en las mejores condiciones y como si fuera á cielo abierto.

96. **Observaciones acerca de esta marcha de los trabajos.** Reflexionando acerca de los trabajos que lijeramente quedan indicados, se observa que estos marchan ó pueden marchar de un modo escalonado y de avance sucesivo en el orden siguiente:

Una brigada de operarios en el ataque de la galería de avance.

Otra detrás en el ensanche de esta galería y su apuntalamiento.

Otra en la colocacion de las cimbras.

Otra en el revestimiento de la bóveda.

Otra en la ejecucion de los pies derechos.

Otra en el desmonte del cubo de tierras central.

Organizados de este modo y en este orden los trabajos, pueden estos ser susceptibles de un grande adelanto y desarrollo.

Esta marcha, llamada de *galería alta*, es la generalmente seguida, pero ofrece graves inconvenientes cuando hay abundantes filtraciones y la rasante está en pendiente continua de uno á otro extremo del túnel; pues entonces

hasta que la galería está completamente comunicada de un lado á otro, los agotamientos son muy dispendiosos y ofrecen en algunos casos una dificultad séria.

Tiene este procedimiento además el inconveniente de no poner en comunicacion expedita las bocas del túnel con las explanaciones contiguas, y por consiguiente el de no poder hacer avanzar debidamente estas explanaciones, y el de dificultar la entrada de los materiales por las bocas del túnel.

**97. Ejecucion de los trabajos por galería baja.** Para evitar los inconvenientes indicados, se ha seguido en algunos casos, y es á nuestro sentir preferible, un procedimiento distinto que consiste en una *galería baja*, cuyo suelo está al nivel de la rasante de la explanacion, y de dimensiones suficientes para el paso de los wagones ordinarios empleados en el trasporte de tierras. En medio de esta galería se practica una reguera ó cuneta, recubierta de tabloncs para la reunion y salida de las aguas.

Cuando esta galería baja está terminada, se empieza, por los extremos del túnel ó por los pozos, el ensanche desde el cielo de esta galería hasta el trasdos de la bóveda que luego se continúa lateralmente y se sostiene por un apuntalamiento en abanico, como en el caso de la galería alta, cuya misma marcha se sigue despues para la colocacion de las cimbras y construccion de la bóveda.

La ejecucion de los pies derechos puede hacerse lo mismo y aun con mayor facilidad, si la excavacion se ataca de frente, por la salida mas expedita de las aguas.

Si la ejecucion de los desmontes de entrada y salida

Fig. 42.

Fig. 43.

del túnel fuese larga, y las aguas abundantes, se practicara en el desmante de abajo una galería, en prolongacion de la del subterráneo, que serviría para el paso de las aguas y de los wagones, y tambien para facilitar el desmante de la cortadura.

Resumiendo las ventajas é inconvenientes de los dos procedimientos, se vé que el de galería baja permite mas fácil salida para las aguas, ejecutar la excavacion con rapidez y economía, utilizar casi todo el desmante en los terraplenes exteriores, facilitar la entrada de materiales; y como consecuencia de estas ventajas el disminuir el número de pozos. El principal y acaso único inconveniente es, en el caso de terrenos poco resistentes, el necesitar un apuntalamiento mas fuerte y de piezas de madera de alguna mas longitud.

98. **Terrenos duros.** Cuando los terrenos son bastante resistentes, que no necesitan apuntalamiento mientras se construye el revestimiento de fábrica, ó suficientemente duros para sostenerse sin revestimiento, la marcha de los trabajos que queda indicada, se simplifica notablemente, porque se evitan todos los relativos en el primer caso á solo el apuntalamiento, y en el segundo los que exigen el apuntalamiento y el revestimiento definitivo. El procedimiento por medio de la galería baja no es en uno y otro caso menos conveniente y preferible por las razones antes apuntadas.

99. **Pozos.—Su objeto.** Cuando la longitud de los túneles es bastante considerable para retardar la ejecucion de los trabajos, si estos se emprendiesen solo por las bocas del túnel, se practican, segun el eje de este, po-

zos verticales, á la distancia conveniente segun el grado de actividad que se trate de dar á las obras. El objeto de estos pozos es proporcionar nuevos puntos de ataque, facilitando la extraccion de los productos del desmonte, la introduccion de materiales, la ventilacion y agotamientos.

**100. Situacion, forma y profundidad de los pozos.** Los pozos se sitúan en el eje del subterráneo, ó fuera á una pequeña distancia de él. En el primer caso el pozo cae sobre la galería central ó de ataque, y en el segundo es necesario una galería trasversal para comunicar el fondo del pozo con la galería principal; el primer medio es generalmente preferido, porque facilita la extraccion é introduccion de los materiales por medio del camino de hierro colocado en la galería principal, lo que es difícil cuando los pozos están al costado, porque es preciso cambiar la direccion de la via segun curvas de pequeño radio, ó emplear plataformas giratorias que tienen el inconveniente de embarazar y retardar el trabajo. De todos modos, los pozos no deben situarse en las partes bajas del terreno, ni en puntos accesibles á las corrientes de aguas que se reúnen en su superficie.

Como medida de precaucion exigida por la seguridad de los operarios, es conveniente separar cada pozo de la galería por medio de un suelo de madera que permita la subida y bajada de los materiales, sin molestia ni exposicion para los operarios que están debajo.

La forma ó seccion de cada pozo es generalmente rectangular de 2 á 3 métrós de lado, dimensiones suficientes para el ascenso y descenso de las cajas ó cubos destinados á los materiales, y aun para los mismos ope-

rarios. Con los primeros desmontes, la boca de cada pozo se eleva unos 2 métrros sobre el terreno natural, á fin de alejar las aguas llovedizas, y facilitar la descarga de los materiales extraídos. En la parte superior del pozo se construye además un tinglado ó cobertizo de madera, bajo el que se colocan los tornos y malacates, y puedan hacerse al abrigo de la intemperie todas las maniobras que el servicio del pozo exige, así en los materiales como en el personal de obreros. Se profundiza cada pozo hasta el nivel de la rasante; y si se encuentran aguas, se baja el fondo de aquel hasta 1,50 á 2 métrros bajo dicho nivel.

Cuando la perforacion del pozo ha llegado á la rasante, se entra en galería á uno y otro lado segun el eje de la via, en la forma que se ha expuesto al tratar de esta parte de la construccion del túnel.

**101. Revestimiento de los pozos.** A no ser en terrenos muy consistentes, los pozos se revisten generalmente de madera; por cuya razon se adopta entonces, como mas apropiada, la forma ó seccion rectangular. El revestimiento consiste en una serie de cuadros ó bastidores de madera, enlazados verticalmente en sus ángulos por medio de pies derechos, y forrados por tablonés metidos entre cada dos bastidores y el terreno. Colocado un bastidor se profundiza el pozo segun la consistencia del terreno hasta 1,50 á 2 métrros y se procede á la colocacion del segundo bastidor y del forro ó tablonaje, continuándose en este órden á medida que se va bajando.

Como medida de precaucion y seguridad para los operarios, es muy conveniente dividir el pozo en dos partes iguales, por medio de un entramado de madera,

destinando una para el ascenso de cajas cargadas ó de los operarios y otra al descenso de las cajas ó cubos vacíos, operarios etc. De este modo se evitan las desgracias que pueden ocurrir y han ocurrido en medio de la altura al encuentro de unos y otros.

Algunas veces se han revestido los pozos de fábrica de ladrillo ó de cantería, dándoles entonces la forma ó seccion circular; pero este medio es generalmente poco empleado por ser mas dispendioso y hasta sin objeto, despues que la experiencia ha hecho ver que los pozos son mas perjudiciales que útiles, una vez terminado el túnel.

102. **Ventanas ó galerías laterales.** Hay casos como en las estribaciones ó contrafuertes de gran pendiente trasversal, y en general en los terrenos en ladera, en que es mas conveniente que los pozos, la perforacion de galerías trasversales que comuniquen la general del túnel con la parte exterior del terreno. Estas galerías, á que suele darse el nombre de *ventanas*, son por regla general muy preferibles á los pozos, por el mayor servicio y facilidades que prestan para la salida natural de las aguas, extraccion de los desmontes, surtido de materiales y entrada y salida de operarios; por todo lo que pueden casi considerarse como una nueva boca del túnel.

Si se tiene en cuenta la diferencia de coste entre los trasportes horizontales y verticales, los gastos de agotamiento, los retrasos y pérdidas de tiempo que originan las maniobras por los pozos y la mayor dificultad que ofrece la ejecucion de estos respecto á las galerías, se comprende que estas sean mucho mas convenientes,

aunque su longitud sea bastante mayor que la de los pozos, lo cual deberá apreciarse además segun las condiciones especiales de la localidad.

Estas galerías laterales se apuntalan en caso necesario con cuadros ó bastidores de madera de la misma manera que se ha indicado para la general, y si la longitud del túnel ú otras circunstancias locales aconsejasen su conservacion aun despues de concluidos los trabajos, seria necesario hacer en dichas galerías un revestimiento permanente de fábrica de cantería ó ladrillo.

103. **Desmontes.** Segun el grado de consistencia del terreno se ejecuta en los túneles la excavacion del terreno por los mismos medios que á cielo abierto, esto es, con la pala, el azadon, el pico, la barra, y por último con el empleo de la pólvora en barrenos. Las precauciones de seguridad deben naturalmente ser mucho mayores particularmente en los trabajos en galería; la remoción del terreno debe hacerse en pequeñas porciones, á fin de no provocar desprendimientos ó roturas que puedan ocasionar accidentes funestos; cuidando mucho de no avanzar demasiado en las galerías y ensanches, sin asegurarse bien de la firmeza del terreno ó de estar bien apuntalado. Por estos motivos, y á fin de evitar las proyecciones excesivas de las rocas, y efectos no menos perjudiciales del mucho humo, los barrenos se reducen á pequeños *tacos* de dimensiones y carga mucho menores que los de á cielo abierto. Apesar de esto debe cuidarse mucho de que los obreros se pongan al abrigo de las explosiones, bien alejándose en la galería ó mejor retirándose lateralmente en pequeñas cámaras practicadas

en los costados de la galería y al lado de los marcos ó cuadros de la entibacion.

Cuando en la perforacion de los pozos se hace uso de la pólvora, es no menos indispensable la mayor precaucion en la explosion de los barrenos, y, como no es posible disponer de cámaras ó puntos de abrigo á todas las alturas, es necesario muchas veces hacer subir al obrero, despues que ha dado fuego al barreno, hasta una altura de 15 ó 20 métrros, no solo por evitar las proyecciones de la explosion, sino los graves inconvenientes que el humo ofrece para la respiracion hasta que se renueva el aire y pueda continuarse el trabajo.

#### 104. **Continuos reconocimientos del terreno.**

Al verificarse el ensanche para la bóveda ó cielo del túnel, son necesarios continuos reconocimientos del terreno, no solo para poder apreciar su grado de resistencia y la mayor ó menor urgencia de un apuntalamiento provisional, sino la conveniencia ó necesidad de su revestimiento definitivo. A este efecto conviene tener muy presente:

1.º Que hay tierras, como las arcillas y gredas que, aunque muy compactas y duras en el momento de su extraccion, se reblandecen y descomponen despues que quedan expuestas á la accion atmosférica.

2.º Que un efecto análogo se verifica en muchas rocas, particularmente calizas, aunque para su extraccion haya sido necesario el empleo de la pólvora.

3.º Que hay trozos de roca que, aunque de suficiente dureza para no necesitar revestimiento, han quedado resentidos por la accion explosiva del barreno, y es necesario acabar de desprenderlos por completo. Este estado

de alguna porcion de la roca se advierte por el sonido sordo que produce el golpe de una maza ó martillo de hierro, muy diferente del agudo y metálico que se observa en las partes compactas de la roca.

4.º Que aun en terrenos firmes, la extraccion de los materiales comprendidos en la seccion del túnel puede haber dejado sin apoyo algunos bancos naturales del terreno, ó caras de rotura de estos, y producirse en consecuencia desprendimientos, sobre todo si estos pueden ser favorecidos por corrientes subterráneas de agua, que hayan podido quedar igualmente al descubierto: por esta causa es necesario estudiar en cada caso muy detenidamente la estructura geológica del terreno, direccion é inclinacion de los lechos de estratificacion, si se trata de esta clase de rocas y sobre todo si presentan fallas, grietas ú otros signos marcados de desunion.

5.º Que en caso de dudas acerca de la consistencia del terreno, debe siempre adoptarse por prudente precaucion la resolucion mas adecuada para alejar toda sospecha y motivo de peligro; la completa seguridad es la primera condicion que debe llenarse en esta clase de trabajos, en que, apesar de todas estas previsiones, son desgraciadamente muy frecuentes tan funestos accidentes.

La perforacion de los pozos permite además un exámen y conocimiento de la naturaleza y disposicion del terreno á diferentes profundidades, de los manantiales y corrientes de agua, y en fin, de las circunstancias mas importantes para completar el estudio que, segun se ha indicado, puede y debe hacerse al practicarse las galerias y su ensanche.

105. **Trasporte del producto de los desmontes.** El transporte se verifica en los túneles, ú horizontalmente por las galerías hasta las bocas ó entradas del túnel, ó verticalmente por los pozos. En el primer caso, el medio mas generalmente empleado es el de pequeños wagoes movidos á brazo sobre una via de hierro sentada á lo largo de la galería; los demás medios de transporte empleados en las excavaciones al aire libre, tienen difícil aplicacion dentro de un túnel, por el reducido espacio en que se ejecutan los trabajos.

La elevacion vertical por los pozos se verifica por medio de tornos colocados en su parte superior, y movidos á brazo, ó por medio de grandes tornos de eje vertical llamados *malacates*, movidos por una, dos ó mas caballerías, y hasta por máquinas de vapor, segun la profundidad de cada pozo, el grado de actividad de los trabajos y otras circunstancias locales.

Fig. 46.

Sea cualquiera la clase de tornos y su maniobra, los productos del desmonte se elevan y extraen en espuestas ó mas generalmente en cubos de la forma de un cono truncado; arrollándose por un lado la cuerda del torno, y desarrollándose por otro, se eleva un cubo cargado al mismo tiempo que descende otro vacío, y este llega al fondo del pozo, y se reemplaza por otro cargado, al mismo tiempo que el primero se recoge en lo alto ó boca y se sustituye por otro vacío, para empezar de nuevo la maniobra.

Estos cubos se conducen al fondo del pozo sobre mesetas montadas en cuatro ruedas y movidas como un wagon sobre una via de hierro; en lo alto del pozo el

cubo se recoge por los operarios del torno, y se descarga sobre otro wagon ó carro segun el modo y distancia del transporte. Este medio es generalmente mas conveniente que el de subir las tierras en pequeños camiones ó wagones, en que el peso muerto es mucho mayor.

Estas cajas ó cubos tienen generalmente una capacidad de 0,05 méetros cúbicos, y segun el resultado de varias observaciones, con un torno servido por cuatro hombres se elevan, en 10 horas de trabajo á una altura de 30 méetros, 300 cubos cargados, ó sea un volúmen de 15 méetros cúbicos, cuyo número se eleva de 40 á 50 méetros cúbicos en el mismo tiempo y á la misma altura con un malacate servido por dos caballos.

Para la debida apreciacion de estos resultados, y cálculo de todo lo relativo á estos desmontes y transportes, debe observarse el aumento de volúmen que experimentan los productos del desmonte del túnel; este aumento es muy variable segun la clase de terreno, pero por término medio puede fijarse en 1,60, esto es, que cada méetro cúbico de tierras ó rocas se convierte despues en 1,60 méetros cúbicos, con lo que los números antes citados de 15 y 50 se reducen próximamente á 9 y 32.

#### 106. **Servicio de materiales y operarios.**

El surtido de materiales y la entrada y salida de las brigadas de trabajadores, se verifica igualmente por las bocas del túnel, ó por los pozos. El primer medio es naturalmente mucho mas expedito y económico, pero el segundo es indispensable cuando no está establecida la comunicacion de las galerías, ó estas y los ensanches están ocupados ó interrumpidas con los trabajos de otras

secciones, como sucede en los subterráneos de una longitud algo notable.

107. **Agotamientos.** La abundancia de aguas dentro de un subterráneo es una de las causas que mas contrarían y perturban la marcha de los trabajos, aumentando además notablemente el coste de estos. Las galerías bajas con pendiente hácia las bocas del túnel, y las transversales ó *ventanas* que permiten la salida directa del agua del interior son, como ya antes se ha indicado, la disposicion mas apropiada para atenuar los efectos de las filtraciones, y los gastos que son consiguientes. Pero en muchos casos la rasante del trazado, y las condiciones especiales del terreno, no permiten adoptar aquella marcha y es necesario, hasta que se establezca la comunicacion completa de uno á otro extremo del subterráneo, agotar el agua que á este efecto se procura reunir en el fondo de los pozos y en la parte mas avanzada de las galerías en pendiente.

El agua se extrae por medio de bombas movidas por operarios que se relevan con mas ó menos frecuencia segun la intensidad del trabajo, ó por medio de los mismos malacates que se emplean para la extraccion de los desmontes, ó por un malacate especial movido por dos ó mas caballos, ó en fin con el empleo de una máquina de vapor. La eleccion de uno ú otro de estos diferentes medios depende de la importancia de los agotamientos, de la de las mismas obras y de las circunstancias y condiciones especiales de la localidad.

108. **Ventilacion.** Otra de las causas que entorpecen y dificultan la marcha de los trabajos, es la falta

aire respirable en las galerías, hasta tanto que se establece la comunicacion de estas con las bocas del túnel, ó al menos con dos pozos contiguos para conseguir una corriente continua y la consiguiente renovacion del aire interior. A las causas naturales que pueden viciar el aire atmosférico se agrega la misma respiracion de los operarios, la combustion de las luces y casi siempre la del humo de la pólvora producido por la explosion de los barrenos que, no solo ofende á la respiracion, sino que no pocas veces impide la vista de todo objeto, y hace por tanto imposible todo trabajo.

En estos casos es indispensable renovar el aire viciado, por medio de *ventiladores* que aspiran aquel y establecen la corriente del aire exterior; los ventiladores ordinarios consisten en tubos metálicos, ó mejor de cuero ó tela, en los que se produce una corriente continua del aire por el movimiento veloz de unas ruedas de paletas, colocadas en su extremidad, y movidas á mano ó por otro medio cualquiera.

109. **Materiales para las mamposterías.** Los trabajos subterráneos difieren esencialmente, como ya se ha indicado, de los de á cielo abierto por las muchas y variadas dificultades y condiciones de sujecion que en ellos se presentan. En el revestimiento definitivo de fábrica no es, por tanto, conveniente, ni casi posible, el empleo de materiales voluminosos y pesados que hacen muy difícil su manejo y asiento; y por esto se emplean con preferencia en la construccion de estribos y bóvedas el ladrillo, el sillarejo ó la mampostería ordinaria segun las circunstancias de cada localidad. Los revesti-

mientos de sillería se emplean casi únicamente en los frentes de las bocas y porciones de 10 á 15 metros próximas á estas.

**110. Mezclas y morteros hidráulicos.** El uso de los morteros hidráulicos, en mas ó menos grado, es casi siempre indispensable en las mamposterías de un subterráneo, no solo por el estado de humedad en que casi constantemente se halla su interior, sino porque el empleo de materiales de pequeño tamaño, y la dificultad práctica de su buen asiento y mano de obra, hacen mas necesario un medio que facilite su enlace y cohesion, y aumente por consiguiente la estabilidad y resistencia del revestimiento.

**111. Mano de obra de las mamposterías.** Si en todos los trabajos la perfeccion en la mano de obra es una condicion del mayor interés, lo es mas aun en las mamposterías de los subterráneos, por la importancia de su objeto y las funestas consecuencias de cualquier imperfeccion ó descuido; pero como precisamente en estos trabajos es mucho mas difícil conseguir de los operarios el esmero debido en la manipulacion y asiento de los materiales, se comprende la doble necesidad de una incesante y esquisita vigilancia por parte de los encargados de inspeccionar la marcha de las obras, de los continuos reconocimientos de estas, y del exámen detenido de las mezclas, su manipulacion y del asiento y enlace de todas las diferentes partes de cada macizo de fábrica.

**112. Espesores de la bóveda y estribos.** Por regla general se dá á la bóveda y estribos un espesor de 80 á 90 centímetros, salvos los casos en que las presiones

excesivas del terreno motivan mayores dimensiones, ó en los que al contrario su firmeza permite reducir aquel espesor á 40 ó 50 centímetros, y construir un revestimiento, cuyo principal objeto es poner el terreno á cubierto de la acción atmosférica, y resistir á los pequeños desprendimientos que ocasiona la natural desigualdad y falta de cohesión de la superficie del desmonte.

113. **Trasdosado del revestimiento.** A medida del avance del revestimiento, es muy necesario rellenar y retacar bien todo el hueco, que queda entre el trasdos de la bóveda y el cielo de la excavación, así como en la parte posterior de los estribos. Ordinariamente se hace esto con piedra en seco, pero en los puntos en que son de temer las presiones del terreno, es muy conveniente el empleo de materias algo elásticas, como enfagnados ó ramaje bien comprimido.

114. **Descimbramiento.** Como, según queda indicado, la fábrica de revestimiento se construye generalmente con materiales de pequeño tamaño, y por tanto con abundancia de mortero, el descimbramiento de cada anillo, de 5 á 6 metros de longitud, no debe verificarse sino después que las mamposterías hayan adquirido el suficiente grado de consistencia; lo que ordinariamente sucede de 10 á 15 días después de su terminación, según el estado de humedad del terreno y la mayor ó menor hidráulica de los morteros.

Como por término medio este tiempo es poco más del necesario para construir un anillo, se deduce la conveniencia de no descimbrar uno hasta que esté terminado el siguiente, cuidando además de dejar cimbrada la extre-

midad, á fin de evitar las dislocaciones y movimientos que, sin esta precaucion, se producirian en la union de cada dos anillos consecutivos.

Para facilitar el descimbramiento, y utilizar lo mas posible cada cimbra ó sus diferentes piezas, es conveniente sentar esta sobre largueros y dobles cuñas, y hacer un uso casi exclusivo de pasadores de rosca y tuerca para los enlaces y sujecion de las piezas de cada cuchillo.

**115. Seccion ó forma de los estribos.** El paramento exterior de estos se hace generalmente vertical: en los caminos de hierro es la disposicion mas económica y apropiada al movimiento. Pero, cuando el empuje del terreno lo exige, puede darse al paramento exterior un talud de  $\frac{1}{6}$  á  $\frac{1}{10}$ , y en algunos casos la movilidad del suelo, debida á las presiones superiores, hace indispensable el enlace de los dos estribos por medio de una solera general en forma de bóveda invertida. El paramento de los estribos puede tambien disponerse en arco de círculo, pero en general debe preferirse la forma plana por la mayor facilidad en la ejecucion.

**116. Trabajos de saneamiento.** Cuando las filtraciones son abundantes, ya constantemente, ya solo en períodos del año, deben temerse sus efectos cuando los revestimientos estén concluidos, y deben por tanto procurarse los medios de facilitar la salida del agua al exterior. Para esto, análogamente á lo expuesto al tratar de los desmontes, deben abrirse zanjas ó galerías trasversales á la direccion del túnel, y por la parte en que las filtraciones son mas sensibles; estas galerías ó zanjas, rellenas de piedra en seco, conducen las aguas al exterior

de los estribos, por medio de una pequeña tajea practicada en el espesor de los mismos. Además de estos trabajos especiales es siempre muy conveniente practicar, así en la bóveda como en los estribos, á distancias alternadas y á diferentes alturas, pequeñas aberturas ó barbacanas que permitan la salida á las aguas de las filtraciones, y para preservar las mamposterías, lo mejor posible, de la acción de la humedad, es asimismo muy oportuno que esta salida se verifique por medio de tubos metálicos empotrados en la mampostería, y convenientemente dispuestos por el trasdos de la bóveda para dar entrada á las aguas, de una manera análoga á la que se emplea en las bóvedas de los grandes puentes.

117. **Alumbrado.** Si se exceptúa una pequeña distancia, á partir de cada boca del túnel, todos los demás trabajos de este se verifican necesariamente con luz artificial. El medio generalmente adoptado como mas económico, expedito y mas exento de intervenciones, consiste en que cada operario esté provisto de su candileja que enciende y cuida por su cuenta, abonándole al efecto un aumento de jornal que por término medio es de 1 á 1,50 reales por cada 8 ó 10 horas de trabajo, durante las cuales el consumo medio de aceite es de 0,25 de kilogramo.

118. **Relvo de las brigadas de operarios.** Los trabajos subterráneos, así por la actividad que casi siempre es necesaria en su ejecución, como por hacerse esta con luz artificial, se construyen ordinariamente sin interrupcion, esto es, indistintamente de dia y de noche. Esta circunstancia obliga á duplicar y aun á triplicar el número de operarios, y á los consiguientes relevos de

las brigadas de estos por períodos de 8 á 10 horas. Los relevos ocasionan alguna pérdida de tiempo, sobre todo cuando se verifican por los pozos, por lo que, y lo que afecta además á la seguridad de los operarios, debe cuidarse de que se verifiquen con el mayor orden y regularidad.

**119. Cabezas ó frentes de los túneles.** Los frentes de los túneles exigen un revestimiento mas fuerte y esmerado, por la doble razon del mayor empuje de las tierras, y la de su decoracion y buen efecto á la vista.

Bajo el primer concepto, el revestimiento de frente debe resistir como un muro de contencion del desmonte, y sus caras necesitan el espesor necesario segun la clase del terreno.

Fig. 47.

Bajo el segundo, la decoracion debe ser severa y en armonía con el objeto y naturaleza de la obra, y por regla general la disposicion y aparejo del arco de frente se asemeja al de un puente con frentes de sillería y sus pilastras ó contrafuertes correspondientes al grueso ó espesor de la bóveda. El resto del muro de frente se construye generalmente de mampostería concertada, dando á todo el paramento un talud de  $\frac{1}{6}$  á  $\frac{1}{10}$ .

Segun la disposicion de las caras del desmonte, suele á veces terminarse el revestimiento por muros en ala, como los de los puentes; pero esta disposicion es por regla general mas costosa y menos segura.

De todos modos la parte del desmonte superior á la imposta de coronacion del arco, debe terminarse con el talud correspondiente, á fin de evitar el empuje sobre el frente; cuidando además de consolidarla con encachados

ú otro medio cualquiera, y dar salida al exterior á las aguas de dicha parte del desmonte para impedir su filtracion en las cabezas y muros de frente del túnel. Aunque este no exija en general revestimiento, es casi siempre necesario, ó al menos muy conveniente, revestir los frentes y 15 á 20 métrós mas al interior, porque estas partes, aunque sean de rocas resistentes, están mas expuestas á la accion atmosférica y se descomponen por tanto con mas facilidad que las del interior del túnel. La falta de revestimiento en los frentes produce además un efecto poco agradable á la vista.

**120. Coste de los trabajos subterráneos.**

Depende este de muchas circunstancias y es por tanto muy variable; pero en general los túneles mas económicos son los que se ejecutan en terrenos secos y duros, que no necesitan apuntalamiento provisional, ni revestimiento definitivo; contrayéndonos al caso de un ferrocarril de doble via, la seccion media es próximamente de 57 métrós cuadrados y su coste medio por métró lineal, salvo en los túneles de mucha longitud y pozos muy numerosos y profundos, puede valuarse en cuatro mil reales ó sea en 70 rs. próximamente cada métró cúbico de excavacion.

Este coste aumenta notablemente en terrenos flojos con filtraciones mas ó menos abundantes, y que por tanto exigen gastos considerables de agotamiento, madera para el blindage y cimbras, y el revestimiento de cantería ó ladrillo. El coste medio por métró lineal, para un ferrocarril de dos vias, no puede fijarse para este caso en nuestro pais por regla general en menos de 8 á 10.000 rs.



seu importantes de menor a mayor y con arreglo a los  
 los siguientes en las siguientes clasificaciones de las  
 Caños y cajas hasta 1 metro de luz ó claro.  
 Alcantarillas de 1 a 3 metros de luz ó claro.  
 Puentes de 3 a 8 metros de luz.  
 Puentes de 8 en adelante.

### CAPÍTULO SEXTO.

#### OBRAS DE FÁBRICA.

121. **Clase de obras.** En la construcción de una  
 vía, son indispensables las obras llamadas de *fábrica* ó  
 de *arte*, ya con objeto de dar paso á las aguas, ya para  
 cruzamiento de otras vías, ó ya en fin para atender á las  
 servidumbres exigidas por la agricultura ú otras atencio-  
 nes locales.

Al tratar de esta clase de obras, nuestro objeto es  
 solo el de hacer aquellas indicaciones que tienen relacion  
 con las condiciones generales del terreno, y una conexión  
 mas ó menos importante con la buena ejecución y con-  
 servación del resto de las obras de la vía, prescindiendo  
 por tanto de los principios y reglas de construcción, cuya  
 enseñanza corresponde á otra asignatura.

122. **Obras de desagüe.** Las obras necesarias  
 para el paso de las corrientes de agua se dividen, según

su importancia de menor á mayor y con arreglo á los formularios vigentes en las siguientes clases:

Caños y tajeas hasta	1	métro de luz ó claro.
Alcantarillas,	de 1 á 3	métros de luz ó claro.
Pontones,	de 3 á 8	métros de id.
Puentes,	de 8	en adelante.

Las obras exigidas por el paso de otras vias ó atenciones de servidumbres públicas, denominadas generalmente Puente-vias, son casi exclusivamente propias de los caminos de hierro y de los canales, y, al tratar de esta clase de vias, se expondrán con mas oportunidad las condiciones mas esenciales de dichas obras.

123. **Su situacion general.** Las obras de desagüe deben situarse en el talweg ó línea mas baja del terreno, seguida naturalmente por los cursos de agua, sean permanentes ó solo accidentales ó periódicos. De esta consideracion resulta, que por regla general las obras de desagüe están naturalmente indicadas en los terraplenes en el punto de su mayor cota ó altura. Aunque no existan corrientes permanentes, debe cuidarse mucho en los terraplenes el facilitar salida á las aguas que en las partes mas bajas del terreno se reunen en épocas de lluvias ó de nieves.

124. **Terraplenes elevados.** Cuando se proyecta ó construye una alcantarilla ó ponton bajo un terraplen de mucha mayor altura que la que exigen las condiciones del desagüe de la obra de fábrica, há lugar á discutir la longitud y altura de esta para que el volumen de las mamposterías sea *un mínimo*.

Si llamamos:

$H$  la altura de la rasante sobre el terreno,

$h$  la altura total de la obra de fábrica sobre la base de los cimientos,

$l$  la latitud ó anchura del terraplen en su parte superior;

suponiendo de 1,5 de base por 1 de altura el talud del terraplen, y el espesor de la fábrica de  $\frac{1}{3}$  de  $h$ , el volumen  $V$  de las mamposterías puede representarse aproximadamente por una expresión de la forma,

$$V = \frac{h^3}{2} + \frac{2}{3} h^2 l + 2 h^2 (H - h)$$

en la que es fácil ver que  $V$  crece con  $h$  y que su valor máximo es cuando  $h = H$ . Hay por tanto una marcada conveniencia en hacer la obra en estos casos, todo lo mas baja posible.

Las obras bajas son además de mucha mas fácil ejecución, y exigen generalmente menores espesores, y materiales menos escogidos y costosos. En estos casos de grandes cargas del terraplen sobre las bóvedas, deben estas construirse con algun mayor espesor y trasdosarse con esmero; hemos observado que un espesor de 90 centímetros á 1,20 métrros en pontones y puente-vias, hasta de 8 métrros de diámetro, resisten perfectamente á sobrecargas de 10 y 12 métrros de altura. Los terraplenes arcillosos son los mas desfavorables para el empuje, deben evitarse sobre todo en la parte en contacto con las obras de fábrica, y á no ser posible debe darse mayor espesor á las mamposterías y sustituir las aletas con muros en vuelta ó paralelos á la directriz de la explanacion.

Las consideraciones que preceden sobre la altura de las obras, pueden modificarse en mas ó menos segun la dificultad de los cimientos y otras circunstancias locales.

**125. Oblicuidad de las obras de fábrica.**

Siempre que sea posible, el eje de las obras de fábrica debe ser normal al de la explanacion. La obra resulta así mas corta y de mas fácil y económica ejecucion, por evitarse los aparejos oblicuos de las bóvedas, siempre complicados y costosos. La oblicuidad puede en muchos casos evitarse, variando la direccion de las corrientes de agua ó de los caminos á que la obra dá paso. La variacion de los cursos de agua debe sin embargo hacerse con mucha circunspeccion y apreciando bien todas las condiciones locales.

En los casos de grandes cargas de terraplenes, en que los aparejos oblicuos son mucho mas peligrosos, pueden estos evitarse por medio de un frente ó corte normal, resultando por consiguiente de desigual altura las dos aletas, é inclinada, en vez de horizontal, y en el plano del talud del terraplen, la imposta de coronacion de la obra. Hemos empleado este medio en muchos pontones y puente-vias hasta de 8 y 10 métrros de claro en terraplenes muy elevados, y despues de terminados estos, el resultado ha sido, no solo satisfactorio en cuanto á la estabilidad de la obra, sino que el efecto á la vista no es desagradable como podria creerse.

Fig. 48.

**126. Terrenos muy inclinados.** Cuando la pendiente trasversal del terreno es muy grande, no es conveniente construir la obra siguiendo esta inclinacion por una línea contínua. Los terraplenes podrian resbalar

sobre el trasdos de la bóveda y quedar además en malas condiciones de estabilidad el conjunto de la obra. Es preferible construir esta por *escalones*, dividiéndola en trozos ó porciones horizontales ó de pequeña inclinacion. La solera ó fondo destinada al paso del agua ó de la via puede quedar con la inclinacion del terreno, ó disponerse tambien por escalones cuando solo se trata de dar paso al agua; en este último caso es necesario encachar fuertemente dicha solera, á fin de evitar las socavaciones debidas á la caída del agua en cada salto y á una gran velocidad en cada tramo. Debe asimismo cuidarse de cerrar con un fuerte macizo de mampostería el hueco que resulta en el frente de cada arco ó tramo, para evitar la caída de las tierras del terraplen.

Figs. 49  
y 50.

**127. Terrenos muy llanos.** En esta clase de terrenos ocurre con frecuencia que la rasante de la explanación esté casi al nivel del terreno natural, y ofrece por tanto alguna dificultad la ejecucion de tajeas ó alcantarillas para el paso de aguas, reclamadas por los riegos ú otra condicion ineludible de la localidad. Para estos casos se emplean las tajeas llamadas *de sifon*, formadas por dos ramas ó pozos verticales *a b* y *c d* y el tramo horizontal *c b*. El agua entra por la *a b*, sube en *c d* al mismo nivel, y al llegar á *d* se practica el cauce de salida *d e e.....* El empleo de tubos de hierro y aun de madera puede en muchos casos simplificar esta construcción, evitando la obra de mampostería.

Fig. 51.

Las tajeas de sifon tienen el inconveniente de obstruirse con mucha frecuencia, y son expuestas á continuas roturas; por lo que, si la pendiente y demás circuns-

tancias del terreno lo permiten, podría suprimirse en parte ó todo la rama de salida *c d*, practicando una zanja de desagüe *m n*, hasta encontrar el terreno natural.

**128. Badenes.—Su inconveniencia.—Medio de evitarlos.**

Fig. 52.

En las carreteras antiguas ha sido muy frecuente el empleo de badenes para el paso de las aguas que corren al nivel de la via. El baden consiste en un empedrado de forma ó seccion circular, dispuesto transversalmente á la carretera; este medio de desagüe es muy perjudicial y molesto para el paso de los carruajes, por lo que no solo está casi generalmente abandonado, sino que muchos de los badenes que hoy existen se substituyen con tubos ó tajeas de las que antes se han indicado.

**129. Desagües en los muros de contencion.**

Fig. 53.

En las laderas de mucha pendiente, en que los terraplenes se apoyan sobre muros, es á veces indispensable practicar una obra de desagüe; y como casi nunca es posible hacerla descender hasta el pié del muro, debe cuidarse mucho de hacer completamente impermeable el fondo ó solera de la obra; sin esta precaucion el agua se filtra al terraplen y la mayor presion de este sobre el muro es no pocas veces la causa de su caida, sobre todo si la fábrica de este es de mampostería con mezcla. Para estos casos, como ya hemos indicado, son preferibles los muros en seco bien contruidos.

**130. Defensa de los terraplenes contiguos á los desagües.** Sea cualquiera la importancia de una obra destinada al paso de las aguas, casi puede asegurarse que nunca es destruida por la accion de la cor-

riente sobre sus frentes ó paramentos vistos, sino por la socavacion de los terraplenes ó del terreno sobre que insisten los cimientos. Por esto es indispensable defender el terraplen de la accion diluyente del agua por medio de escolleras ú otro cualquiera. Destruido el terraplen ó terreno contiguo á las aletas y muros, el agua deshace con facilidad suma las mamposterías por su parte posterior, y la caida de la obra es casi inevitable.

**131. Defensa de los cimientos.—Encachados.** La mayor velocidad que el agua toma al paso de las obras de fábrica, produce á la salida de esta, y tambien á veces antes de su entrada, fuertes socavaciones que comprometen la seguridad de los cimientos y ocasionan la caida de la construccion. Para evitar estos efectos en terrenos *flojos ó socavables*, es indispensable consolidarlos con fuertes encachados con ó sin pilotage, escolleras ó piedra perdida, ú otros medios apropiados á la importancia de la obra y recursos de la localidad.

**132. Desagües en los desmontes.** Aunque las aguas de los desmontes se conducen casi siempre por las cunetas hasta el terraplen inmediato, hay sin embargo casos en las grandes explanaciones de los caminos de hierro, y en terrenos muy accidentados, en que la rasante de la via queda debajo de una corriente de agua. Si esta es de importancia puede pasarse á la parte opuesta por medio de un acueducto superior, asi como en el caso de no poder perderse altura por atenciones de riegos, fuerza motriz del agua etc. etc..... En los casos ordinarios puede bajarse á la via por medio de un rastrillo en forma de baden construido sobre el talud de la explanacion, y eje-

Fig. 54.

cutar despues al pié del talud una tajea en sifon, dándole salida, rompiendo el desmante por la parte opuesta, si no hubiese otro medio mas expedito y económico.

En algunos casos podrá tambien variarse el cauce antes de llegar al desmante, dirigiéndole hácia el terraplen mas inmediato. Las cunetas de coronacion de los desmontes tienen este mismo objeto.

**133. Claro ó desembocadura de las obras de desagüe.** La desembocadura de un puente ó ponton está en razon del volúmen máximo de agua á que debe dar paso. Si ha de establecerse sobre una corriente permanente, se le dá una anchura equivalente á la mayor de las secciones del cauce, tomadas agua arriba en puntos en que no hay depósitos ni socavaciones. Si hay en las inmediaciones construidas otras obras, que bastan en las épocas de temporales ó crecidas, podrá establecerse con arreglo á estas el desagüe de la que se proyecta, teniendo en cuenta la importancia de los afluentes intermedios, la pendiente del terreno y demás circunstancias locales.

A falta de estos datos, es necesario estudiar la corriente de agua, así en las bajas como en las crecidas, conocer el volúmen de las aguas y su velocidad en uno y otro caso, la altura, extension y duracion de las inundaciones, y determinar en consecuencia por los principios y fórmulas de la hidráulica la velocidad del agua, conocida la pendiente general del terreno, la seccion y el perímetro mojado y deducir por tanto la seccion de desagüe ó su ancho y altura, para que la velocidad no exceda de un límite dado, y no ocasione agua abajo so-

cavaciones en el terreno y la destruccion de la obra, y agua arriba remansos é inundaciones perjudiciales á los terrenos contiguos.

En los paises llanos, en que el relieve ò altura de los terrenos no pasa de 15 á 20 métrros, hay la regla práctica de dar de 0,45 á 0,50 métrros de ancho por cada mil hectáreas, pero este principio no seria aplicable en terrenos mas accidentados.



---

## SECCION SEGUNDA.

### AFIRMADO Y OBRAS ACCESORIAS DE LAS CARRETERAS.

#### CAPÍTULO PRIMERO.

##### FIRME Y PASEOS.

DIFERENTE CLASE DE FIRMES.—MATERIALES.—MANO DE OBRA.—  
COMPARACION.

134. **Idea general de una carretera.** Considerada transversalmente, la via de una carretera consta de una parte central y mas ancha, llamada *firme* ó calzada, destinada casi exclusivamente al tránsito de los carruajes y animales de carga, y de otras dos porciones de menor anchura, formadas por el mismo suelo de la explanacion, llamadas *paseos*, destinados mas especialmente al tránsito de la gente de á pié.

**135. Breve reseña histórica de las carreteras.** A pesar de la sencillez de esta clase de vías, su origen puede considerarse de época relativamente muy moderna, si se prescinde de los caminos construidos por los Romanos con un objeto casi exclusivamente militar. La mayor parte de estos caminos fueron destruidos ó abandonados despues de la caída de aquel imperio, y en el considerable período de mas de 1.300 años la idea de construcción de carreteras estuvo en el mas completo olvido. En España, como en Francia y otros países, la construcción de las carreteras empezó en el siglo pasado, con la de Reinosa á Santander, de Madrid á Aranjuez y algunos otros trozos de corta longitud, abiertos durante el reinado de Fernando VI. Desde aquella época se ha ido dando cada vez mas importancia á este ramo de la administracion pública, y muy particularmente desde 1834 hasta el presente, en cuyo período se ha construido una longitud de carreteras tres veces mayor que la hecha en los ochenta años anteriores. En 1834 existian en España unos 3.500 kilómetros de carreteras, no muy bien conservadas, mientras que hoy existen 14.000 en bastante buen estado de conservacion.

**136. Dimensiones generales.** El ancho de una carretera depende de la importancia de su circulacion y de la de los puntos ó centros de poblacion que atraviesa ó enlaza. Con arreglo á estas circunstancias, y con todos los demás datos necesarios, está reservada al Gobierno la *clasificacion* de una carretera, segun lo prescrito en la ley general de 22 de Julio de 1857 y Real orden de 6 de Agosto de 1861. Segun estas disposiciones

las carreteras se dividen en carreteras de 1.º, 2.º y 3.º orden y tienen las dimensiones generales siguientes:

	ANCHO		LONGITUD
	del firme. Métros.	de los paseos. Métros.	TOTAL. Métros.
Carreteras de 1.º orden. . .	5,50	2,50	8
Id. de 2.º orden. . . . .	5,00	2,00	7
Id. de 3.º orden. . . . .	4,50	1,50	6

Como la precitada ley marca las condiciones que debe llenar cada línea para pertenecer á una de las clases mencionadas, creemos innecesario detenernos mas sobre este objeto, indicando solamente que esta clasificacion tiene alguna analogia con las antiguas denominaciones de carreteras generales, provinciales y municipales ó vecinales.

137. **Condiciones generales del firme.** El firme de una carretera debe ofrecer: 1.º Toda la resistencia necesaria para el paso de los carruajes mas cargados. 2.º Una superficie muy unida y compacta, que ofrezca al tiro la menor resistencia posible. 3.º La menor dureza y rigidez, ó mayor elasticidad posible, á fin de disminuir las causas de fatiga de los motores y de destruccion de los carruajes; y 4.º La forma y disposicion que mas contribuya á la mejor y mas económica conservacion de la via y de sus obras.

138. **Diferentes clases de firmes.** El firme de una carretera se ejecuta segun los casos: 1.º Con piedra irregular y machacada, formando un macizo ó con-

glomerado, unido por la misma irregularidad de sus elementos y del cemento que producen sus detritus, la humedad atmosférica y el apisonado artificial ó natural del tránsito. Esta clase de firme, que generalmente se llama *firme ordinario ó carretera afirmada*, es el que se emplea casi con exclusiva preferencia en la ejecucion de todas las carreteras, y del que por tanto nos ocuparemos de un modo mas especial. 2.º Con piedra irregular, pero sin partir ó machacar, colocada á mano y en forma de cuña, consolidado todo por medio de pisones; esta clase de firmes, casi solo empleada en las travesías ó calles de las poblaciones, se llama generalmente *firme empedrado*. 3.º Con piedras de forma regular y prismática, llamadas *adoquines*, colocadas como dovelas por hiladas continuas en sentido trasversal; esta clase de firme se denomina mas especialmente *adoquinado*.

Se ha hecho uso además, para consolidar el suelo, de la madera, asfalto y otras materias, pero solo en las aceras, suelos de almacenes y otros análogos; por lo que no nos ocuparemos de estos diferentes medios que no tienen aplicacion en las carreteras.

Cuando hayamos explicado la construccion de las tres clases de firmes indicados, expondremos las ventajas é inconvenientes de cada sistema y la oportuna aplicacion de cada uno.

139. **Seccion ó forma de la superficie del firme.** El perfil trasversal de un camino puede ser: 1.º Cóncavo, formado por una sola línea curva ó dos rectas. 2.º Plano, compuesto de una recta horizontal ó inclinada. 3.º Convexo, compuesto de dos rectas ó de una

sola línea continua. 4.º Convexo, con paseos en rampa hácia el borde exterior, y formando arroyo ó cuneta á cada extremo del firme.

La primera disposicion, recomendada para los países montañosos, por la mayor seguridad que parece ofrecer al tránsito, y por evitar la cuneta del lado de la montaña, tiene sin embargo grandes inconvenientes; el mayor paso de carruajes por el centro, y la aglomeracion de las aguas en este punto, surca y destruye muy pronto el camino, por cuya importante consideracion este perfil solo se emplea en caminos empedrados ó adoquinados.

La segunda disposicion presenta casi los mismos inconvenientes; porque siendo mayor la frecuentacion del camino en el centro que en los costados, toma bien pronto la forma cóncava, sin embargo la línea inclinada es algunas veces empleada en los perfiles de montañas ó laderas muy pendientes.

La tercera disposicion, con una línea curva continua, es la mas ventajosa de todas y la casi siempre adoptada, porque satisface mejor á la condicion esencial de conservar bien seca y unida la superficie del camino.

La cuarta disposicion, que es una combinacion de las anteriores, tiene la ventaja de evitar las cunetas y puede ser útilmente aplicada en las travesías y calles de las poblaciones para recojer las aguas de las casas contiguas al camino.

La forma convexa, mas generalmente empleada, se obtiene por medio de un arco de círculo, cuya flecha es generalmente  $\frac{1}{50}$  de la cuerda ó ancho del firme. Este peralte ó *bombeo* tiene por principal objeto facilitar la

salida lateral de las aguas. Un bombeo exagerado es peligroso, sobre todo para los carruajes de velocidad, y perjudicial hasta para la misma conservacion del camino, porque, ejerciéndose el tiro con mayor dificultad sobre el plano inclinado de los costados, los carruajes ocupan casi siempre el centro, y de aquí la formacion de roderas, mayor desgaste de esta parte del firme y la mayor dificultad en su conservacion. Además en tiempo de heladas los carruajes de velocidad están expuestos á volcar al cambiar de direccion, para no encontrarse con los carruajes pesados que vienen tambien generalmente por medio del camino. Partiendo de la base de una conservacion asidua y esmerada, creemos que el bombeo de  $\frac{1}{50}$ , que para los costados del camino ocasiona un plano inclinado de mas de 5 por 100, es exagerado y pudiera sin inconveniente alguno reducirse á la mitad ó poco mas, muy suficiente para la fácil salida de las aguas, y conservar en buenas condiciones la superficie del firme. Esta pendiente de 2 á 3 centímetros es la generalmente adoptada para los caminos empedrados.

En cuanto á los paseos, se disponen generalmente en un plano, en prolongacion ó tangente á la superficie convexa del firme, pero seria preferible que quedasen comprendidos en el mismo perfil de este, tomando por ancho el total del camino. Este perfil ofreceria menor pendiente en los costados, y por consiguiente mejores condiciones para el tránsito de los carruajes.

140. **Caja del firme.** Para combatir con mas eficacia los efectos de la humedad, se han construido algunos caminos cuyo firme estaba en *relieve*, ó elevado

sobre el suelo de la explanacion, pero no estando sostenidos lateralmente los materiales, se separan estos fácilmente por la accion de las ruedas, y no pueden unirse formando un macizo compacto; ha sido, por tanto, necesario renunciar á esta forma y elevar ó recargar los paseos hasta la altura del firme. De aquí resulta este naturalmente *encajonado* en el suelo de la explanacion, y de aquí, por tanto, la necesidad justificada de practicar lo que se llama la *caja del firme*.

El fondo ó solera de esta caja puede ser plano ó con una curvatura y *bombeo* análogo y aun igual á la del firme. Esta disposicion se practica á veces, y está generalmente recomendada, para facilitar la salida de las aguas, que han penetrado en el firme y se reunen en el fondo de dicha caja, abriendo al efecto, por debajo de los paseos, pequeños acueductos hasta las cunetas ó taludes del terraplen. Pero aparte de la dificultad práctica de obtener y conservar esta forma bombeada de la explanacion, resultaria para el firme un espesor igual en el centro y costados, lo que no creemos conveniente, atendida la mayor frecuentacion y desgaste del firme en su parte central. En cuanto al saneamiento y salida de las aguas que se reunen en el fondo de la caja, indicaremos mas adelante los medios de conseguir este objeto, en los casos necesarios, sin necesidad de recurrir á la forma convexa, y por tanto creemos mas sencillo, y sin inconveniente sensible, que la seccion de dicha caja sea una línea *recta y horizontal*.

141. **Paseos.** Hemos expuesto antes las dimensiones de los paseos segun la clase de carreteras, y hemos indicado que su objeto es, no solo servir para el tránsito

de la gente de á pié, sino de apoyo lateral al macizo del firme que, obrando como una bóveda, ejerce un cierto empuje; los paseos sirven además para depósito de los materiales de conservación del firme, y también, aunque solo sea provisionalmente, para el del polvo y lodo extraídos del mismo. Los paseos son por tanto muy importantes, y su supresión sería tan inconveniente, como la idea de extender sobre ellos todo ó una parte del espesor del firme, cuyo mayor gasto sería de todo punto innecesario, atendido el verdadero objeto de esta parte del camino. En consecuencia de todo lo expuesto, la sección transversal ordinaria de una carretera afirmada es la indicada en la fig. 55.

Fig. 55.

**142. Materiales para el firme.** Los materiales que componen un firme deben satisfacer á varias condiciones; 1.<sup>a</sup> Tener la resistencia necesaria para las mayores presiones que sobre ellos producen las llantas de los carruajes mas cargados; 2.<sup>a</sup> No desagregarse ni descomponerse por la acción de las aguas, hielos y demás influencias atmosféricas; 3.<sup>a</sup> No desagregarse, ó reducirse á pequeños fragmentos, por la acción de los rozamientos y choques ocasionados por el tránsito; y 4.<sup>a</sup> Que el desgaste ó detritus que los primeros carruajes producen sobre el material, sirva de cemento para unir el resto y formar una masa compacta. Es difícil encontrar en una misma clase de piedras todas estas circunstancias, pero ellas hacen ver que el material del firme de una carretera se encuentra en condiciones muy diferentes del de la generalidad de las obras, y que por consiguiente su resistencia debe apreciarse de muy distinta manera.

143. **Piedras areniscas.—Granitos.** Entre esta clase de rocas las hay muy resistentes y á propósito para la construccion de las obras de fábrica; pero compuestas de una agregacion mecánica de granos de cuarzo, unidos por un cemento silíceo, calizo ó arcilloso, tienen el grande inconveniente, cuando están reducidas á pequeños fragmentos, de desagregarse y pulverizarse por el rozamiento y choques del tránsito; el desgaste ó detritus que así se produce en la primera capa del firme, es además inconveniente para enlazar y defender el material que está debajo, sobre el que por tanto resulta ó se repite el mismo efecto, concluyéndolo por convertirse todo el firme en una masa de arena ó polvo en completo estado de desagregacion. Por las razones indicadas, las piedras areniscas no se emplean ó no deben emplearse en la composicion de los firmes, por grande que aparezca su dureza en la cantera.

En este mismo caso se encuentran los granitos, excepto cuando el elemento predominante es el cuarzo; pero si al contrario predominan la mica ó el feldspato, ó los dos á la vez, el material se hiende con facilidad por la presion de los carruajes ó se descompone por la accion atmosférica.

144. **Piedras silíceas.** Las piedras silíceas ó cuarzosas, cuya textura es generalmente muy uniforme, compacta y de grano muy fino, ofrecen la dureza necesaria para resistir así á los rozamientos y choques como á la presion de los carruajes; tienen el inconveniente de trabar con dificultad, y por tanto el de retrasar la union y enlace de todas las partes del firme, lo que exige ma-

yores cuidados en la conservacion, sobretudo en el periodo siguiente ó mas próximo al de su construccion. A pesar de esto, las piedras silíceas forman en general firmes muy buenos, resistentes y duraderos, sobre todo en los paises ó parajes húmedos ó en los que, sin serlo, se pueden emplear detritus ó recebos calizos ó tiernos para facilitar el enlace del material silíceo.

Las piedras silíceas en forma de canto rodado, que se recoge muchas veces en los campos ó en los cauces de los rios, no debe emplearse en el firme si por sus pequeñas dimensiones no fuese susceptible de machaqueo, de modo que cada una pueda dividirse en tres ó cuatro fragmentos, porque la forma redondeada dificulta mucho la trabazon del material. La forma angulosa y fractura áspera que resulta del machaqueo, es indispensable en toda clase de piedras para la buena consolidacion del macizo del firme.

145. **Piedras calizas.** Las piedras calizas duras y compactas, sobre todo las calizas silíceas, son las que mejor satisfacen, por regla general, las buenas condiciones de un firme; resisten bastante bien las presiones y rozamiento de los carruajes, y el detritus ó desgaste que estos producen sirve de cemento para unir muy pronto todas las piedras y formar una sola masa compacta y resistente, que facilita la circulacion de los carruajes y la conservacion del firme.

El material calizo, sobre todo en los paises húmedos, tiene el inconveniente de producir mayor cantidad de detritus, que segun las estaciones se convierte en polvo ó lodo; este mayor desgaste del material ocasiona el

consiguiente aumento de gasto en la conservacion del firme, así por la mayor cantidad de material que es preciso reponer, como por la mayor mano de obra que exige esta reposicion y la extraccion del lodo ó polvo. Este inconveniente puede atenuarse mucho con el empleo de recibos duros, segun mas adelante se expondrá.

De lo que acaba de indicarse se deduce, que seria muy inconveniente el empleo de las calizas tiernas en la construccion de los afirmados, porque ni ofrecerian la resistencia necesaria, serian por tanto de poca duracion y su conservacion seria además muy difícil y costosa.

Sea cualquiera la clase de material, debe excluirse con el mayor esmero el que tiene la propiedad de ser *heladizo*. Esta propiedad es mas peculiar de las piedras calizas, que absorviendo la humedad, é introduciéndose y depositándose el agua en sus poros, al helarse se cristaliza, y aumentando de volúmen, hiende y pulveriza la piedra. Las areniscas son en general poco heladizas, porque tienen poca afinidad por el agua y además son *muy permeables* y la dejan pasar á través de sus poros, á diferencia de las calizas que la *absorven* sin tener igual permeabilidad. Las calizas arcillosas son generalmente las mas absorbentes, y por tanto menos propias para la construccion del firme.

**146. Sistemas seguidos en la construccion del firme.** El sistema de construccion seguido en la mayor parte de las carreteras antiguas consistia en componer el firme de tres capas: la primera, llamada *fundacion* ó *cimiento* de piedra de 15 á 20 centímetros colocada á mano sobre la caja de la explanacion; la segunda

de piedra machacada de otros 16 á 18 centímetros de espesor, y por último, sobre esta, la tercera capa de piedra de menor tamaño y de otros 16 á 18 centímetros en el centro, terminando en cero en los costados, reforzados y sostenidos estos además por dos filas de piedras llamadas *cintas* ó *maestras*, entre las que el firme quedaba por tanto encajonado.

A este sistema siguió otro enteramente opuesto, el del Ingeniero inglés Mac-Adam, puesto en práctica por este, y muy generalizado en diversos países. En este sistema el firme se compone también de tres capas, pero todas de piedra machacada al tamaño igual de 4 á 5 centímetros, y reduciendo el espesor total en el centro al máximo de 25 centímetros y generalmente á 14 ó 15. Mac-Adam prescribe además una porción de detalles respecto á la igualdad de tamaño de la piedra, á establecer el tránsito sucesivamente sobre cada una de las capas, al saneamiento de la caja de la explanación, limpieza del material y su arreglo y extensión.

Estos dos sistemas, y las combinaciones que de sus principios pueden hacerse, han sido objeto de largas y sostenidas discusiones entre los ingenieros, particularmente franceses, que más se han ocupado de la construcción y conservación de los firmes de las carreteras. Ante la dificultad, y no grande utilidad, de exponer aquí en detalle esta variedad de opiniones y de sistemas, nos limitaremos á indicar las consideraciones y resultados principales que han conducido á los medios hoy generalmente seguidos en la construcción y conservación de las carreteras.

La generalidad de los Ingenieros, de acuerdo con la

experiencia, están conformes en que basta en rigor un espesor de unos 8 á 10 centímetros en los firmes bien contruidos para resistir á las mayores cargas que circulan por las carreteras, y que la resistencia del firme es tanto mayor, quanto mas seca y saneada se conserva la caja ó suelo de la explanacion.

Quando la capa superior de un firme, sea cualquiera el espesor de este, está bien unida y compacta, los carruajes mas pesados ruedan sobre su superficie sin dejar apenas traza ó señal de su paso; las presiones se reparten entonces sobre una extension superficial mayor, porque el firme obra como una plataforma general, y la solidificacion de toda la masa se obtendrá tanto mejor y mas pronto, quanto mas uniformes sean todas sus partes, ó quanto mas igual sea el machaqueo de la piedra. El movimiento será además tanto mas suave ó experimentará reacciones y sacudidas menos violentas y bruscas, quanto mas elástica sea, no solo la materia del firme, sino la superficie sobre que esta insiste; y á este efecto nada mejor, ni mas á propósito, que el conservar la caja ó suelo de la explanacion bien seco y saneado.

Quando el suelo de la explanacion está abierto en roca dura, falta esta elasticidad, y el material del firme comprendido entre dos cuerpos duros, la solera de la caja y la llanta de los carruajes, se tritura y destruye con mas rapidez, el movimiento es necesariamente mas rígido, y el firme necesita en consecuencia mayor espesor. La camada ó fundacion de piedras gruesas produce en la mayor parte de los casos un efecto análogo al que acaba de indicarse.

Además cuando por abandono ó falta de medios en la conservacion del firme, se destruye la primera capa de este, las ruedas de los carruajes penetran bien pronto y descomponen las capas inferiores, la circulacion se dificulta y entorpece mas cada dia, y si existe solera ó fundacion de piedras gruesas, estas se revuelven y dislocan, aumentando la gravedad del mal y poniendo bien pronto la carretera casi intransitable.

En consecuencia de estos resultados, hoy está casi abandonado el empleo de la fundacion de piedras gruesas y de las dos filas laterales de maestras, no solo como gasto innecesario, sino como inconvenientes para la construccion de un buen firme; este se compone exclusivamente de piedra machacada, y su espesor total ha experimentado tambien una reduccion muy notable respecto á los antes adoptados. Los firmes que hoy se construyen, se componen generalmente de dos capas de piedra machacada con un espesor total de 25 á 30 centímetros en el centro y de 12 á 15 en los costados. En la primera capa, de un espesor igual de unos 10 centímetros, se machaca la piedra hasta reducirla al tamaño máximo de 7 á 8 centímetros, y en la segunda al de 3 á 5 segun la calidad del material.

Suponiendo una conservacion asidua y constante, sin la cual no es posible tener buenos firmes, sea cualquiera el sistema de construccion de estos, creemos de conformidad con los principios expuestos, que en la generalidad de los casos aun pudiera reformarse el sistema de construccion actualmente seguido, reduciendo el espesor en el centro á 20 centímetros, y de 11 á 12 en los

costados, con dos capas de piedra machacada al tamaño medio de 3 á 4 centímetros, es decir, aproximarse mas al sistema Mac-Adam, sin aceptar, como innecesarios, los minuciosos detalles y prescripciones con que se ha presentado este sistema. La reduccion de espesor del firme compensaria con exceso el aumento de la mano de obra, y las carreteras así construidas reunirían indudablemente mejores condiciones de viabilidad.

#### 147. **Saneamiento de la caja del firme.**

Se ha indicado en el párrafo anterior, y está generalmente reconocida, la conveniencia de conservar bien seca y saneada la solera ó caja de la explanacion sobre la que el firme descansa. El medio mejor y mas eficaz de conseguir este resultado nos parece el de abrir de trecho en trecho, y en los puntos necesarios, antes de extender el firme, dos surcos ó regueros rellenos de piedra gruesa que, partiendo del eje, se dirijan en diagonal, y segun la pendiente del camino, hasta las cunetas ó taludes del terraplen por debajo de los paseos. En la mayor parte de los casos será no solo posible, sino muy sencillo, dar á estos pequeños cauces ó desagües toda la pendiente necesaria para la mas pronta salida de las aguas; sus dimensiones dependerán de las circunstancias locales, pero en general serán suficientes de 20 á 30 centímetros en cuadro.

Fig. 56.

#### 148. **Machaqueo de la piedra.**

En el párrafo anterior se han indicado las dimensiones á que ordinariamente se ha reducido ó debe reducirse la piedra, segun los diferentes sistemas seguidos en la construccion del firme; pero el machaqueo puede hacerse dentro ó

fuera de la caja de este. La práctica hoy generalmente adoptada es machacar dentro de la caja, y á *corte ó tajo abierto*, la primera capa y fuera la segunda.

El machaqueo en caja tiene el inconveniente de descomponer ó desarreglar la solera de esta, sobre todo en los terraplenes; y en tiempos de humedad, el machaqueo se hace además con menos perfeccion y exige por tanto mayor esmero y vigilancia. Hay en cambio en este sistema la ventaja de que generalmente se aprovechan mejor los detritus naturales del machaqueo, tan convenientes para servir de cemento y facilitar la consolidacion y enlace de todo el firme.

Acerca de la uniformidad de tamaño de la piedra machacada, de la conveniencia de una cantidad de detritus mas ó menos considerable, y del modo de proporcionar el cemento mas eficaz para consolidar el firme, se han emitido por los ingenieros opiniones muy distintas, de las que nos limitaremos á indicar lo que en nuestro concepto es mas práctico, razonado y conforme con los hechos observados.

Con la generalidad de los materiales empleados consideramos prácticamente casi imposible el reducir las piedras, en el machaqueo á mano, al tamaño uniforme de 3 á 4 centímetros, ni esta uniformidad nos parece necesaria; lejos de esto, creemos muy conveniente la interposicion y mezcla con las piedras de aquel tamaño de las de menor dimension ó detritus que naturalmente resulta del machaqueo, no siendo en cantidad excesiva. Repetidas observaciones han hecho ver que un volúmen de piedra machacada al tamaño de 3 á 4 centímetros

encierra otro volúmen de huecos de 46 á 48 por 100, cuyo volúmen se rellena ó desaparece cuando la compresion debida al tránsito y á la accion del tiempo, han solidificado la masa del firme ó unido mas sus diferentes partes ó fragmentos. Este efecto no ha podido evidentemente verificarse sino á expensas del material primitivamente empleado, con grave reduccion por consiguiente de su volúmen y retraso en el tiempo de su solidificacion; la adiccion ó empleo de los detritus necesarios para rellenar los huecos de la piedra de mayor tamaño no puede ser por tanto sino muy útil para facilitar la trabazon del firme y disminuir la reduccion de su volúmen, sin aumentar realmente el del material primitivamente empleado; este detritus no puede ocasionar otro resultado que el de sustituir y evitar en su mayor parte el que mas tarde se produce por la circulacion y la accion del tiempo.

El machaqueo de la piedra se verifica con martillos de mas ó menos peso, estando los operarios de pié ó sentados. Por el primer método se machaca mayor cantidad, pero se produce mas detritus y los fragmentos no son iguales. Por el segundo el resultado ó cantidad machacada es menor, pero es de un tamaño mas uniforme; este último medio debe adoptarse para la segunda capa y para los trabajos de conservacion, sobre todo con las piedras silíceas y cantos rodados, que es muy difícil machacar bien de pié. El peso de las almadenas ó martillos varia con la robustez de los operarios, dureza del material y sistema de machaqueo; para trabajar de pié, este peso es por término medio de 1,5 kilogramos, y el mango tiene de largo unos 80 centímetros; para trabajar sentados, los

martillos pesan generalmente un kilogramo. La piedra de cantera y los grandes cantos rodados se parten con almadenas de mayor peso.

Se han ideado algunos aparatos mecánicos para el machaqueo de la piedra, cuyo empleo no ha llegado, ni es probable que llegue, á generalizarse.

**149. Extension y arreglo del firme.** Para evitar toda irregularidad y desorden en esta parte tan importante de la mano de obra, creemos mas conveniente el machaqueo de la piedra fuera de la caja del firme, y que antes de su empleo y extension se separen con rastrillos de hierro todos los fragmentos de 4 á 5 centímetros, ó al tamaño máximo prevenido; extendidos estos sobre la caja y formada con toda regularidad la primera capa del firme, se deberán extender luego sobre esta los detritus separados, de modo que rellenen el mayor número de huecos posibles, procediendo despues á la extension y arreglo de la segunda de la misma manera y con iguales precauciones.

Para servir de guia en la extension y arreglo de cada una de las capas del firme, y dar á este el bombeo y forma adoptada, se hace uso en cada seccion trasversal, distante una de otra de 10 á 15 métrros, de tres ó mas estaquillas, fijas en la solera de la explanacion y en las que se señala la altura correspondiente de cada capa del firme. Las estaquillas de cada seccion trasversal sirven así de directrices para determinar la superficie comprendida entre cada dos secciones por medio de cuerdas tendidas de unas á otras.

**150. Materiales de diferente calidad y du-**

**reza.** La generalidad de los ingenieros está conforme en que, cuando hay materiales de diferente calidad y dureza, se reserven los mas duros y resistentes para la capa superior, y para la inferior los mas tiernos. Esta parece en efecto la disposicion mas razonable y adecuada para resistir mejor los choques y presiones que la capa superior sufre directamente de la accion de los carruajes, y experimentar á su vez una reaccion menos rígida ó de mas elasticidad de la parte inferior del firme. Este principio de mezcla de materiales y admision de los de pequeña dureza no debe, á nuestro juicio, aceptarse sino dentro de ciertos límites, pues si los materiales son muy tiernos deben desecharse por completo; su empleo en las capas inferiores nos parece de poca ó ninguna utilidad, puesto que en rigor solo podria contarse para el firme con el espesor de la capa superior ó de mayor dureza y resistencia.

Algunos ingenieros, sin embargo, no dan grande importancia á la calidad de los materiales, y creen que pueden tener firmes buenos con piedra tierna; pero esto no puede verificarse sino en fuerza de grandes cuidados y gastos en la conservacion, cuyo excesivo coste anula la economía obtenida con el empleo de dichos materiales.

151, **Reccho.** Si terminada la segunda capa del firme, se entregase este á la circulacion, se encontraria una superficie áspera y movediza, de difícil tránsito para los carruajes, en los que seria preciso aumentar considerablemente la fuerza de tiro respecto á la necesaria sobre otra superficie mas suave y compacta. Además los primeros carruajes comprimirian y triturarian las piedras

6. 0 25

sometidas inmediatamente á la accion de las ruedas, y estos detritus vendrian á rellenar los huecos inferiores, no cesando este efecto hasta tanto que la compresion debida al tránsito hubiese dado al firme la estabilidad necesaria en su interior y mayor suavidad y union en la superficie; todo lo que no podria evidentemente conseguirse sino á expensas del material empleado en el firme, y de una excesiva y costosa mano de obra en el continuo arreglo de su forma.

Para evitar en parte los inconvenientes que quedan citados, se extiende sobre la última capa de afirmado otra de arena gruesa, grava ó detritus de la misma piedra machacada, cuyo objeto es no solo de ofrecer al tránsito una superficie suave y unida, sino el de rellenar los huecos de la última capa de piedra machacada y de facilitar su trabazon sirviéndola de cemento, aumentando por consiguiente su estabilidad y economizando el desgaste del material del firme.

La clase de recibos mas conveniente depende de la del material del firme; si este es calizo, son generalmente preferibles, sobre todo en paises húmedos, las gravas duras y arenas silíceas gruesas. Si al contrario, el firme es de piedra silícea, son entonces mas convenientes los recibos de detritus de piedra caliza, y las arenas algo arcillosas. Atendido el objeto de los recibos es bien sencilla la explicacion de esta diferencia.

Sea cualquiera la clase de recebo, deberán emplearse en cantidad suficiente para su objeto; generalmente un volumen ó capa de 2 á 3 centímetros se considera suficiente; el exceso de recebo perjudica la debida trabazon.

de los materiales, y produce mucho lodo y polvo, sobre todo si es tierno ó arcilloso.

**152. Compresion del firme.—Rodillo compresor.** Construido el firme de la manera que acaba de indicarse, no se consigue que forme un macizo compacto y unido, sino cuando la compresion del tránsito, y la accion del tiempo, han producido la agregacion y enlace de sus diferentes fragmentos. Para facilitar este resultado, y anticipar todo lo posible la época en que el firme reuna todas las buenas condiciones de viabilidad, disminuyendo los cuidados y gastos de conservacion en el período siguiente al de la construccion, está hoy generalmente admitido por todos los ingenieros la conveniencia de consolidar y comprimir el macizo por medio de un rodillo ó cilindro de piedra, madera ó hierro, que se hace rodar sobre el firme el número de veces que sea necesario.

El cilindro ó rodillo es generalmente de fundicion, hueco, y que sobre un eje puede llevar una caja de madera para recibir un aumento de peso, que de este modo puede variar de 2 hasta 6 y 8 mil kilogramos, y siendo de 1,5 métrros su longitud, puede por tanto producirse sobre el firme una presion hasta de 60 kilogramos por centímetro longitudinal.

Algunos ingenieros recomiendan el uso del cilindro sobre cada capa del firme, y hasta sobre la caja de la explanacion; pero generalmente no se emplea sino sobre la última capa y mas generalmente aun, despues de haber extendido el recebo. Cuando se cilindra antes de recebar, el tiro es mas difícil, la piedra machacada se

remueve y aglomera delante del rodillo, y los pies de las caballerías ó bueyes destruyen una parte del efecto producido por la compresion. Esta, y sobre todo la agregacion de los materiales, se obtienen mucho mejor y mas fácilmente cuando el cilindrado se verifica en su mayor parte despues de extendido el recebo, no solo porque esta capa reparte y trasmite con mas uniformidad la presion, sino porque la materia del recebo, rellenando los huecos de una gran parte de la piedra machacada, dá á esta mas estabilidad y la sirve de cemento para su mas pronta agregacion.

La opinion de los ingenieros está generalmente conforme en la conveniencia de que el peso del cilindro vaya aumentando á medida de la operacion, desde unos dos mil hasta seis á ocho mil kilogramos; y en cuanto al número de pasos, ó veces que el cilindro debe pasar por cada punto, es difícil su determinacion como regla general, pues depende de la calidad de los materiales, del clima y otras circunstancias locales.

El cilindrado produce mas efecto cuando el firme está algo húmedo, y de aquí que las estaciones mas convenientes para esta operacion son generalmente el otoño y la primavera. Cuando el tiempo está muy seco, es conveniente regar ó humedecer el firme, pero antes de extender el recebo, porque de otro modo, este material mojado se adhiere al cilindro y hasta levanta algunas partes del firme.

Es asimismo conveniente que el cilindrado empiece por los costados y continúe hácia el centro, porque de otro modo la presion ejercida por el cilindro en el medio,

sin estar consolidados los extremos, puede alterar la forma del afirmado.

153. **Efectos del cilindro.** Cuando la mano de obra de compresion y agregacion de los materiales está terminada, se tiene un firme suave y unido, sobre el que los caballos pueden marchar fácilmente y que las ruedas de los carruajes no deprimen de una manera sensible. Pero seria un error querer compararle á los firmes que han sufrido muchos años la accion del tránsito; los materiales están, es cierto, fuertemente comprimidos unos contra otros y han tomado una posicion estable, pero no hay entre ellos la trabazon que se observa en los firmes viejos, cuyo macizo casi puede asimilarse al de un hormigon endurecido. Un firme nuevo, bien comprimido, es, por decirlo así, una bóveda recién construida, cuyas dovelas están bien sentadas, pero de las que, si se quita una, las demás caen por sí mismas. Así, cuando un camino nuevo se entrega al tránsito, es necesario redoblar los cuidados, para que no se remuevan los materiales de la superficie. Sea cualquiera la forma del rodillo compresor, no se puede pretender producir en el firme todo el asiento de que es capaz, y que tomará mas tarde por la accion continua y por tanto mas enérgica de la circulacion.

Los movimientos verticales son desde luego los mas temibles y mas difíciles de evitar, porque, segun se acaba de decir, la compresion no es completa; y el medio mejor de combatir los perjudiciales efectos de estos asientos parciales es el hacerlos comunes á toda la superficie, es decir, que el tránsito se verifique por todo el firme, y

que concluya el trabajo de que se le ha evitado la parte mas difícil y penosa. Para conseguir este resultado, es necesario hacer desaparecer inmediatamente no solo los surcos ó roderas sensibles que luego se presentan en algunos trechos, sino hasta las mismas trazas ó señales de las ruedas, las primeras por medio de material menudito ó detritus, y las segundas por un simple barrido.

Aunque el rodillo compresor evita una gran parte de los cuidados y mano de obra que sin él son consiguientes en toda carretera cuando acaba de abrirse al tránsito público, lo expuesto hace sin embargo comprender que entonces empieza un nuevo período en que, independientemente del sistema de construcción, es necesario remediar continua y asiduamente las mas pequeñas degradaciones que en el firme se presenten, sosteniendo sin interrupcion una marcha de *conservacion permanente*, de la que se tratará mas adelante.

154. **Firmes empedrados.** Esta clase de firmes, como antes se ha indicado, se emplea casi solamente en las travesías y calles de las poblaciones, ó en los parajes en que circunstancias especiales no permiten otra clase de afirmado. El empedrado ordinario consiste en un macizo de piedra irregular, generalmente canto rodado silíceo, sentado á mano sobre una camada de arena, rellenos todos los huecos y juntas por medio del mismo material y consolidado con pisones de mano. Esta clase de afirmado presenta una superficie áspera y desigual y allí en donde los recursos lo permiten es generalmente reemplazado por los empedrados regulares ó adoquinados.

155. **Firmes adoquinados.** Este firme se compone de materiales regulares, labrados toscamente ó á picon y en forma de cuña ó dovela. Los adoquines tienen generalmente unos 0,14 metros de ancho ó en el sentido de la longitud del camino, 0,20 metros á 0,24 metros de largo y otro tanto próximamente de *cola* ó *tizon*. Se colocan segun filas perpendiculares al eje del camino, y á juntas encontradas los de una misma fila respecto á la inmediata. Este empedrado, en forma de bóveda, ejerce un empuje lateral que se opone en cada extremo por medio de una fila longitudinal de adoquines de mayores dimensiones llamados maestras. Se les coloca de modo que presenten del lado interior del camino adarajas ó partes salientes y entrantes que enlacen bien con el adoquinado. Cada maestra corresponde á dos ó tres filas de adoquines y su cola es de unos 0,32 metros.

El adoquinado se sienta sobre una capa de arena gruesa de unos 20 á 25 centímetros de espesor, bien apisonada por capas delgadas y humedecidas, á fin de que hagan todo el asiento posible. Esta capa de arena debe estar bien encajonada y descansar sobre un suelo resistente; en estas condiciones la arena es incompresible y trasmite lateralmente las presiones, resultando de estas circunstancias un empedrado mas firme y estable que el que se asienta sobre piedra machacada ú hormigon, que además es generalmente mas caro. Las juntas tanto trasversales como longitudinales entre todos los adoquines se rellenan tambien con arena, cuyo material por su movilidad se adapta á las variaciones y cambios de posicion que, así en las juntas como en el fondo, resultan para

los adoquines por las trepidaciones que el tránsito produce. Por esta razón el relleno ó macizado de arena debe ser abundante, y la camada ó capa sobre que el adoquinado descansa debe tener 3 ó 4 centímetros mas de altura para el asiento que aquel tiene despues de construido. Esta propiedad peculiar de la arena bien pura, la de su completa movilidad para tomar posiciones de equilibrio, la hace preferible para este y otros casos á los morteros, sustancias bituminosas etc., que despues de endurecidas se despegan de las piedras por los movimientos de estos, y dejan de servirles de enlace y apoyo.

**156. Materiales para los firmes empedrados y adoquinados.** Las piedras de estos firmes deben ser duras para resistir á las presiones de los carruajes; pero si lo son excesivamente, forman pisos muy rígidos y además resbaladizos, porque se alisan demasiado con el paso de las ruedas y los pies de las caballerías. Las piedras calizas tienen tambien este último inconveniente, y además se desgastan con facilidad, si no son bastante duras. Los granitos en que predomina el cuarzo, y las piedras areniscas duras, son en general convenientes para los adoquinados, por ser bastante resistentes, y no formar una superficie tan resbaladiza.

**157. Comparacion entre los firmes adoquinados y los ordinarios.** Los firmes adoquinados son mas duros y molestos para la circulacion por el ruido que ocasionan, y por regla general su construccion es mucho mas costosa que la de los firmes de piedra machacada; no ocasionan el polvo y lodo que estos últimos y su conservacion es generalmente mas económica. Por

estas circunstancias, los firmes empedrados se emplean casi exclusivamente en las travesías y calles de las poblaciones, en donde los firmes ordinarios ofrecen grandes dificultades y gastos de conservación. A pesar de esto, en las calles anchas y ventiladas de las grandes poblaciones se ha empezado á emplear modernamente el firme ordinario ó de piedra machacada, que ofrece mas suavidad á los carruajes y menor molestia al vecindario. Por regla general la fuerza de tiro necesaria sobre los firmes adoquinados es de  $\frac{1}{3}$  á  $\frac{1}{2}$  de la que se emplea en los firmes ordinarios.



## CAPÍTULO SEGUNDO.

### OBRAS ACCESORIAS.

158. **Objeto y clase de estas obras.** Las obras accesorias tienen por objeto, unas completar las buenas condiciones de viabilidad de la carretera en todo lo relativo á la seguridad y comodidad del tránsito, y otras facilitar la accion facultativa y económica necesaria para la conservacion de la misma via ó para el ejercicio de otros derechos de la administracion. Al primer grupo pertenecen los *guarda-ruedas*, *malecones*, *pretiles continuos ó interrumpidos*, *fuentes y abrevaderos*, *postes indicadores del camino* y *el arbolado*, y al segundo los *postes kilométricos*, *las casetas de peones camineros* y *las casas-portazgos*, de todas las cuales vamos á dar una ligera idea de su forma y condiciones.

159. **Guarda-ruedas.** En las partes del camino á media ladera, en los terraplenes elevados y en la proxi-

midad de las obras de fábrica, es conveniente para la seguridad de los carruajes la colocacion, hácia el lado exterior ó de mayor peligro, de algun obstáculo que se oponga á la salida de las ruedas y caída del carruaje; este es el objeto de los guarda-ruedas, pretiles y malecones, de que se hace uso segun las circunstancias de cada localidad.

Los guarda-ruedas son un trozo de piedra, de forma cónica truncada, de unos 60 á 70 centímetros de altura sin contar el pié ó base empotrada en el terreno para su asiento ó colocacion. Tienen la ventaja de ocupar poco terreno, de dejar por tanto mas libres los paseos para la circulacion y depósito de materiales y de exigir pocos gastos en su conservacion. Como su efecto es menos eficaz para ciertos sitios que el de los malecones y pretiles, se emplean solo generalmente en los terraplenes y entradas de las obras de fábrica, colocándolos segun la línea de separacion del firme y los paseos. Cuando se emplean para defender los antepechos de las obras de fábrica, se les suele dar la forma de cono truncado oblicuo, de modo que, teniendo una generatriz vertical, pueda estar en contacto con la arista ó cara del antepecho.

160. **Malecones.** Los malecones se hacen generalmente de tierra apisonada, revestida de céspedes y á veces tambien con un enlucido ó revoque del mismo lodo del camino, si este es de piedra caliza. Se les dá la forma de una pirámide truncada ó de un prisma triangular tambien truncado; esta última, cuando hay materiales á propósito para la construccion, tiene la ventaja de despedir mejor las aguas. Cuando hay materiales á

Fig. 57.

Fig. 58.

Fig. 59.

propósito se terminan también los malecones con una paredilla vertical del lado exterior, cuya disposición ofrece la ventaja de ocupar menos espacio. Los malecones se colocan en los grandes terraplenes en ladera, sobre los paseos ó sobre la coronación de los muros de sostenimiento, alternando muchas veces con los guarda-ruedas según indica la figura.

Fig. 60.

**161. Prestiles.** Consisten estos en unos muretes de mampostería contruidos sobre la coronación de los muros de sostenimiento. Con objeto de economizar y para dejar lugar para la salida de las aguas y extracción del lodo y polvo, los prestiles se construyen muchas veces por trozos interrumpidos, colocando entre cada dos un guarda-rueda.

Además de las indicaciones que quedan hechas para la mejor aplicación de cada una de estas obras, depende en general su elección de la de los materiales que ofrezca cada localidad.

**162. Fuentes y abrevaderos.** Siempre que sin gran coste puedan recogerse al lado de la carretera las aguas de fuente ú otra corriente permanente, será de grande utilidad, no solo para el tránsito, sino para el riego del arbolado, del firme, y no pocas veces para los mismos trabajadores y obras del camino. Según la clase del manantial y condiciones locales, podrán utilizarse las aguas, ya en forma de una fuente ordinaria, ya en una pila para los animales de tiro, ó ya á la vez para los dos objetos.

**163. Postes indicadores.** Al paso de las grandes divisorias y terrenos en que la nieve cae con abundancia, desaparece todo vestigio del camino, y se hacen

necesarias en muchos casos señales fijas que marquen su direccion y eviten el extravío de los carruajes y viajeros, y las desgracias que no pocas veces se experimentan. Estas señales consisten en postes de madera, ó mejor pilastras ó torres cilíndricas de mampostería mas altas que la mayor altura de las nieves, situadas á distancias convenientes á lo largo del camino. En muchas carreteras del norte de España existen estos indicadores, y son de grande utilidad en las fuertes nevadas tan frecuentes en aquellos paises.

164. **Arbolado.—Su objeto.** Sabido es que el arbolado es una de las partes del reino vegetal que mas contribuye á purificar el aire atmosférico, absorviendo el ácido carbónico producido por la respiracion de los animales y por las combustiones naturales ó artificiales que se hacen en contacto de la atmósfera. Además de esta interesante accion sobre la economía animal, el arbolado produce en las carreteras una sombra agradable al transeunte, y no siendo excesiva, contribuye eficazmente á la mejor conservacion del firme. Es por tanto muy fundada la importancia dada en estos últimos años á la plantacion y conservacion del arbolado en las carreteras, y por cuya razon hemos creído oportuno hacer aquí estas ligeras indicaciones y las demás que van á seguir.

165. **Clase de árboles propios para las carreteras.—Su plantacion.** Los árboles que, al cabo de muchos años de experiencia, se consideran como mejores para las plantaciones de los caminos son el olmo, el chopo ó álamo piramidal ó lombardo, la acacia, el plátano, el tilo, el roble piramidal, el fresno y algunos

otros. Los árboles frutales son en general inconvenientes, porque son de hoja y sombra menos permanente, y porque el aliciente de la fruta es un motivo mas para su pronta destruccion. Cada clase de árboles exige terrenos de ciertas condiciones para su mas rápido crecimiento y desarrollo, y en general en cada provincia son ya conocidas las especies de arbolado propias para las condiciones del suelo y clima.

Las plantaciones, por regla general, deben hacerse desde el 15 de Noviembre al 15 de Marzo, exceptuando las épocas de los grandes hielos y lluvias. Los hoyos para la plantacion deben abrirse tres ó cuatro meses antes, y deben tener 1 á 1,50 métrós en cuadro, y de 0,60 á 1,20 métrós de profundidad, y deben situarse en la arista interior de la cuneta y á la distancia de 8 á 12 métrós segun su clase, en posicion alternada, ó *al tresbolillo* de los dos costados del camino. En los terraplenes la posicion mas conveniente es al pié de estos, sin embargo de que suelen tambien situarse sobre el talud y en la proximidad del paseo.

Sin separarnos demasiado de nuestro objeto, no podriamos entrar en detalles acerca de la clase de terrenos, abonos, plantacion y reproduccion del arbolado. Los que sobre este particular deseen adquirir conocimientos mas detallados pueden leer los interesantes artículos publicados en la *Revista de Obras públicas*, años de 1853 y 1854, por D. Ramon Llorente y Lázaro, acerca del arbolado de las carreteras. Al tratar de la conservacion de estas, volveremos á hacer algunas indicaciones respecto al riego y conservacion del arbolado.

**166. Postes kilométricos.** A partir del origen de la carretera, segun su clasificacion, está hecha ó se practica su division kilométrica, y el punto correspondiente al término ó extremo de cada kilómetro se marca con una pequeña pilastra de piedra de unos 50 centímetros de altura, empotrada y fija generalmente en la línea exterior del paseo y en la que se marca el número del kilómetro. Cada miriámetro ó longitud de 10 kilómetros se señala con otra pilastra de mayor altura.

Fig. 61.

Fig. 62.

Esta division es no solo útil al tránsito, sino que es casi indispensable para el servicio facultativo y administrativo de la via, como la distribucion del personal, señalamiento de trabajos, formacion de presupuestos y todos los demás incidentes y noticias que, por muchos motivos y conceptos, puedan necesitar los diferentes ramos de la administracion pública.

En los puntos de encuentro y bifurcacion de las carreteras se colocan tambien otras pilastras de bastante altura en posicion diagonal y de modo que, correspondiendo una de cada dos de sus caras á la direccion de cada carretera, se escribe en cada una de dichas caras el nombre del punto de origen y término de la carretera, y que por esta razon se les llama *indicadores de division de carreteras*.

Fig. 63.

**167. Casillas de peones camineros.** El servicio de la conservacion permanente de las carreteras hace indispensable en la mayor parte de los casos, sobre todo en sitios despoblados, la construccion de casillas para habitacion de peones camineros. Estas casillas pueden construirse para uno ó para dos peones; por regla

general se prefiere este último medio, no solo por motivos de economía, sino porque pueden así prestarse mejor un mútuo auxilio, particularmente en sitios despoblados, en casos de interceptacion del camino en la época de las grandes nevadas ó fuertes temporales, ó en el de cualquiera incidente que pueda ocurrir en el tránsito de la carretera.

168. **Su emplazamiento ó situacion.** Las casillas de los peones deben situarse no precisamente en el medio del canton ó trozo, si es de un solo peon, ó al extremo de cada uno, si es de dos, sino en puntos altos y despejados desde los cuales pueda divisarse toda ó una gran porcion del trozo de carretera á cargo del peon ó peones á quienes la casilla se destina. Es asimismo conveniente que en la proximidad del terreno elegido haya aguas permanentes, ó que puedan hallarse por medio de un pozo abierto en la misma casilla ó sus inmediaciones; y por último, que el terreno sea bien sano y ventilado.

Las casillas de peones camineros se sitúan tambien en muchas ocasiones en la inmediacion de alguna obra importante, cuya vigilancia es del mayor interés, así como en ciertos parajes muy accidentados y de paso peligroso, y tambien formando parte de las casillas de viveros, casas-portazgos etc., no solo por razones de economía, sino por el mayor servicio que puedan prestar segun las circunstancias de cada localidad.

169. **Su capacidad.** Las casillas de dos peones se construyen de un solo piso bajo, compuesto de un vestíbulo ó portal, cocina, un cuarto ó gabinete y dor-

Fig. 64. mitorio, todo igual é independiente para cada uno de los dos peones y sus familias, y por último de un pátio en comunicacion directa con el portal, en donde los peones pueden conservar algunos animales, leña y demás objetos mas indispensables para su subsistencia.

170. **Su construccion.** Esta se acomoda á los materiales y condicienes de la localidad, y se hacen de fábrica de canteria, ladrillo ó adoves, ó combinando estos materiales.

La Direccion general de Obras públicas, por órden de 28 de Enero de 1859, ha aprobado los modelos para la distribucion y construccion de las casillas de peones camineros, segun la clase de materiales, y consignado los principios y reglas generales de esta construccion. Del dictámen de la comision hemos extractado estos apuntes y representado además en la figura el modelo aprobado para una casilla de dos peones, en el concepto de ser de fábrica su construccion.

171. **Casas-portazgos.—Su objeto, situacion y construccion.** Estos edificios tienen por objeto verificar la recaudacion del impuesto conocido con este último nombre, y servir de habitacion á los empleados en este servicio.

Para que estos edificios correspondan á su objeto, es necesario, además del buen cumplimiento de los empleados, que estén situados en puntos de paso obligado, como inmediaciones de un puente, garganta ó desfiladeros y otros parajes análogos que el tránsito no pueda evitar, ni eludir por consiguiente, con su extravío de la carretera, el pago de los derechos prevenidos en el arancel.

Las casas-portazgos se construyen generalmente de un solo piso bajo, con la capacidad necesaria para la oficina de recaudacion y habitacion independiente para el administrador y demás empleados, cuyo número depende de la importancia del portazgo. Frente á la casa se colocan además dos postes de madera ó mejor dos pilastras de piedra, una á cada lado de la carretera, unidas por medio de una cadena que se tiende por medio de un torno desde el interior de la casa, á fin de interceptar el paso á ciertas horas de la noche y que el mozo ó empleado de guardia baja ó afloja cuando es avisado por cualquier viajero ó conductor de carruaje.

Como las casillas de peones, las de portazgos se construyen con arreglo á los materiales y circunstancias de cada localidad.



---

## CAPÍTULO TERCERO.

### CONSERVACION DE CARRETERAS.

172. **Diversos sistemas de conservacion.**  
Los ingenieros á quienes se deben los diversos medios ó sistemas seguidos en la construccion de las carreteras, han planteado tambien sus métodos especiales de conservacion en analogía con los de la construccion. En la época primera de la construccion de las carreteras no se daba tanta importancia como hace algunos años á la conservacion asidua y permanente ó de todos los dias. Se reducía generalmente á extender sobre el firme, en el otoño y primavera, todos los materiales acopiados durante el verano anterior. De estas grandes reparaciones anuales resultaba, que las degradaciones que ocurrían

después de los grandes temporales ó lluvias, no podían ser reparadas inmediatamente por falta de materiales, y que las que en tiempo oportuno hubieran exigido solo algunas horas, se hacían cada vez mayores y más costosas y difíciles de reparar. Estos recargos generales tenían además el grave inconveniente de ofrecer al rodaje un camino áspero, sin consistencia y molesto para los animales de tiro. Los ingenieros todos han reconocido, y están conformes en el día, en que la reparación de todos los instantes es la menos costosa y que hay siempre más facilidad y economía en hacer desaparecer una degradación cuando empieza á formarse, y en detener en su origen el progreso de una rodera, un bache ó de otro desarreglo cualquiera del firme.

A pesar de este convencimiento, son aun muy frecuentes por desgracia los casos en que es necesario proceder á una reparación completa del firme de las carreteras, á causa del mal estado á que las ha conducido la escasez de medios con que se ha atendido á su conservación. Por esta razón creemos oportuno exponer separadamente los procedimientos que en uno y otro caso deben seguirse, y á este objeto nada nos parece mejor que los principios consignados en la circular dirigida en 1839 á los Prefectos é Ingenieros por Mr. Legrand, Director entonces de Puentes y Caminos en Francia. Esta circular contiene las prescripciones necesarias para un buen sistema de conservación y reparación de las carreteras; es el resúmen de todo lo mejor escrito sobre este asunto hasta aquella época, y la base de los procedimientos seguidos posteriormente; por cuyas razones tomamos

casi textualmente de dicha circular todo lo que se refiere á la mano de obra y empleo de materiales. Dice así:

173. **«Conservacion permanente.** Cuando una carretera está en buen estado, esto es, que el firme está liso y unido, y por consiguiente sin roderas, sin baches, sin lodo y sin polvo, que los paseos y las cunetas tienen el perfil conveniente, se puede conservar en este estado durante todas las estaciones, cualquiera que sea el movimiento que haya por ella, observando buen método de conservacion.

»En esto no hay mas que dos operaciones que practicar:

»1.<sup>a</sup> Quitar continuamente las materias provenientes del desgaste, bien sea en lodo ó en polvo.

»2.<sup>a</sup> Emplear los materiales equivalentes á este desgaste.

»Estas dos operaciones, bien dirigidas, y efectuadas con oportunidad, previenen las degradaciones, y el firme, surcado igualmente en todos sentidos, no hace mas que desgastarse paralelamente á su superficie.

174. **•Material del desgaste.**—1.<sup>o</sup> POLVO. Cuando los carruajes han circulado durante muchos dias sobre un camino en buen estado, y el tiempo es seco, el firme se cubre bien pronto de una pequeña capa de polvo. Este polvo molesta á los viajeros y á las caballerías, perjudica á veces á las propiedades colindantes, hace el movimiento mas pesado, y si sobreviene una lluvia, se convierte en lodo que produce roderas y degradaciones de toda clase. En obsequio, pues, de la viabilidad, de los transeuntes y de la conservacion de la carretera, es necesario quitar este polvo. Esta operacion puede hacerse por medio de la rastra de hierro; pero, á causa de las pequeñas desigualdades del suelo, esta herramienta no puede emplearse con utilidad sino cuando el polvo tiene un cierto espesor, esto es, cuando despues de mucho tiempo es ya perjudicial, y en todo caso deja una cantidad sensible de él. La escoba de brezo conviene mucho mas para esta operacion; penetrando en todas las desigualdades y cavidades de la superficie,

»quita todo lo que está móvil, y que es, por tanto, inútil y perjudicial. La operación del barrido es demasiado sencilla para que tenga necesidad de explicación. Bueno será, con todo, advertir que, en tiempo muy seco, y sobre firmes de grava, no se debe apretar tanto la escoba como sobre los de piedra caliza, porque se desagregaría mucha parte de los pequeños materiales de la superficie. »Sobre estos firmes de grava, cuando produce mejor efecto el barrido, es después de una ligera lluvia.

»Un firme bien barrido no presenta hasta después de muchos días de llover, señal alguna de lodo. La superficie se conserva perfectamente unida y tersa, y algunas horas de buen tiempo bastan para secarla por completo. Es tan cierto que el polvo absorbe y conserva la humedad, que recorriendo una carretera, cuando empieza á llover, por el grado de sequedad de las diversas partes del firme, se podría deducir el tiempo más ó menos largo que hace que cada una fué barrida antes de la lluvia.

175. »2.º Lodo. Si la humedad continúa, el firme se cubre de un lodo líquido que va espesándose poco á poco: en este caso es necesario quitarle cuanto antes, porque el lodo hace que se marquen las rodadas de los carruajes; y como por estas se mueven más fácilmente las ruedas, los carruajes la siguen con preferencia, á lo cual contribuye también el lodo que se amontona al lado, y de este modo se forman *las roderas*; y además, el firme reblandecido dá paso al agua, y se divide y destruye más fácilmente. »Pero si se tiene cuidado de quitar con la rastra el lodo á medida que se forma, los carruajes continúan marchando en todos sentidos, y el firme, aunque más tierno, aunque más fácil de dividirse, se conserva unido. Es verdad que cada carruaje deja una impresión visible, pero sería imposible al siguiente pasar exactamente por ella, y el medio de la llanta va á pasar por donde el borde de la anterior, y de este modo vuelve á su lugar las moléculas que habían tendido á elevarse. Resulta, pues, que por la lluvia, lo mismo que por la sequedad, no hay desagregación, no hay deformación del firme, y sí solo desgaste.

»Se ha dicho que el lodo debía quitarse con la rastra, porque

»efectivamente es la herramienta mas á propósito cuando está algun  
»tanto endurecido; pero cuando está líquido, la escoba dá tambien  
»buenos resultados. De todos modos, nunca queda tan limpio el  
»camino de lodo como de polvo, y por eso, cuando á la lluvia su-  
»cede el tiempo seco, suele verse algo de polvo donde no habia  
»lodo, mientras que por el contrario, cuando llueve despues de un  
»tiempo seco, no se vé lodo donde no habia polvo.

»Pero si bien, como queda demostrado, con la limpieza del polvo  
»y del lodo puede conservarse el firme unido y en buena viabilidad,  
»en cambio se allana, se ahueca, y su superficie se acercaria al fondo  
»de la caja, si no se reemplazára el material quitado, que forma el  
»objeto de la segunda operacion.

176. **»Empleo de los materiales.** El empleo de los  
»materiales es una operacion necesaria, esencial; pero no tiene el  
»mismo carácter de urgencia que la limpieza de lodo y polvo: en  
»efecto, el firme se desgasta muy lentamente, é importa poco que,  
»si su espesor normal es de 25 centímetros, en un momento dado  
»tenga solo 24, 23 ó 22 centímetros, pues es un inconveniente de  
»que el público no se apercibe. Hay, por consiguiente, tiempo de  
»elegir para el empleo de los materiales la época mas conveniente.  
»Este tiempo es el lluvioso, pues presenta sobre el tiempo seco  
»una ventaja inmensa. Efectivamente, los materiales empleados  
»cuando el firme está duro y el tiempo seco, no se unen y se  
»aplastan sin penetrar en la masa del afirmado, mientras que em-  
»pleados en tiempos húmedos, cuando, por consiguiente, tiene el  
»firme cierta blandura, penetran en él sin molerse y no molestan  
»al movimiento.

»De aquí resulta que debe empezarse el empleo de los materia-  
»les cuando lluvias frecuentes han ablandado la superficie, y que  
»no amenazan heladas. La máxima que debe guiar al peon caminero  
»al hacer este empleo, que siempre hace el tiro algo mas penoso  
»sobre ciertos puntos, es no crear motivos que determinen á los  
»carruajes á seguir una direccion mas bien que otra, y esto es  
»fácil cuando la limpieza del lodo y el barrido del polvo se han he-  
»cho con cuidado. Entonces no se ven en el firme largas depresio-

»nes en el medio ó á los costados, que exijan el empleo de gran  
»cantidad de materiales. El firme que ha sufrido la limpieza conti-  
»nua de los detritus del desgaste, no presenta sobre su superficie  
»mas que ligeros *baches*, que cuando llueve se manifiestan. Estos  
»baches se hallan repartidos de una manera irregular á un lado, al  
»otro y en el medio, é indican los parajes en que deben ser em-  
»pleados los materiales. Estos baches, de una profundidad de 2 á  
»3 centímetros, poco mas ó menos, en el medio, y que se reduce  
»á cero en el contorno, deben picarse en esta parte para formar  
»un punto de apoyo al material que se emplee: en seguida se colo-  
»ca este arreglándole con cuidado, colocando el material mas grueso  
»en el centro, y en los bordes el mas menudo. Este empleo no debe  
»pasar de 2 á 3 métrros de largo, y de 1 á 2 de ancho. De este  
»modo se van rellenando todas las demás partes deprimidas. Sin  
»embargo, si los baches fuesen numerosos, no se deberán rellenar  
»todos seguidos al mismo tiempo, sino que se elegirán desde luego  
»los mas profundos, y solo despues de quitados estos se pasará á  
»los demás. De no hacerse así, se crearian en este punto al movi-  
»miento dificultades de consideracion, que en interés suyo conviene  
»repartir en un tiempo mas largo. Por eso no deben acumularse  
»tampoco en un mismo punto, y el peon caminero no debe empe-  
»zar el empleo de los materiales por un extremo del trozo que le  
»está encomendado, para terminar por el otro, sino que debe siem-  
»pre emplear el material donde vea que los baches son mas pro-  
»fundos y numerosos, para concluir por las partes menos desgas-  
»tadas.

»Es un error creer que, cuando en una extension de 40 á 50  
»métrros se han rellenado los baches con los cuidados prescritos,  
»esta parte de la carretera se halla ya completamente restaurada, y  
»que se puede pasar á otra, abandonándola algun tiempo; y este error,  
»muy grave, es por desgracia tambien muy frecuente en los peones  
»camineros. Efectivamente, cuando se han rellenado los baches, los  
»materiales quedan móviles en ellos; las ruedas y los pies de los  
»ganados los desarreglan fácilmente, y es necesario volverlos á  
»colocar en su lugar con el rastrillo, para que no los encuentren

»separados las ruedas y los aplasten inútilmente, ó mas bien con  
»perjuicio del firme.

»A pesar de todos los cuidados que se toman al hacer estos  
»empleos, para no establecer sendas de preferencia á los carruajes,  
»ellos concluyen por preferir una direccion en que aquella se marca  
»algun tanto, y entonces es preciso borrarla inmediatamente, hacer  
»á veces nuevos empleos, quitar ó disminuir los que se encuentren  
»mal empleados, aunque mas adelante se vuelvan á emplear. Es  
»necesario limpiar el lodo que los materiales hacen salir del firme  
»al penetrar en él; y en una palabra, es necesario que el peon  
»camintero se convenza de que ninguna parte de la carretera recla-  
»ma mas cuidado, vigilancia y atencion, que aquella en que recién-  
»tamente se han empleado materiales. Debe, por consiguiente, no  
»dejarla de la mano hasta que se haya sentado, que es cuando su  
»operacion queda terminada. En cambio de estos cuidados se obtiene  
»una grande economía en los materiales que se incorporan al firme  
»casi sin pérdida alguna, y en las degradaciones que se evitan; de-  
»gradaciones cuya reparacion seria mucho mas costosa.

177. **»Cantidad de materiales que debe em-  
»plearse.** Se podria objetar al método de empleo que acaba de  
»exponerse, que es insuficiente, porque el relleno exacto de los  
»baches no será equivalente al detritus quitado, y por consiguiente,  
»el espesor del firme irá siempre disminuyendo. En efecto, podrá  
»suceder, ó que el perfil del firme exija rebajar este, ó recrecerle:  
»en el primer caso, los baches podrán quitarse sin empleo de ma-  
»terial, rebajando los puntos elevados; y en el segundo, es decir,  
»cuando se quiera elevar el nivel del firme sobre ciertos puntos,  
»nada será tan fácil. En efecto, la experiencia enseña, que al poco  
»tiempo despues de hacerse un primer empleo de materiales,  
»se presentan nuevas desigualdades que desaparecen poco á poco  
»por efecto del paso de los carruajes, y de la limpieza; pero que  
»puede aprovecharse de ellas, para aumentar el espesor del firme,  
»haciendo nuevos empleos, que de la misma manera se pueden  
»repetir cinco ó seis veces durante un invierno. Se vé, pues, que  
»de este modo se tiene el medio de recrecer el espesor del firme

»de una carretera hasta donde se quiera. Cuando la conservacion  
»está en su estado normal, es necesario que haya una compensa-  
»cion exacta entre el peso del material extraido y el que se debe  
»agregar; pero no es necesario que este peso sea todo de materia-  
»les, porque un firme, el mas perfecto, contiene muchos detritus de  
»materiales que son necesarios para rellenar los huecos de estos.  
»Si durante un año se han quitado 100 méetros cúbicos, por ejem-  
»plo, de detritus, bien en lodo ó bien en polvo, el firme tal vez  
»no ha perdido mas que 60 méetros cúbicos de piedra; se puede,  
»por consiguiente, añadir á los materiales que se empleen una  
»cierta cantidad de detritus, que mezclada con ellos, recubriéndolos,  
»facilite el asiento, evitando los encuentros de los carruajes y los  
»choques contra los materiales. El empleo, por consiguiente, bien  
»entendido de los recibos, puede producir bastante economía en  
»el gasto de los materiales.

»Segun los detalles que se acaban de exponer sobre las dos  
»operaciones de la conservacion, se vé que la limpieza exige solo  
»asiduidad y trabajo, mientras que el de los materiales requiere  
»inteligencia y experiencia. Las faltas en este producen siempre  
»consecuencias graves para el estado del firme y para el gasto.

**178. »Este método exige mucha mano de obra.**

»Una de las condiciones mas esenciales para el éxito del método,  
»es poder disponer siempre de una gran cantidad de mano de obra.  
»Una de las dificultades que se oponian antes á que esto fuese así,  
»era el creerse que habia una diferencia muy grande entre el in-  
»vierno y el verano para el desgaste de las carreteras: este error  
»queda demostrado por la necesidad constante de quitar los detri-  
»tus; el peso que se quita en polvo no es menor que el que se  
»quita en lodo: se atribuia al invierno todo el lodo que se veia  
»sobre las carreteras, y muchas veces provenia del polvo que se  
»habia dejado de quitar durante el verano. El barrido hace, pues,  
»desaparecer una de las graves objeciones que se hacian al empleo  
»permanente de un gran número de *peones camineros*, porque no  
»solo suministra un trabajo para el verano, sino que disminuye el  
»del invierno. No por eso debe proscribirse el empleo de *peones*

»*auxiliares ó temporeros*, porque admitiendo, (y esto no es cierto) »que el invierno no exige mas trabajo que el verano, es necesario »compensar la cortedad de los dias por un mayor número de obre- »ros. Hay por otra parte circunstancias extraordinarias en que la »carretera tiene necesidad de mas mano de obra; las largas lluvias »que han atrasado el trabajo, las heladas y los deshielos consecu- »tivos, retrasan tambien la operacion de la limpia y del empleo; y »por lo mismo no debe dudarse en suministrar al peon caminero »los medios para ponerse al corriente; todo retraso, en vez de eco- »nomía, seria un aumento de gasto.

»Tales son las prescripciones generales, con cuya observancia »las carreteras pueden mantenerse siempre en buen estado, sin lodo, »sin polvo, sin roderas ni baches. No se deduce, sin embargo, de aquí »que el ingeniero que las siga, no tendrá degradaciones que reparar; »por activa que sea la vigilancia del personal encargado de la mano »de obra, como es siempre muy numeroso, sujeto á frecuentes »variaciones, es imposible que dejen de cometerse faltas que, ya »provengan de negligencia ó ya de inexperiencia, serán causa de »degradaciones, y estas por raras que sean, es preciso repararlas.

179. **»Reparaciones de las degradaciones acci- »dentales.** Las carreteras no se degradan sino porque no se »limpia bastante el lodo, porque se emplean mal los materiales, ó »porque se abandonan los mal empleados. La falta de limpia del »lodo produce roderas, como se ha dicho mas arriba, y para hacer- »las desaparecer, hay que limpiarlas inmediatamente. En una car- »retera con lodo, la rodera muchas veces no es mas que aparente, »los bordes laterales que le forman no son mas que el lodo des- »alojado por la rueda. Quitado este lodo no se encuentra mas que »una impresion de las ruedas insignificante, que los carruajes bor- »ran por sí mismos. Un empleo de materiales hecho entre estos »bordes, como suelen hacerlo los peones sin experiencia, seria una »mano de obra inútil y que aun agravaria el mal; y no habria otro »medio de reparacion, si este empleo se hubiese hecho, que levan- »tar el material juntamente con el lodo, sin perjuicio de repararlo »despues si esta operacion ofrecia alguna ventaja.

»Si, despues de limpiar el lodo, resultase una rodera bastante  
»marcada para que los carruajes no salgan de ella fácilmente, es  
»necesario cubrirla con piedra, pero solo á flor del firme, quedando  
»el material mas bien bajo que alto, para que nada guie á los  
»carruajes, y que las ruedas que se acerquen á seguirlas paralela-  
»mente, caigan sobre ellas de tiempo en tiempo. Es necesario tam-  
»bien cubrir los baches que presente el firme en la direccion que  
»procuran llevar los carruajes por huir de las roderas, y al cabo  
»de algun tiempo el camino quedará igual en todos sentidos; pero  
»excusado es ocultarlo, esta operacion exige alguna inteligencia y  
»costumbre. El capataz, el sobrestante, y á veces el ayudante de-  
»ben dirigirla, porque si la falta se ha cometido por inexperiencia,  
»el que la ha cometido no sabrá repararla.

»La causa mas frecuente de las degradaciones es el mal empleo  
»de los materiales; acaba de citarse un ejemplo; pero un peon  
»inexperto comete muchos. Así, cuando un costado de la carretera  
»le parece mas deprimido en 50 ó 60 méetros de longitud, se apre-  
»sura á recubrirle con una capa de materiales: todos los carruajes  
»vienen entonces á pasar por el otro lado, sin cambiar la direccion  
»hasta allí: de aquí resultan las roderas, no solo enfrente del punto  
»de empleo, sino antes y despues en la misma direccion. No hay  
»otro medio de reparacion que levantar la piedra mal empleada,  
»cubrir las roderas, como se dijo arriba, y en cuanto al lado mas  
»bajo, ha de levantarse poco á poco, rellenando primero las mayo-  
»res desigualdades, y despues las menores, hasta obtener la eleva-  
»cion necesaria. El recargo general en todo el ancho tiene el mismo  
»inconveniente, porque aunque no existe al principio motivo alguno  
»de preferencia para la direccion de los carruajes que pasan los  
»primeros, ellos la establecen bien pronto muy marcada, abriendo  
»una rodera menos trabajosa para el ganado, por la cual todos los  
»carruajes procuran pasar.

»No se evita este inconveniente dividiendo el recargo general en  
»fajas de 7 á 8 méetros, interrumpidas por partes no recargadas,  
»porque la rodera de las partes recargadas se prolonga bien  
»pronto sobre las que no lo están: los carruajes dirigidos por la

»rodera de que salen, y por la en que van á entrar, se conservan  
»en la misma direccion. Para hacer desaparecer el mal, no hay otro  
»medio que hacer desaparecer la causa; es decir, quitar con el ras-  
»trillo la piedra, al menos toda la que se conserve movable.

»Empleos bien hechos dan muchas veces lugar á roderas, si se  
»abandonan, porque algunos de los materiales se unen mas pronto  
»y desaparecen, mientras que otros quedan á la vista é indican á  
»los carruajes una via preferible. Reparar la rodera como se ha  
»dicho, rebajar ó disminuir algunos empleos, restablecer la unifor-  
»midad del tiro en todo el ancho del firme, es el único medio de  
»volver este á su estado normal.

180. **»Reparacion de carreteras.** En todo lo que  
»acaba de decirse, se ha supuesto el firme en buen estado, pero  
»desgraciadamente hay muchos en malo, y los Ingenieros tienen  
»que ocuparse con frecuencia mas de reparar que de conservar. El  
»mal es á veces tan grave, que obliga á rehacer completamente el  
»firme, cuya operacion es tan molesta para el público como dis-  
»pendiosa para el Tesoro. Hé aquí entonces cómo se procede ordi-  
»nariamente.

181 **»Inconvenientes de remover todo el firme.**  
»La marcha que suele seguirse, es de desmontar el antiguo firme;  
»se pasa la piedra extraida por la zaranda si contiene tierra; se le  
»machaca si se compone de piedras gruesas del fondo ó cimienta  
»de la caja; se añaden á estos materiales antiguos los nuevos nece-  
»sarios para dar al nuevo firme el espesor necesario, y se colocan  
»dando á este la forma que debe tener. El inconveniente menor que  
»resulta de este modo de proceder, es el ser muy costoso; el mas  
»grave es perturbar la circulacion de una manera muy perjudicial  
»para el público. En efecto, es preciso inutilizar una parte del firme  
»para desmontarla y darla la forma requerida desde un paseo, para  
»zarandear el material ó machacarle y recibir los nuevos, y á veces,  
»tambien con este mismo objeto, desde el otro paseo, no quedando  
»para los carruajes mas que el ancho de una via. A poco que llueva  
»se hacen en este paso roderas que absorben inútilmente mucha  
»piedra; los carruajes tienen que marchar al paso, que esperarse  
»

»para cruzarse, y á veces tienen lugar en estos puntos accidentes  
»graves. Si en este tiempo sobreviene el invierno antes de termi-  
»nar la obra, la circulacion se interrumpe por completo durante  
»algunos meses, y esto pasa á veces en antiguas carreteras, donde  
»existen mucho tiempo há relaciones numerosas y regulares. ¡Qué  
»perjuicio para el público mientras se repara esta calzada, y qué  
»perjuicios hasta que por sí mismo consigue sentar este macizo de  
»0,25 méetros de espesor de piedra machacada, y obtiene una super-  
»ficie de tan buen movimiento como tenia antes! Si el camino que  
»hay para reparar de este modo es un poco largo, y se ejecutan los  
»trabajos al mismo tiempo, la circulacion puede considerarse impo-  
»sible; y si se ejecuta en cuatro ó cinco años, en este tiempo la  
»circulacion, penosa sobre las partes recientemente hechas, difícil  
»y á veces peligrosa sobre las partes en construccion, llega hasta  
»sufrir interrupciones continuas. No hay transitables mas que las  
»partes de la carretera á que no se ha tocado. Resulta, por consi-  
»guiente, que en este sistema, la mejora no empieza realmente sino  
»cuando el trabajo se ha terminado por completo. Estos inconve-  
»nientes han aconsejado el empleo de otros métodos, cuyo buen  
»resultado está sancionado hoy por la experiencia.

182. **»Reparacion de las carreteras en mal es-  
»tado.** Cuando se trata de restaurar el firme de una carretera, es  
»necesario hacer algunas catas para saber el número de capas de que  
»se compone. sucede algunas veces que resultan espesores de consi-  
»deracion donde no podia sospecharse, y tiene lugar principalmente  
»en las partes de nivel, en los puntos mas bajos; el firme ha ido  
»allí creciendo de espesor bajo la influencia de un sistema de con-  
»servacion, en que el empleo de los materiales se consideraba mas  
»bien como una reparacion, que como una restauracion del espesor.  
»Cuanto peor era el estado de la carretera, tanto mas materiales se  
»empleaban en ella, y de aquí han resultado espesores considera-  
»bles de piedra y tierra, que se dejan fácilmente dividir á la menor  
»lluvia.

»En tal caso hay que multiplicar inmediatamente la mano de  
»obra, quitar todo el material que hay movable sobre el firme,

»aunque haya piedra mezclada con este detritus. De este modo se  
»llegará á una capa algo mas fija: la presion de los carruajes hace  
»salir de ella polvo ó lodo en gran cantidad: se quita esto á medida  
»que se presenta, se rebajan las partes salientes, y el firme baja  
»paralelamente à sí mismo, saneándose al mismo tiempo. Si el espe-  
»sor del firme es demasiado pequeño, ó es solo el necesario, se  
»rellenan los baches, que se hayan formado, con piedra machacada,  
»y estos empleos contribuyen á mejorar la superficie del firme y  
»dificultan menos la rodadura que cuando se hacen sobre un  
»firme bueno, porque se unen y penetran en él mas fácilmente.  
»Al cabo de algun tiempo de estos cuidados continuos, la superficie  
»del firme se hace dura, unida y de fácil viabilidad. Si en este estado  
»se quiere examinar lo que ha pasado, háganse nuevas catas, y se  
»reconocerá que se ha obtenido solo una capa de 5 á 6 centímetros  
»perfectamente sana, descansando sobre el antiguo macizo del firme,  
»y que puede ser suficiente, porque es la única de que se sirven los  
»carruajes, y con un buen sistema de conservacion, las degradacio-  
»nes ya no progresarán: en este caso se puede ya, si se quiere,  
»aumentar poco á poco su espesor con los empleos de invierno.

»El mismo método de reparacion conviene tambien á los firmes  
»desgastados. Por el relleno de las pequeñas desigualdades y de los  
»baches se consigue darles bien pronto el espesor suficiente: se  
»conseguiria esto mismo sobre el terreno natural, cuanto mas sobre  
»un firme antiguo.

»Este método tiene la ventaja de proporcionar el espesor con-  
»veniente á la cualidad del terreno; así, donde los baches son mas  
»frecuentes, donde el firme está rehundido, se hace naturalmente  
»mayor empleo de materiales, y el firme recibe mas espesor.

»Cuando de los firmes antiguos no queda otra cosa que la fun-  
»dacion compuesta de piedras gruesas, es cuando está mas indicada  
»su reconstruccion; y sin embargo, tampoco en este caso conviene  
»desenvolverlo, por los inconvenientes que ya se ha dicho que ten-  
»drian lugar, y tampoco conviene emplear la piedra machacada  
»sobre las gruesas, sin una operacion preliminar. Efectivamente,  
»empleando la piedra de esta manera, se encontraria, al paso de

»los carruajes, entre la piedra gruesa que haria funciones de yunque, y la llanta de los carruajes que la aplastaria sobre él; y si bien esto que es exacto para fragmentos aislados de piedra. no lo es tanto para un gran número de ellas empotrado en las irregularidades de aquellas, nada hay, en efecto, tan desigual y tan áspero como estos firmes, cuando han servido algun tiempo á la circulación; y aunque estas desigualdades sean convenientes á la buena union del nuevo material, conviene para evitar la destruccion de este, cuando no tiene el espesor necesario, quebrantar las piedras gruesas salientes. Hecha esta operacion es cuando se procede á cubrir las desigualdades que quedan, pero con poco material, reservándose el continuar la operacion, para ir gradualmente obteniendo el espesor conveniente en tiempo húmedo, de este modo el material se une perfectamente al antiguo, y el firme se restaura con el menor perjuicio posible á la circulación.

»Este método, como vemos, aplicable á cualquier estado de la carretera, tiene la ventaja de ofrecer una mejora general, inmediata y progresiva; es decir, que desde que se empieza el trabajo, el firme se va mejorando en toda su longitud, sin pasar por un estado peor para llegar á estar mejor, sin imponer sacrificio al tránsito, y con un coste mínimo, puesto que no solamente no se ha destruido lo hecho, sino que se ha aprovechado.

»No debe, pues, recurrirse á la reconstruccion del firme, sino cuando se quiera modificar el perfil longitudinal por desmontes y terraplenes.

### 183. »**Del bombeo y del ancho de los firmes.**

»Sin entrar aquí en los detalles de la construccion del firme, diremos una palabra acerca de las condiciones mas favorables para la conservacion. Pues que con cuidados continuos se puede impedir que las degradaciones pasen de algunos centímetros, síguese de aquí que esos grandes espesores de los firmes antiguos son completamente inútiles, y que es mas conveniente emplear la misma cantidad de materiales en aumentar el ancho, disminuyendo su espesor. De este modo se obtiene una via mas ancha para la circulación, y cruzamiento de los carruajes, disminuyendo esos paseos

»fangosos, cuya conservacion es casi imposible. Es necesario tambien renunciar á esos bombeos exagerados, con el exclusivo objeto de dar salida á las aguas, que nunca se detienen sobre los firmes bien unidos. Cuanto menos bombeo tiene el firme, tanto mejor le recorren los carruajes en todos sentidos, y mas se evita, por consiguiente, la formacion de las roderas.

184. **»Resúmen.** El método de conservacion y reparacion de las carreteras afirmadas, que se acaba de exponer, puede resumirse en las prescripciones siguientes:

»1.<sup>a</sup> Para no tener polvo ni lodo en las carreteras, es necesario quitarlo á medida que se forme.

»2.<sup>a</sup> Para no tener roderas, ó lo que es lo mismo, para que los carruajes no marchen de preferencia en una misma direccion dada, es necesario que puedan pasar con igual facilidad en todo el ancho del firme.

»3.<sup>a</sup> Para que el firme no baje ni se eleve, ó lo que es lo mismo, para que no tenga baches, es necesario devolverle por el empleo de materiales el equivalente, ni mas ni menos, que se le ha quitado en polvo y lodo.»

185. **Observaciones acerca de los anteriores principios.** Las prescripciones que quedan expuestas deben solo considerarse como reglas generales, sujetas á las inevitables modificaciones motivadas por la diversidad del clima, naturaleza del suelo y clase de materiales, y que por tanto no excluyen tampoco los procedimientos particulares y precauciones esmeradas, que los ingenieros y sus subalternos pueden y deben practicar en cada caso, segun lo que la experiencia y conocimiento de la localidad les aconsejen, como mas apropiado para la mejor y mas económica conservacion de las carreteras puestas á su cuidado.

**186. Acopios de piedra machacada.—Métros cúbicos necesarios por kilómetro.**

De todo cuanto acaba de exponerse se desprende que, para la buena conservacion de las carreteras, es necesario poder disponer oportunamente así de la cantidad de material necesario, como de la mano de obra que exige su empleo. La cantidad de material ó el número de metros cúbicos que anualmente necesita un kilómetro de carretera, para que el firme conserve un espesor constante, es muy variable y depende de la calidad de los materiales, su dureza, clima de la localidad y sobre todo de la mayor ó menor frecuentacion de la carretera. Por otra parte, aun conocidas estas circunstancias, es difícil apreciar exactamente el desgaste anual de un firme, porque ni la medida directa de dicho desgaste, ni el peso de los detritus extraídos, dan resultados que merezcan entera confianza. La observacion atenta de los hechos durante algunos años, y el exámen de los resultados obtenidos por varios y muy experimentados ingenieros, han conducido sin embargo á admitir que, en circunstancias ordinarias y con materiales de mediana dureza, son necesarios anualmente y por kilómetro de 40 á 50 metros cúbicos de piedra machacada y dos á tres jornales por méτρο cúbico para su inversion, extraccion de polvo, lodo etc. por cada cien caballerías de collera de tránsito ó frecuentacion diaria. Para la aplicacion de este cálculo están asimismo conformes los ingenieros en que un animal cualquiera á toda carga equivale á. . . . . 1 collera cargada.

- Un caballo ó mula de diligencia á  $\frac{1}{3}$  de id. id.
- Id. id. de coche. . . . .  $\frac{1}{4}$  de id.

- Un caballo ó buey tirando de una carreta vacía. . . . . á  $\frac{1}{3}$  de id.
- Un animal cargado á lomo. . . . . á  $\frac{1}{3}$  de id.
- Idem suelto ó sin carga. . . . . á  $\frac{1}{6}$  de id.

En nuestro pais es muy fácil formarse una idea bastante aproximada de la frecuentacion media y diaria de una carretera por los estados mensuales de los diferentes portazgos, y en caso necesario por datos recogidos en diferentes épocas por los mismos peones camineros ú otros empleados.

Con estos datos y las observaciones y circunstancias propias de cada localidad, no será difícil apreciar en cada caso el coste ó gasto por kilómetro, necesario para la buena conservacion de una carretera.

**187. Clase de material, su recepcion y apilamiento.** Cada trozo de carretera tiene ya generalmente asignada su cantera ó punto de procedencia de los materiales, y despues de lo dicho acerca de este particular, al tratar de la construccion del firme, no creemos necesario insistir mas sobre la calidad de los materiales.

El machaqueo se hace en la misma cantera ó sobre los paseos de la carretera, hasta reducir la piedra al tamaño máximo de la de la segunda capa ó sea de 3 á 4 centíms.

La piedra machacada se coloca alternadamente sobre los paseos en montones ó cargos de  $\frac{1}{3}$  á  $\frac{1}{2}$  métro cúbico, medidos préviamente en un cajon sin fondo de aquellas dimensiones, y dando á dichos acopios ó montones la forma de un prisma triangular.

Para que el ingeniero y demás empleados puedan asegurarse con facilidad acerca del número de métros de

piedra recibidos ó invertidos en un período dado, es conveniente apilar los montones á distancias próximamente iguales, dar á estos dimensiones fijas de base y altura, señalar con un medio cualquiera los montones contados ó recibidos en cada período, invertir por totalidad el volúmen de cada monton ó cargo y adoptar en fin todas aquellas precauciones de detalle que en estas operaciones, mas importantes de lo que ordinariamente se cree, aconsejan la prudencia y el buen cumplimiento de los deberes del empleado.

**188. Efectos de los hielos.—Espaleo de nieves.**  
Las fuertes heladas producen sobre el firme efectos muy perjudiciales; si no está bien conservado ó hay empleo reciente de material, el agua filtrada en el firme aumenta de volúmen al cristalizarse y le remueve y descompone de una manera muy sensible, por cuya razon no debe bachearse ni moverse el firme en tiempo de heladas.

Además de este inconveniente, los hielos endurecen la superficie del camino y hasta la cristalizan de tal modo que en las pendientes el movimiento se hace difícil y aun peligroso, en cuyo caso debe el hielo picarse con el zapapico y extraerlo despues con las palas.

La nieve hasta 30 ó 40 centímetros de altura, aunque dificulta el tránsito, no le imposibilita, pero siempre conviene extraerla cuanto antes á las cunetas con la rastra de madera, porque su permanencia en el firme le reblandece y descompone.

La nieve se acumula generalmente en gran cantidad en los grandes desmontes, á donde es arrojada por las ventiscas; la misma accion del viento hace que se de-

tenga poca nieve sobre los terraplenes. Cuando en los desmontes se ha aglomerado gran cantidad de nieve, es necesario organizar los trabajos de su *expaleo* y extracción fuera de la vía con brigadas de peones auxiliares, bajo la dirección de los empleados del camino.

El expaleo no debe empezarse sino cuando ha cesado de nevar y el tiempo ha mejorado, de otro modo se expone casi siempre á perderse en pocos instantes el trabajo de todo un día.

Cuando el desmonte, cegado por la nieve, tiene mucha altura, se limita generalmente el trabajo á la apertura de una calle para el paso de un carruaje, practicando además, de trecho en trecho, en la misma nieve apartaderos en forma de cámaras ó nichos, en donde los peones ó guardas puedan retirarse al paso de los carruajes, sobre todo en los caminos de hierro.

La extracción de la nieve se verifica generalmente con la pala, cortándola y arrojándola en trozos fuera del desmonte, si este no es muy alto. En caso contrario, y en desmontes de mucha longitud, es necesario cargarla y extraerla en carros hasta el terraplen inmediato.

En los caminos de hierro, la locomotora facilita y activa mucho estos trabajos, ya directamente con las escobas y planchas de hierro sujetas al lanza-piedras de la máquina, ya para la extracción de la nieve con los wagones descubiertos, ya en fin para las diferentes maniobras y faenas del personal. Cuando en estos trabajos descubre el sol, enferman muchos peones de la vista, por lo que, en estos casos, es conveniente proveerlos de anteojos azules ó de otro color que debilite la fuerza de la luz.

La acumulacion de la nieve en los grandes desmontes puede disminuirse mucho en algunos casos, construyendo en su parte superior y del lado de los vientos reinantes fuertes vallados de tierra ó parapetos de madera ó piedra contra los que se detenga la nieve arrastrada por las ventiscas. Sin embargo, como no siempre soplan los mismos vientos en estas épocas, es difícil que estas obras preventivas correspondan siempre á su objeto y aun pudieran producir un efecto enteramente contrario. Al paso de las grandes divisorias es sin embargo del mayor interés, sobre todo en los caminos de hierro, el estudio de los medios mas adecuados para impedir ó al menos disminuir la grande acumulacion de nieve en las trincheras largas y elevadas.

**189. Conservacion de los firmes empedrados.**

La conservacion de esta clase de afirmados se verifica ó reponiendo aisladamente los adoquines hundidos, rotos ó inutilizados, ó bien reparando por trozos segun los exija su mal estado. Para esta reparacion, despues de haber levantado el adoquinado, se remueve, arregla y apisona la base de arena, agregando la cantidad de esta que sea necesaria, se procede despues al asiento del nuevo adoquinado en la forma que se dijo al tratar de la construccion de esta clase de firmes.

Para la reposicion por piezas, despues de haber descarnado y limpiado las juntas, se apalanca y extrae el adoquin ó bien se le sostiene 2 ó 3 centímetros mas alto que el resto del empedrado, y en esta posicion se introduce arena por las juntas y se le coloca y apisona para que siente bien.

A esta clase de afirmados es igualmente conveniente para su mejor conservacion cuanto por regla general queda antes expuesto respecto á los buenos desagües, así en su superficie como en la caja y base del adoquinado, en donde se reune naturalmente mas agua que en la de los firmes ordinarios.

**190. Conservacion de las obras de tierra. Desmontes y terraplenes.** Al tratar de esta parte de la construccion hemos expuesto las diferentes causas que pueden ocasionar movimientos y desarreglos en los macizos y taludes de los terraplenes y desmontes, y los diferentes medios que segun las circunstancias debian emplearse para asegurar la estabilidad y forma ó perfil adoptado ó mas conveniente. Despues de lo allí indicado, creemos inútil insistir mas sobre este particular.

**191. Cunetas.** La entrada y permanencia de las aguas en un camino es una causa incesante de molestia para el público y de destruccion para la via, y por tanto es del mayor interés conservar bien expedito el curso natural de las aguas por las cunetas y pies de los terraplenes, hasta llegar á los puntos de desagüe correspondientes, para lo cual es necesario limpiar y desembrozar periodicamente las cunetas, extrayendo las tierras caidas de los desmontes ó depositadas por las aguas, hasta dejarlas nuevamente con las dimensiones, perfil y pendiente que deban tener segun los casos; cuidando de que su fondo esté siempre mas bajo que la caja del firme y de encacharle ó afirmarle en aquellos puntos en que el terreno sea flojo y se repitan las socavaciones. Iguales consideraciones y principios son aplicables á las cunetas de coro-

nacion y demás zanjas y obras de saneamiento y desagüe. Este desembroce y limpieza debe estar hecha para la entrada ó proximidad del invierno, á fin de evitar las consecuencias de los largos temporales de aguas, tan perjudiciales á las obras de la via, y tambien despues de cada uno de estos conviene hacer un recorrido, para hacer desaparecer las obstrucciones principales y evitar la detencion y rebalse de las aguas, si estas continuasen sin dar lugar á una limpieza general.

192. **Paseos.** La conservacion de los paseos consiste simplemente en conservarles el perfil trasversal inclinado que se les dió en la construccion, de manera que las aguas llovedizas que el bombeo del firme echa sobre aquellas, corran sin detencion á las cunetas ó taludes del terraplen. Todo está pues reducido, en circunstancias ordinarias, á revocar é igualar las pequeñas desigualdades producidas por el paso de las aguas, el depósito de los detritus extraidos del firme, el machaqueo de la piedra destinada á la conservacion, y por último por el desarrollo de la vegetacion.

Es tambien con frecuencia necesario ensanchar unas veces y rebajar otras los paseos, lo primero cuando por falta de conservacion ó en los terraplenes nuevos se han corrido las tierras. Para esta operacion debe emplearse tierra de buena calidad; los productos de la limpia del firme, si este es calizo, producen demasiado lodo y no son por esto convenientes.

El rebajado de los paseos es necesario ya por la aglomeracion de polvo y lodo ocasionada por el tránsito ó por el asiento ó desgaste del firme en los terraplenes.

En este último caso, y para no verse después en la precisión de recargarlos, cuando se repare el firme, es preferible limitar el rebajado á lo puramente indispensable para la salida de las aguas, lo cual puede obtenerse por pequeñas regueras transversales.

**193. Conservacion de las obras de fábrica.**

En los puentes y pontones, cuyo trasdos llega hasta el firme, debe conservarse expedita la salida de las aguas por los imbornales que generalmente hay debajo de los antepechos ó en otro caso por los extremos de estos, si la rasante está en pendiente.

La vegetacion que con frecuencia se desarrolla en las juntas de la sillería y mampostería las desune, y llega hasta remover la fábrica, si no se la arranca antes que alcance gran crecimiento; la vegetacion en las obras de fábrica es además de muy mal efecto á la vista, y revela poco esmero en el servicio de su conservacion. La estacion generalmente mas á propósito para la extraccion y limpieza de la vegetacion es entre el invierno y la primavera, antes que empiece su crecimiento y desarrollo. Periódicamente, y sobre todo después de las grandes crecidas de los rios, deben reconocerse con el mayor cuidado los encachados de las tajeas y alcantarillas, y cimientos de las pilas y estribos de todas las obras de fábrica, particularmente los que consistan en emparrillados, escolleras ú otro medio cualquiera artificial: Si existen socavaciones ú otros desperfectos en esta parte tan esencial de las construcciones, debe procederse inmediatamente, y segun el grado de su importancia y recursos disponibles, ó á las reparaciones y recalces necesarios, ó á la forma-

cion del correspondiente proyecto; sin perjuicio, en este último caso, de realizar provisionalmente la reparación indispensable hasta la aprobación y ejecución de aquel. Iguales cuidados y consideraciones deben tenerse presentes respecto á los muros de sostenimiento de todas clases, expuestos á la acción de la corriente de las aguas.

Los caños, tajeas y demás obras de pequeño desagüe deben conservarse limpios y expeditos á fin de facilitar el libre curso de las aguas, y evitar las socavaciones y roturas que en otro caso son consiguientes.

Los puentes y pontones de madera ó hierro deben pintarse periódicamente, examinando también con esmero el estado de sus diferentes piezas, juntas y ensamblajes, y procediendo á las pequeñas reparaciones que parezcan necesarias. El buen estado de la pintura es muy esencial para la conservación de esta clase de construcciones, y el recorrido de las tuercas, ó el reemplazo oportuno de una pequeña pieza, evita no pocas veces desperfectos de consideración ó acaso algún funesto accidente.

**194. Conservacion de las obras accesorias. Casas de peones y de portazgos.** Las principales obras de conservación que exigen las casetas de los peones camineros y demás edificios dependientes de la carretera son los retejos, los revoques exteriores y los enlucidos ó blanqueos interiores, así como la pintura de los aleros del tejado, y de las puertas y ventanas. Todas estas reparaciones periódicas son indispensables para la mejor conservación de estos edificios, y la estación más á propósito para su ejecución es generalmente la del verano ú otoño.

195. **Guarda-ruedas, malecones y postes kilométricos.** Deben reponerse oportunamente los guarda-ruedas derribados por las ruedas de los carruajes ú otra causa cualquiera.

Los malecones de piedra ó tierra deben repararse también, arreglando los materiales caidos, procurando conservarlos segun su clase y primitiva construcción, y limpiando el lodo y tierra que al pié de ellos se aglomera generalmente en los paseos. Iguales ó mayores cuidados deben tenerse con los postes kilométricos, indicadores etc., reponiéndolos ó reparándolos oportunamente y renovando los números y letreros que se hayan borrado. Todos estos pequeños trabajos se verifican tambien generalmente en el verano.

196. **Fuentes y abrevaderos.** Deben reconocerse con frecuencia sus cañerías y depósitos y limpiarse los vasos ó pilones, haciendo en unos y otros todos los reparos que exija su buena conservacion, á fin de que no se interrumpa el útil servicio á que estas obras están destinadas.

197. **Conservacion del arbolado.** El arbolado exige, para su crecimiento y desarrollo, continuos cuidados de que vamos á dar una ligera idea.

Mientras los árboles son jóvenes necesitan continuos riegos en la época de los grandes calores del verano; esta operacion, aunque á veces costosa, es casi siempre indispensable para evitar la pérdida del árbol. Los riegos deben hacerse con preferencia á la caída de la tarde.

Para evitar la rotura del árbol por la accion de los vientos, por la malevolencia de algunos transeuntes ó

por el ganado, es muy conveniente sujetar los plantones á estacas fijas en su pié, ligándolos con mimbres ó cuerdas de esparto y defendiendo además su pié con manojos de zarzas ó espinos sujetos tambien al árbol por ligaduras de mimbres.

La limpia y poda es una operacion muy delicada para la vida del arbolado, y en nuestro concepto debe limitarse en general á una limpia anual, esto es, á quitar el moho y cortar los brotes ó ramitas que haya en el tronco del árbol hasta su copa, y en los árboles piramidales en todo el tercio inferior del tronco, á cortar las ramas que perjudiquen al crecimiento del árbol inmediato, ofendan al camino ó á las heredades contiguas, á cortar las ramas dañadas ó que por muy espesas perjudiquen su mútuo desarrollo, entresacándolas y conservando las mas sanas, gruesas y rectas; pero en ningun caso creemos que debe desmocharse completamente el árbol, pues si esto pudiera parecer de alguna utilidad por el valor de la leña, hace en cambio perder el objeto y buenos efectos del arbolado. Todas estas operaciones de limpia, escamondeo y poda deben verificarse al final del invierno, á fin de que los cortes y llagas queden poco tiempo descubiertas á la accion de los frios y hielos.

Para todos los detalles de los trabajos de conservacion que quedan indicados, y en los que no hemos podido entrar por la índole de estas lecciones, recomendamos como muy útil é interesante la «*Instruccion para uso de los sobrestantes*» escrita por el Ingeniero D. Antonio Lopez.

198. **Organizacion del personal de conservacion.** Los trabajos de conservacion, así como la vigilancia y policía de las carreteras, están confiados á los *peones camineros*, cada uno de los cuales está encargado de dos, tres ó mas kilómetros segun la importancia de la carretera, y al que se agregan los *peones auxiliares* ó temporeros que reclaman las circunstancias de los trabajos. El peon caminero es el jefe inmediato de los auxiliares ocupados en su canton ó distrito.

Cada cuatro ó mas peones camineros constituyen una brigada ó cuadrilla al cargo de un *peon capataz*, jefe inmediato de dichos peones. Los peones capataces no tienen generalmente á su cuidado porcion alguna de la carretera como el caminero, sino solo la vigilancia de los trabajos y personal de su trozo.

Cada seccion de carretera, de 30 á 40 kilómetros, está confiada á un *Sobrestante*, y por último cada *Ayudante* á las órdenes del *Ingeniero*, su inmediato jefe, está encargado de la conservacion de una ó mas carreteras segun las circunstancias. El Ingeniero Jefe de la provincia, por sí y por medio de los [Ingenieros subalternos á sus órdenes, dirige el servicio de conservacion de las carreteras, como todos los demás correspondientes á las obras públicas de la provincia de su mando.

La organizacion y deberes de los peones camineros y capataces están consignados en el *reglamento* aprobado por S. M. en 19 de Enero de 1867, de que cada uno tiene un ejemplar en su libreta y cartera.

La vigilancia y policía de las carreteras se ejerce por el personal fijo encargado de su conservacion con arreglo

al *Reglamento para la conservacion y policia*, aprobado por S. M. en 19 de Enero de 1867, de que los peones deben tambien poseer un ejemplar.

Los trabajos de conservacion se ejecutan por los peones camineros y auxiliares, con sujecion á las disposiciones del capataz, sobrestante y demás jefes, segun sus respectivas atribuciones ú órdenes emanadas del Ingeniero Jefe.

---

---

## SECCION TERCERA.

---

### TRAZADO Y PROYECTO.

---

#### CAPÍTULO PRIMERO.

#### CONDICIONES DEL TRAZADO DE UNA VIA DE COMUNICACION.—MEDIOS DE SATISFACERLAS.

---

199. **Condiciones generales.** Toda via de comunicacion debe satisfacer las atenciones exigidas: 1.º por los intereses generales del pais; 2.º por los de la localidad que la via debe atravesar.

A la primera clase corresponden los altos intereses *administrativos y políticos*, confiados á los poderes del Estado y debemos aquí suponer que, al acordar el Gobierno la ejecucion de una via, lo ha hecho con todo el

conocimiento necesario de que ha de facilitar su acción administrativa y de gobierno en todos los ramos ó dependencias del servicio público.

A esta misma clase corresponden las condiciones *militares ó de defensa*. Cuando una vía de comunicación atraviesa las inmediaciones ó zona militar de una plaza fuerte, la proximidad de las fronteras, costas ú otros puntos cualesquiera importantes para la defensa militar del país, una comisión mixta de Ingenieros militares y de caminos acuerda sobre el terreno las condiciones que el trazado debe satisfacer, caso de que estas no hayan sido previamente resueltas y comunicadas por el mismo Gobierno. No insistiremos, por tanto, mas sobre este particular de competencia especial del cuerpo de Ingenieros del ejército.

**200. Condiciones facultativas y económicas.** Consideramos íntimamente ligados estos dos principios, y no creemos que pueda calificarse *facultativamente* de bueno aquel proyecto ó trazado de una vía, que no llene cumplidamente su objeto bajo el punto de vista económico.

Siendo uno de los principales objetos de toda vía de comunicación favorecer el desarrollo de los intereses comerciales, deberá satisfacer á las condiciones siguientes:

1.<sup>a</sup> Que el movimiento de los trasportes sea el mas fácil y económico respecto á las vías ó medios de transporte antes existentes.

2.<sup>a</sup> Que entre los puntos extremos se extienda este beneficio á la mayor zona que sea posible.

3.<sup>a</sup> Que estos resultados se obtengan de la manera

mas económica ó con el menor gasto posible, así en la construccion como en la conservacion de las obras.

En la mayor parte de los casos es difícil satisfacer todas estas condiciones de una manera rigurosa; indicaremos sin embargo aquellos principios y consideraciones de mayor interés, que en esta materia deben tenerse presentes para conciliar los extremos y condiciones de un buen trazado, en cuyo trabajo entran siempre por mucho la habilidad y el golpe de vista del Ingeniero y la facilidad que la experiencia y el conocimiento práctico de estas cuestiones le dan para resolverlas, así sobre el terreno, como á la simple inspeccion del plano.

201. **Menor longitud de la via.** A igualdad de las demás condiciones, es evidente que los trasportes serán tanto mas económicos cuanto menor sea el trayecto recorrido, y en la imposibilidad, casi siempre, de que este sea una línea recta, habrá al menos una marcada conveniencia de que la série de las alineaciones que se establezcan, se separen lo menos posible de la única recta que une los dos puntos extremos dados.

202. **Influencia de las pendientes.—Pendientes límites en las carreteras.** Es evidente que otra de las circunstancias mas favorables para el movimiento de los trasportes seria la de una via horizontal; el motor ejerceria entonces solo un esfuerzo representado por el rozamiento del carruaje sobre la via. Representando por  $P$  el peso del carruaje, por  $f$  el coeficiente de rozamiento y por  $F$  la fuerza del motor se verificará

$$F = Pf.$$

En las carreteras medianamente conservadas,  $f = \frac{1}{20}$

ó 0,05 por término medio, y fijando en 60 kilogramos el esfuerzo ordinario del caballo, la carga arrastrada sería

$$P = \frac{60}{0,05} = 1200 \text{ kilogramos.}$$

Sobre una rampa el peso del carruaje y el del motor producen una resultante vertical que se descompone en dos fuerzas, una normal al plano de la rampa y otra paralela. Si se representa por

$P$  el peso del carruaje

$p$  el del motor

$Q$  la componente normal al plano inclinado

$F$  la componente paralela á este ó sea la *gravedad relativa*

$l$  la longitud de la rasante

$L$  la de su proyeccion horizontal ó base del plano inclinado.

$h$  la altura entre los puntos extremos

$f$  el valor del rozamiento

$R$  la resistencia total ó fuerza de tiro necesaria se tendrá (Mecánica, plano inclinado)

$R = fQ + F \dots Q = P \frac{L}{l}$  y  $F = (P+p) \frac{h}{l}$ , de donde

$$R = fP \frac{L}{l} + (P+p) \frac{h}{l}.$$

Tomando á  $l$  como unidad de longitud, y observando que en las rampas ordinarias la relacion  $\frac{L}{l}$  difiere muy poco de la unidad resultará

$$R = fP + (P+p) h \quad (1)$$

En las bajadas ó pendientes el segundo término de esta fórmula sería negativo, y se verificará

$$R = fP - (P+p) h \quad (2)$$

lo que manifiesta que en este caso el motor no haría esfuerzo alguno cuando

$$f P = (P + p) h \quad \text{ó} \quad h = \frac{f P}{P + p}$$

Pasado este límite sería necesario aumentar el rozamiento por medio de las galgas ó frenos para que esta misma condicion se verificara.

Para que el motor recorra ó baje la pendiente como si fuera libre, es necesario que el único esfuerzo que haga sea el necesario para mover su propio peso, y como este actuará en sentido del movimiento, la fuerza necesaria para equilibrarle será negativa ó

$$R = -p h$$

y sustituyendo este valor en la fórmula general (2) resultará

$$-p h = f P - P h - p h \quad \text{ó} \\ f = h.$$

Este valor de  $h$  será por tanto el límite de las pendientes para que en las bajadas pueda el motor ejercer cómodamente su traccion, y él hace ver que será tanto mas pequeño, cuanto mas perfecta sea la via de comunicacion y menor la resistencia que oponga el rozamiento; y contrayéndonos á las carreteras cuanto mas unida y suave esté la superficie del firme ó se encuentre este en mejor estado de conservacion. Para los casos ordinarios de las carreteras actuales,  $f = 0,05$ , y por esto la pendiente de cinco por ciento está adoptada como límite superior, pero que, repetimos, habrá casos en que por estas consideraciones debiera ser bastante menor.

La fórmula general (1) hace tambien ver que, en el caso de la subida, el esfuerzo del motor será en las car-

reteras algo mas del doble en la pendiente de 0,05 y como se admite generalmente que los caballos pueden duplicar durante algun tiempo la cantidad de accion que desarrollan en las partes llanas del camino, la pendiente citada ha sido considerada, por esta nueva razon, como limite conveniente para las subidas, pero que seria necesario reducir á 2,5 por 100, si la buena construccion y conservacion del firme disminuyen la fuerza de tiro en llanura de  $\frac{1}{20}$  á  $\frac{1}{40}$ .

De estas consideraciones se desprende tambien que las pendientes límites, no deben ser muy largas; de otra manera la excepcion se convertiria en regla, porque no debe contarse sino con el exceso muy limitado de trabajo de que es capaz el motor sobre el que se le exige habitualmente.

Es asimismo muy oportuno tener en cuenta la frecuentacion ó importancia de la carretera, pues así como apareceria muy razonable disminuir todo lo posible aquel limite en las carreteras de mucho tránsito, no habria grande inconveniente en aumentarle hasta 6 ó 7 por 100 en las vecinales ó menos transitadas, sobre todo para suprimir obras muy costosas ó disminuir su importancia.

Al adoptar una pendiente no debe perderse de vista la conveniencia *del menor desarrollo ó longitud del camino*. En efecto, si para subir de un punto *A* á otro *B* cuyo desnivel es *H*, y por evitar la pendiente limite de 5 por 100, se quisiera reducir esta á 3, se aumentaria el desarrollo en la relacion de 3 á 5 y en la misma relacion tambien por regla general, el coste de construccion y conservacion de las obras; es decir, que si  $H=50$  métrós y la

longitud  $L=1000$  metros, se necesitaria con la pendiente del 3 por 100 un desarrollo de 1666 metros, lo cual ya es un grave inconveniente bajo el punto de vista económico. Además el trabajo ó cantidad de accion, lejos de disminuir habrá aumentado. En efecto, segun la fórmula (1) esta cantidad de accion será en el primer caso

$$R L = f P L + (P+p) h L \text{ y como } h L = H \text{ será}$$

$$R L = f P L + (P+p) H \text{ y en el segundo}$$

$$R' L' = f P L' + (P+p) H, \text{ puesto que } H \text{ es constante.}$$

El valor de  $R' L'$  será mayor que el de  $R L$ , puesto que en los segundos miembros se vé que  $L'$  es mayor que  $L$  en la relacion de 5 á 3, y todas las demás cantidades son iguales.

Es evidente que este principio solo debe extenderse y aplicarse dentro de las pendientes límites, ó del exceso de fatiga que puede exigirse de los motores durante un tiempo dado, y que por tanto no está en oposicion con lo que hemos indicado, ó nos resta decir, sobre la conveniencia de no dar excesiva longitud á dichas pendientes y á la distribucion ó disminucion de estas para aliviar la fatiga de los animales de tiro en casos dados.

Las pendientes tienen además una influencia muy sensible en la conservacion de las carreteras, circunstancia importante de que no es posible prescindir. En las fuertes pendientes el agua surca y descarna el firme, destruyendo la agregacion de los materiales; en los tramos llanos, al contrario, el agua se estanca y detiene en las mas pequeñas irregularidades del firme y paseos, reblandece y desarregla uno y otros, y dificulta el tránsito mas que en los tramos en que hay alguna pendiente. La de

1,5 á 2 por 100, parece ser la mas conveniente para la buena conservacion de las carreteras, por no dar lugar á ninguno de los inconvenientes extremos que quedan indicados.

Así, aunque teóricamente, y en igualdad de las demás circunstancias, los tramos horizontales son los mas ventajosos para el tiro, en la práctica desaparece realmente esta ventaja, no solo por lo que acaba de exponerse, sino porque la experiencia ha enseñado que los pesos trasportados no son sensiblemente mayores en este caso que en las pendientes medias variadas, porque hay poca pérdida de trabajo en subir para volver á bajar cuando las pendientes son pequeñas; además los tramos horizontales son una excepcion en los accidentes generales de un terreno de alguna longitud, y es evidente que las cargas no pueden arreglarse sino á las pendientes medias generales de todo el trayecto, exceptuando las pendientes límites muy continuadas, que puedan exigir aumento en la fuerza de tiro, como sucede al paso de las divisorias de primer orden.

203. **Distribucion de las pendientes.** La importancia de las pendientes está no solo en su valor absoluto, sino en su distribucion ó en la manera de sucederse. Siendo una de las condiciones especiales de un buen trazado vertical, que la altura ó suma de alturas salvadas sea la menor posible entre dos puntos dados para emplear la menor cantidad de trabajo, es evidente que, cuando se trate de elevar de un punto inferior á otro superior, será conveniente: 1.º que la suma de alturas subidas no exceda de la diferencia que exista entre los

dos puntos dados y que por tanto no *se baje ó pierda inútilmente altura para volver á subirla*. 2.º Que se establezcan pendientes uniformes y continuas desde el punto mas bajo al mas alto, en cuanto para conseguir esto no sea preciso ejecutar obras de un coste excesivo, y cuidando de no hacer demasiado largas las pendientes límites, sino interrumpirlas con otras de 1 á 2 centímetros que sirvan de descanso á los motores en la subida y para moderar la velocidad en las bajadas. En los largos trayectos de pendientes fuertes, como sucede en la subida de las divisorias de importancia, seria sin embargo muy conveniente, siempre que las condiciones locales lo permitieran sin gastos excesivos, emplear las pendientes mayores al principio de la subida y disminuir algo las últimas á fin de armonizar así el esfuerzo de tiro necesario con el decrecimiento de fuerza de los motores.

En los países poco accidentados, ó cuando se atraviesan valles muy abiertos y estribaciones poco elevadas, los principios anteriores no deben aplicarse de una manera absoluta en grande extension de terreno; porque no siendo entonces necesario adoptar pendientes sino de 1 á 3 centímetros, queda ya expuesta la poca influencia que estas pendientes medias ejercen en las cargas, y una série de rampas y pendientes ó de subidas y bajadas bien concebida entre estos límites es mas útil que perjudicial para la menor fatiga de los motores, sobre todo en los carruajes de velocidad, que pueden subir una gran parte de la rampa con la adquirida en la bajada ó pendiente anterior.

204. **Alineaciones curvas.—Su influencia en**

**la traccion.** No siendo en general posible el trazado de una via en una sola alineacion recta, se establecen varias de la mayor longitud y lo mas próximas que sea posible á la direccion general adoptada. El paso de los ángulos formados por las alineaciones rectas seria muy dificil y peligroso en ciertos casos, y cuando menos muy violento para los motores animados, por lo que se verifica por medio de *curvas tangentes* á las alineaciones rectas. El paso de las curvas es una causa de aumento de resistencia ó de pérdida de fuerza en la traccion, tanto mayor cuanto mayor sea la curvatura de la curva ó menor su radio. Si contrayéndonos á las carreteras, suponemos que  $A B, B C, C D$ ..... son respectivamente la posicion de un carruaje y de sus motores en una curva, el esfuerzo del primer motor  $E D$  se descompone en dos, uno  $D P$  en la direccion y sentido del anterior  $D C$  y otro  $D Q$  perpendicular á este; el primero será tanto mayor cuanto menor sea el ángulo  $P D E$ , y al contrario el segundo; y como el valor de dicho ángulo está en razon inversa del radio, se deduce que el tiro de cada motor estará tanto mas favorecido, ó menos contrariado por el inmediato, cuanto mayor sea el radio de la curva. De una manera análoga podrian calcularse las fuerzas que actúan en la direccion de cada motor, y la normal á esta ó que tiende á separarle continuamente de la direccion en que marcha. El último motor, y lo mismo en el caso de ser este único, produce un efecto idéntico sobre el carruaje, esto es, que para seguir el camino  $B C$  sufre la accion de una fuerza  $B b$  que le impele hácia el centro de la curva.

Fig. 65.

El efecto de esta fuerza, y el movimiento que es consiguiente, se observa en los carruajes de cuatro ruedas que, para facilitar el paso de las curvas, tienen el juego delantero móvil al rededor de un eje ó clavija maestra; el par de ruedas delantero queda así siempre perpendicular á la lanza segun la que se verifica el tiro, y los ejes convergen segun los radios de la curva. Cuando este juego por debajo de la plataforma del carruaje, no es suficiente, aumentarán las resistencias por los rozamientos de resbalamiento que necesariamente habrian de producirse. Las indicaciones anteriores demuestran que la fuerza ó componente normal que empuja al carruaje y á cada motor hácia el centro, es tanto mayor cuanto mas largo es el carruaje y mayor la línea ó longitud ocupada por los motores situados delante.

La experiencia ha demostrado que los efectos anteriores son en las carreteras poco sensibles, cuando el radio de la curva no es menor de 30 méetros, que por tanto se adopta generalmente *como límite inferior*.

Siendo las curvas un motivo de aumento de resistencia en la traccion, será conveniente emplearlas del mayor radio posible en las grandes pendientes, ó bien disminuir esta cuando no es posible aumentar el radio, en cuyo caso será tambien muy conveniente aumentar el ancho de la via para que el cambio de direccion de los carruajes de gran longitud pueda hacerse de la manera mas cómoda y segura. Esta última consideracion, la de la seguridad, aconseja que las curvas de pequeño radio se sitúen en los desmontes mas bien que en los terraplenes.

Cuando la velocidad es muy grande, el movimiento curvilíneo ocasiona una nueva fuerza, la fuerza *centrífuga*, que dá lugar á otras resistencias y peligros en la marcha. En las carreteras, esta nueva fuerza es de poca importancia, y por esto no se tienen ordinariamente en cuenta sus efectos, muy notables en los caminos de hierro como se verá al tratar de esta clase de vias.

Las curvas que generalmente se emplean para unir las alineaciones rectas, son el arco de círculo y la parábola; el primero casi con exclusiva preferencia á la segunda por la facilidad de su trazado y las ventajas de la uniformidad de curvatura. En lugar oportuno se expondrán mas adelante los principales procedimientos para el trazado de estas curvas sobre el terreno.

205. **Puntos principales de paso.** Para que una via de comunicacion favorezca el mayor número posible de intereses, ó extienda en una ancha zona las ventajas que resultan de su construccion, es indispensable que entre los puntos extremos recorra los mas notables é importantes por su poblacion, su produccion, su industria de cualquiera clase, mercados, establecimientos públicos etc. etc. Para conseguir este importante objeto será preciso, en muchos casos, alargar algun tanto la longitud de la via; pero, si este aumento no es excesivo respecto al desarrollo total, será en general preferible á la direccion mas corta.

Por regla general los puntos de mas produccion y riqueza están situados en los valles y terrenos mas abrigados, que son precisamente los mas convenientes para la direccion general de la línea, y que reúnen mejores

circunstancias para llenar las condiciones facultativas que quedan indicadas y que resta exponer.

Así, entre las varias direcciones que pueden ofrecerse para el trazado deberá generalmente preferirse la marcada por la dirección de los valles y terrenos abiertos y saneados, que son de suyo los mas productivos y poblados.

206. **Menor coste de construcción y conservación de las obras.** En cuanto lo permitan las demás condiciones expuestas, la economía en la construcción de las obras exige, que así el eje ó directriz de la vía, como su rasante, se acomoden y plieguen cuanto sea posible á todos los accidentes y ondulaciones mas notables del terreno, á fin de disminuir el volúmen de los desmontes y terraplenes, y que el producto de los primeros se emplee en la ejecución de los segundos; que se reduzca el número é importancia de las obras de fábrica, estudiando con especial cuidado los puntos de paso mas convenientes de las corrientes de agua, y que reúnan condiciones mas ventajosas para la mas fácil y económica ejecución de las obras, y por último, que en igualdad de circunstancias, se prefieran para el trazado aquellos terrenos en los que á su proximidad existan canteras ó materiales á propósito para la construcción de las diversas clases de obras.

El paso y dirección del trazado por los *collados* ó *puntos mas bajos* de las cordilleras y estribaciones que dividen unos valles de otros, es condicion indispensable y de la mayor importancia en todo buen trazado, exigida no solo por lo que afecta á las pendientes y desarrollo de

la via, sino por el coste de las obras y de su conservacion. La reduccion, bien entendida, en la importancia y coste de las obras envuelve casi siempre la economia en su conservacion. Los grandes desmontes y terraplenes son naturalmente de mas dificil y costosa conservacion que los de pequeña altura; un puente construido sobre cimientto artificial en un terreno flojo y socavable, y en que las crecidas ataquen á los terraplenes contiguos, exige naturalmente doble vigilancia y cuidado que otro de igual clase cimentado en terreno firme y en el que el rio encajonado entre elevadas márgenes no inundase los terrenos contiguos en la época de las crecidas. La direccion del trazado por los valles abiertos, terrenos bien saneados y con exposicion al mediodia, son circunstancias muy recomendables para la mejor conservacion de las explanaciones y afirmado.

Volveremos á ocuparnos mas adelante y mas en detalle de algunos de estos principios, al tratar de los trabajos topográficos y de gabinete que exige el trazado.



El paso y direccion del trazado por los valles á puntos más bajos de las cordilleras y estribaciones que dividen unos valles de otros, es condición indispensable y de la mayor importancia en todo buen trazado, exigida no solo por lo que afecta á las pendientes y desarrollo de

## CAPÍTULO SEGUNDO.

### TRABAJOS DE CAMPO.

RECONOCIMIENTO DEL TERRENO. — PLANO. — PERFILES. — PRÁCTICA  
Y MARCHA DE ESTAS OPERACIONES.

207. **Necesidad de los reconocimientos previos del terreno.** La determinación del eje ó directriz, y de la rasante de un camino exige el conocimiento completo y exacto de la zona de terreno que llena y satisface mejor las condiciones indicadas en el anterior capítulo, y á fin de concretar y limitar los trabajos topográficos del plano y perfiles á lo puramente indispensable para el objeto, es muy conveniente, y casi siempre suficiente, hacer un reconocimiento previo del terreno para

deslindar y separar del resto aquella porcion ó zona sobre la que han de recaer los estudios de detalle.

**208. Constitucion ó forma hidrográfica del terreno.** Las desigualdades, elevaciones y depresiones que se observan en una extension de un pais cualquiera, tienen entre sí una cierta relacion ó dependencia, y en armonía con las corrientes de agua que surcan el mismo territorio.

La extension de tierras cuyas aguas afluyen á un mismo rio se denomina *region ó cuenca hidrográfica* del mismo, así se dice cuenca del Duero, Tajo etc. La série ó lugar de todos los puntos, desde donde las aguas se separan ó dividen para dos rios diferentes, es la línea *mas alta* y límite comun de las dos cuencas, que recibe el nombre de *divisoria* de aguas, interseccion de las dos laderas ó *vertientes* que constituyen la *cordillera* ó montaña que separa una cuenca de otra. Si estas divisorias lo son de rios de primer orden, se las llama tambien cordilleras ó divisorias de *primer orden*.

La série ó lugar de los puntos en que se reunen las aguas de las dos vertientes de una misma cuenca es la línea mas baja de esta y por tanto la del cauce ó madre por donde corren las aguas del rio; esta línea *mas baja*, llamada generalmente el *talweg*, es la interseccion de las dos vertientes opuestas de una misma cuenca, y su direccion y pendiente general es próximamente la de la divisoria del mismo orden.

Siendo las dos vertientes ó laderas de una divisoria superficies muy accidentadas é irregulares, la divisoria es una línea ondulada así horizontal como verticalmente,

y en este sentido presenta puntos singulares *mas altos* ó *mas bajos* que todos los inmediatos, y las aguas descenden naturalmente desde los primeros á los segundos, en los que toman su origen los varios *afluentes* de la cuenca principal, siguiendo las líneas de máxima pendiente de cada ladera y dando lugar á la formacion de las cuencas ó valles de segundo órden, entre cada dos de los cuales existe una divisoria tambien de segundo órden, *estribacion* ó *contrafuerte* que tiene su origen en el punto mas elevado de la primera. En cada una de estas estribaciones se verifica una division análoga que dá lugar á la formacion de las cuencas ó valles y estribaciones de tercer órden etc. De esta disposicion general del terreno se deduce, que las cuencas ó valles y divisorias del segundo órden tienen una direccion próximamente perpendicular á las del primero, las de tercer órden perpendiculares á las de segundo, ó sensiblemente paralelas á las de primero, y así sucesivamente, y que cada cuenca ó valle tiene su origen en un punto mas bajo ó *collado* de la divisoria del órden anterior y cada estribacion en el punto mas alto.

Si se representa el terreno por curvas de nivel, es fácil ver que todas las comprendidas entre un punto mas alto y el inmediato serán curvas cerradas. Para el punto mas bajo, al contrario, dos secciones horizontales una mas baja y otra mas alta que este darán cuatro curvas que se volverán sus convexidades y entre las que se hallará el punto mas bajo, en el que las cuatro curvas se convertirian en dos que tendrian dicho punto comun.

Con estas indicaciones generales basta para poder

formarse una idea completa de la disposicion general de un pais, ya sobre el terreno, ya sobre un plano en que aquel esté bien representado, y descubrir por tanto los puntos mas altos y mas bajos de cada divisoria, y la direccion y extension de sus diferentes valles, hasta las estribaciones y encañadas del último orden.

**209. Modo de hacer los reconocimientos.**  
—**Datos que deben recogerse.** A partir del punto de origen del camino, debe reconocerse el terreno siguiendo la direccion mas corta hácia el otro extremo, direccion indicada generalmente por los caminos y veredas ordinarias, que por otra parte marcan, aunque sea en corta escala, la corriente de los trasportes y relaciones existentes, circunstancia muy atendible en la buena direccion de un trazado.

En el orden en que sucesivamente se vayan presentando sobre el terreno, se anotarán los puntos mas bajos, depresiones ó collados de las divisorias ó estribaciones que sea preciso atravesar; las laderas ó vertientes que parecen ofrecer mejores condiciones para el establecimiento de la línea; el número é importancia de las corrientes de agua, los puntos de paso mas convenientes y la clase de obra que para esto deberá ejecutarse segun las circunstancias y materiales de la localidad; la existencia de puentes ú otras obras que con alguna modificacion puedan aprovecharse para el paso; la extension y condiciones de los valles ó encañadas que sea posible seguir ó atravesar; los pueblos, puntos de produccion como fábricas, establecimientos mineros etc., por donde sea muy conveniente el paso del camino; los materiales de cons-

truccion como piedra, ladrillo, madera etc. que cada localidad suministra ó produce y sus precios, y distancias á la zona reconocida; los accidentes, clase y valores de los terrenos recorridos y las distancias aproximadas entre cada dos puntos, cuyas condiciones sean próximamente iguales. Para adquirir muchos de estos datos será muy conveniente, y casi indispensable, hacerse acompañar en estos reconocimientos de una ó mas personas conocedoras de la localidad, y para anotarlos todos con claridad y órden, será tambien muy útil la formacion de un ligero croquis del terreno, aclarado con las notas y explicaciones descriptivas que sean necesarias.

A las observaciones parciales hechas en los trayectos sucesivamente recorridos, conviene agregar observaciones generales hechas desde los puntos mas elevados y desde los que se descubra la mayor extension posible de terreno.

Estos reconocimientos generales completan y unifican los parciales antes hechos, preparan para los que despues hayan de hacerse, y sirven siempre para formar mas en grande una extensa idea acerca de la direccion general del trazado y de poder comparar unas direcciones con otras.

Se recomienda tambien generalmente reconocer el terreno en los dos sentidos, pero para esto no creemos necesario recorrerle dos veces; basta en la generalidad de los casos hacer de trecho en trecho observaciones retrospectivas, y reconocer el terreno en todas direcciones desde ciertos puntos mas notables y mejor dispuestos para este objeto.

210. **Puntos de paso de las divisorias.** Conocida la dependencia ó ley que por regla general existe entre todas las partes de la topografía de un país, es muy fácil generalmente descubrir y anotar los puntos mas bajos y convenientes para el paso de las diferentes divisorias y estribaciones. Si en la zona del trazado hubiera dos ó mas en condiciones análogas, no será difícil la eleccion, combinándola con la de las vertientes ó laderas de acceso ó paso de las corrientes de agua inmediatas, de cuyas circunstancias mejores pasaremos á dar una idea.

211. **Reconocimiento de las laderas ó vertientes de una divisoria.** A todo collado ó mayor depresion de una divisoria dan generalmente acceso dos laderas ó vertientes entre las que deberá elegirse aquella que mejor reúna las condiciones siguientes: 1.<sup>a</sup> Que se aproxime mas á la direccion general de la línea. 2.<sup>a</sup> Mayor continuidad y regularidad en el sentido longitudinal, porque permitirá un trazado mas regular y seguido. 3.<sup>a</sup> Menor pendiente trasversal, porque la explanacion será mas sencilla, segura y económica. 4.<sup>a</sup> Mas expuesta al mediodia, porque el terreno y la via estarán siempre mas saneados, la conservacion será mas económica, y mejores por consiguiente las condiciones del tránsito en todo tiempo. 5.<sup>a</sup> La disposicion geológica mas adecuada para la mayor consistencia del terreno y asiento y seguridad de la via. En las formaciones estratificadas, por ejemplo, cuando las capas ó bancos de la formacion tienen un buzamiento ó inclinacion al exterior de la ladera, son mas temibles los desprendimientos del terreno, que

cuando la inclinacion de dichas capas está en sentido contrario ó hácia el interior; además las filtraciones y corrientes de agua subterráneas son naturalmente mayores en el primer caso que en el segundo, y producen sobre la explanacion efectos mas perjudiciales. Esta circunstancia es muy importante y no siempre debidamente estudiada y apreciada.

212. **Paso de las corrientes de agua.** El paso de las corrientes de agua de alguna importancia exige tambien un exámen muy detenido. Para la eleccion del punto de paso es conveniente que este reuna las condiciones siguientes: 1.<sup>a</sup> Que esté próximo á la direccion general del trazado. 2.<sup>a</sup> Que el rio conserve en dicho punto y sus inmediaciones el régimen mas uniforme posible, sin alteracion notable en sus márgenes y en su lecho por efecto de las crecidas, accion atmosférica ú otras causas. 3.<sup>a</sup> Que las márgenes sean bastante elevadas para que no haya exposicion á que las aguas, extendidas fuera de su cauce natural, ataquen la explanacion ú obras contiguas al puente. 4.<sup>a</sup> Que el terreno sobre que este haya de fundarse sea sólido y resistente, de modo que permita una cimentacion fácil y económica. 5.<sup>a</sup> Que sea posible el trazado de avenidas cómodas sin grandes gastos, evitando curvas de pequeño radio á la entrada y salida, y por ultimo que haya en los puntos mas inmediatos que se pueda materiales á propósito para la construccion, y terrenos disponibles para su depósito y mano de obra.

213. **Terrenos llanos.** En los valles y terrenos poco accidentados en que á primera vista no aparece

dificultad alguna para el trazado, debe sin embargo observarse cuidadosamente la parte que pueda estar expuesta á las inundaciones en las épocas de crecidas ó lluvias continuadas, y elegir aquella zona de terreno en que este se conserva bien saneado en todo tiempo. Los terrenos húmedos ó pantanosos no son á propósito, como ya se ha expuesto, para sostener el peso de los terraplenes, y exigen trabajos y gastos considerables para su saneamiento y conservacion.

214. **Resultado de los reconocimientos.**

Cuando el reconocimiento del terreno ha sido hecho con toda detencion y cuidado, con la aplicacion de los principios generales que quedan expuestos, se consigue casi siempre fijar en todo el trayecto un número considerable de puntos de paso, y determinar además entre cada dos de estos una estrecha zona de terreno sobre la que resta solo marcar la posicion de la directriz é inclinacion de las rasantes por medio de los estudios de detalle, de que vamos á ocuparnos, es decir en resúmen; que un reconocimiento bien hecho simplifica notablemente la redaccion y formacion del proyecto definitivo.

215. **Estudios de detalle.** Despues de fijos un cierto número de puntos, y de elegida la zona sobre que ha de verificarse el trazado, los estudios de detalle son los necesarios para determinar la forma que el terreno afecta en todos sentidos, lo que se consigue de una manera suficiente, levantando el plano de dicho terreno, y verificando su nivelacion asi en el sentido longitudinal como en el trasversal. Por el estudio de la topografía suponemos en el alumno los conocimientos necesarios

para verificar aquellas operaciones, y por tanto nos limitaremos á la exposicion de lo que mas especialmente interesa al objeto presente.

**216. Trazado horizontal.—Modo general de verificarle.** A partir del punto de origen se levanta el plano del terreno, con un instrumento cualquiera de medir ángulos, por alineaciones rectas sucesivas, que sigan la direccion que para el trazado parece mas conveniente. Cuanto mas acertada sea esta, lo cual dependerá del mayor ó menor conocimiento del terreno, y sobre todo de la experiencia y habilidad del operador, tanto menores y de menor importancia serán las variaciones que la línea seguida sobre el terreno sufra al adoptar sobre el plano el trazado definitivo. Por regla general, este último coincide muy rara vez con aquella, que por tanto no puede ni debe considerarse sino como *un trazado provisional ó base de operaciones* á que van á referirse todos los datos del plano y perfiles.

En este plano se fijarán y anotarán sucesivamente los objetos, puntos notables y accidentes del terreno, existentes no solo en la direccion de la traza, sino en una cierta extension á uno y otro lado, variable segun las circunstancias locales, pero siempre suficiente para justificar y comprender sobre el plano los motivos de la direccion seguida. Esta zona ó extension no deberá en general ser menor de 500 á 1000 métrós; los puntos mas notables, mas distantes del trazado, se fijarán por medio de las intersecciones de visuales, dirigidas á cada uno de dichos puntos desde dos ó mas estaciones ó vértices de las alineaciones rectas. Para asegurarse de la determina-

cion exacta de la posicion de cada punto convendrá determinar este por la interseccion de tres ó mas visuales. Los puntos mas próximos podrán situarse por sus distancias ú ordenadas á la direccion de la línea.

Deberán igualmente situarse con precision sobre el plano los puntos en que la traza atraviesa los caminos ó veredas ordinarias y corrientes de agua, marcando su direccion con bastante exactitud. En las corrientes de agua, para cuyo paso sea necesario ejecutar alguna obra de importancia, deberá levantarse el plano del rio y sus márgenes en bastante extension á uno y otro lado del punto de paso.

En las travesías ó inmediaciones de los pueblos, y en los terrenos muy quebrados é irregulares, convendrá en general hacer el trazado con alineaciones cortas, plegadas á las ondulaciones y sinuosidades del terreno en este último caso, y anotando en el primero con exactitud la situacion y direccion de las calles de travesía y edificios contiguos, á fin de poder hacer bien luego sobre el plano el estudio definitivo de la línea.

En el órden de marcha se irán anotando sucesivamente la clase y circunstancias del terreno atravesado, las canteras y materiales de construccion que la localidad ofrece, y sus distancias á la línea seguida, los precios de jornales de toda clase de operarios, así como los medios de transporte ó acarreo mas empleados.

#### 217. **Direccion del trazado en los valles.**

Es difícil, en la materia que tratamos, prescribir reglas de detalle, porque son muy numerosos y variados los accidentes que el terreno presenta y que segun las circuns-

tancias de cada caso aconsejarán una solución diferente; por esto, siguiendo la marcha que nos hemos propuesto, nos limitaremos á exponer los principios generales que en cada caso podrán aplicarse de una manera mas ó menos rigurosa.

Cuando el trazado sigue la dirección de un valle, convendrá en general cruzar el talweg el menor número de veces; las obras de fábrica son casi siempre muy costosas en su construcción y conservación. Hay sin embargo ocasiones en los largos y estrechos desfiladeros ó gargantas, en que, aun cuando la dirección general del trazado sea la de una de las márgenes, es conveniente la construcción de dos ó mas puentes para pasar y repasar de una margen á otra, porque las dificultades y coste, que en ciertos trechos se presentan, son superiores á los de aquellas obras de fábrica. Estos casos deben ser objeto de un estudio especialísimo y muy detallado.

La dirección mas conveniente del trazado es en general la de la línea media entre la margen del río y el pié de las estribaciones, procurando por una parte evitar los efectos de las crecidas de la corriente principal y por otra el mayor coste é irregularidad que resulte de marchar por la ladera y cortar las estribaciones de los diversos afluentes. Esta dirección intermedia, siguiendo además la pendiente media general del valle, esto es, conservándose próximamente á una altura constante sobre el río, es la que ordinariamente produce trazados mas regulares y económicos, así horizontal como verticalmente.

En valles muy abiertos ocurre tambien que, siguiendo

do el rio una marcha tortuosa, se separa demasiado de la direccion general del trazado, y á fin de acortar este y hacerle pasar por puntos fijos ya, ó que aparezcan convenientes, será entonces necesaria la construccion de uno ó mas puentes, cuyo coste estará justificado con la economía que se obtenga de la menor longitud de la línea y otros motivos de conveniencia local.

En el caso que nos ocupa, sucede muy pocas veces que los puntos extremos, que se trata de unir, estén á mucha altura sobre el valle ó cerca de las divisorias, como ya se ha indicado; estos terrenos son generalmente desabrigados, poco poblados y productivos, por cuya razon puede decirse que por regla general las divisorias *se atraviesan*; pero no *se recorren* en el sentido de su longitud.

**217. Paso de las divisorias y valles principales.** En estos trozos es casi siempre mas expedito y seguro empezar el trazado desde la mayor depresion ó collado de la divisoria, elegido *como punto fijo de paso*, bajando por la ladera ó vertiente, elegida tambien en el reconocimiento, valiéndose del eclimetro ó nivel de pendientes, hasta llegar á la parte baja del valle, desde donde entra ya el trazado en las condiciones ordinarias.

Si la divisoria es muy elevada é importante, el trazado en la parte baja está generalmente subordinado al exigido por el paso de aquella, mas en el caso contrario pudiera haber en el valle algun *punto fijo* exigido por la direccion general de la línea, paso de rio, poblacion etc. en cuyo caso podria suceder que el trazado no bajase directamente hasta dicho punto por falta de desarrollo

Fig. 66.

suficiente; sería necesario entonces aumentar este continuando la ladera y cambiar luego la dirección de la línea, volviendo sobre sí misma hácia el punto fijo, formando lo que ordinariamente se llama un zic-zac.

En todo caso debe tenerse presente que la diferencia de nivel  $H$  entre los dos puntos exige un desarrollo de  $\frac{H}{p}$  metros siendo  $p$  la pendiente adoptada; así si  $H=150$  metros y  $p=0,05$  metros el desarrollo  $L$  necesario sería  $\frac{150}{0,05}=3.000$  metros ó 3 kilómetros, cuya longitud deberá obtenerse, aprovechando con cuidado *todo el desarrollo á que el terreno se preste y siempre en la dirección mas próxima á la general del trazado*, con cuyo principio general y los expuestos al tratar de las pendientes y de los reconocimientos, creemos que podrán resolverse bien los diferentes casos de esta clase de trazados.

Los zic-zacs son generalmente inconvenientes y deben evitarse todo lo posible; en el caso extremo de adoptarse, deberán situarse con preferencia hácia la parte baja de las laderas, así porque son un aumento de fatiga y peligro para los motores, como porque en las partes bajas tiene ya el terreno generalmente menos pendiente transversal, y por tanto mejores condiciones para su establecimiento.

**219. Nivelacion longitudinal.** Debe verificarse esta con todo esmero, siguiendo las *diferentes alineaciones, ó base de operaciones del plano*, y cuidando de nivelar todos aquellos puntos, en los que se advierta alguna ondulacion ó cambio de pendiente; es decir, que entre cada dos puntos nivelados pueda aplicarse sensiblemente una recta sobre el terreno natural.

Además de la nivelacion general, deberán tomarse perfiles especiales al paso de los rios y corrientes de agua de alguna importancia, marcando en ellos la altura de las mas bajas y mas altas aguas, é indicando en los mismos la naturaleza del terreno así en su fondo como en las márgenes. Serán tambien convenientes perfiles de detalle, cuando el trazado cruce otras vias como carreteras, caminos de hierro etc., á fin de poder proyectar con todo conocimiento, en uno y otro caso, la clase de obra que mas convenga al paso ó cruzamiento.

220. **Nivelacion trasversal.** Al mismo tiempo que la nivelacion longitudinal debe verificarse la trasversal, ó sea á uno y otro lado de cada punto de la base de operaciones tomada siempre como eje.

Los perfiles trasversales deben tomarse en todos aquellos puntos en que cambie sensiblemente la forma ó pendiente del terreno; la extension ó longitud de los perfiles debe ser siempre la mayor posible, particularmente en las inmediaciones de corrientes de agua, en terrenos accidentados, travesía de pueblos etc.; los perfiles trasversales, bien hechos, interesan mucho para el estudio del trazado, no solo en cuanto al relieve del terreno, sino para comprobar y fijar sobre el plano con toda exactitud los accidentes y puntos mas notables del mismo.

Los perfiles se toman generalmente en direccion perpendicular á la de las alineaciones del trazado; pero en todo caso deberá anotarse su rumbo ó ángulo con las mismas.

Entre cada dos perfiles trasversales consecutivos deberá anotarse con especial cuidado la clase de terreno;

clasificándolo prudencialmente ó por la simple inspeccion del terreno, ó por cortes y pozos hechos al efecto, para juzgar de la clase de tierra ó roca y de su grado de dureza ó resistencia á su remocion ó desmonte.

Este dato es muy importante para la formacion de los presupuestos, y no podemos menos de llamar la atencion sobre él de una manera especial.

**221. Práctica de las operaciones indicadas.**

Por lo expuesto se comprende bien que estos trabajos pueden verificarse por una, dos ó mas personas; generalmente uno es el encargado del plano ó trazado horizontal y otro ú otros dos de las nivelaciones longitudinal y trasversal. En uno y otro caso importa mucho no solo el tener buenos instrumentos y bien corregidos, sino tal vez mas aun el esmero y cuidado en su manejo, y el órden, claridad y exactitud en todas las anotaciones; y muy particularmente, cuando son varios los operadores, en precisar con uniformidad los puntos del plano que corresponden á los de la nivelacion en uno y otro sentido; de otra manera resultan luego en el gabinete confusiones y errores no siempre fáciles de aclarar.

Entre los diferentes medios que para esto pueden seguirse, indicaremos uno, no como el mejor, sino como muy sencillo, claro y expedito y mas aun cuando, como sucede con frecuencia, es uno solo el encargado de todos los trabajos y se hace uso de la brújula-eclímetro, instrumento muy útil y expedito para estas operaciones, sobre todo para el trazado de carreteras, que por sus condiciones no exigen un grado de exactitud tan nimio como el de los canales y caminos de hierro.

Fig. 67. En la figura 67 exponemos una indicacion de este medio, reducido á dibujar en una misma hoja de la libreta los croquis del plano y perfil longitudinal y trasversal. A partir del punto de origen  $a$  se traza la alineacion  $a b$ , se anota su rumbo  $15^{\circ} 40'$ ; se mide la pendiente de  $a b$   $1^{\circ} 50'$ , que se escribe en el perfil longitudinal; se toma el perfil trasversal 1-1, que se dibuja sobre la misma ordenada, anotando en él las distancias y pendientes á uno y otro lado del eje ó línea de operaciones; desde el mismo punto  $a$  se dirigen las visuales á todos los puntos que se desee situar en el plano, y se anotan los rumbos y nombres del objeto.

Terminado cuanto sea preciso hacer con el instrumento en la estacion  $a$  se pasa á la siguiente  $b$ , en cuya marcha el operador inspecciona la medicion que se va haciendo de la distancia  $a b$  y si á la de 20 métrros, por ejemplo, cruza una senda ó camino, se anota en el plano y continúa despues la medicion. Llegado á  $b$  se repiten allí las mismas operaciones, despues de instalado el instrumento, y se anota la clase y calidad del terreno comprendido entre  $a$  y  $b$ .

Como cuestion de órden y seguridad en las anotaciones, es conveniente escribir las pendientes *sobre* el perfil cuando es subiendo, y *debajo* cuando es bajando, indicando además en el croquis la subida y bajada; repetir los números que expresan los rumbos y distancias en el plano y perfil, y no omitir el índice  $m$  para los métrros y  $o$  para los grados, y por último, procurar la mayor claridad en la anotacion de todas las distancias, sendas, arroyos, y de todos los objetos y accidentes del terreno.

Aunque en la ligera indicacion que hemos hecho de esta marcha nos hemos referido mas especialmente al uso de la brújula-eclímetro, se vé bien que no habria dificultad en seguir la misma con el teodolito, ó aun cuando despues se verificase una nueva y exacta nivelacion.

Hemos tenido repetidas ocasiones de emplear y hacer emplear este método, y siempre hemos hallado en él resultados muy satisfactorios, sobre todo para la facilidad de redaccion en los trabajos de gabinete.

Siempre que sea posible, es utilisimo poner sobre el mismo terreno bien en limpio, y mejor aun ya en escala, los trabajos hechos, aprovechando al efecto algunas horas de la noche ó dias inútiles para las operaciones de campo; entonces es mucho mas fácil rectificar cualquiera error, ampliar cualquiera dato, y resolver en fin cualquiera duda, que cuando los trabajos se han terminado, y el operador se encuentra á gran distancia del terreno estudiado y sin el reciente recuerdo de sus diferentes circunstancias.

**222. Alineaciones curvas.** Las alineaciones ó tramos curvos no se trazan generalmente sobre el terreno en esta época del estudio que nos ocupa; y solo en algunos casos como un ligero tanteo. Para fijar las ideas sobre la conveniencia y posibilidad del radio y desarrollo de una curva en cada caso, es indispensable un conocimiento completo del terreno, que no puede tenerse cuando se verifican las operaciones topográficas; la adopcion de una curva es aun mas difícil que la de las alineaciones rectas definitivas, pero unas y otras deben ser adoptadas y trazadas primero sobre el plano de estudio y

luego sobre el terreno, cuando se verifica ó comprueba el trazado, ó mas generalmente en el replanteo de este, para cuyas secciones diferimos por tanto ocuparnos de esta materia.

---

## CAPÍTULO TERCERO.

### TRABAJOS DE GABINETE.

—

#### FORMACION DEL PLANO Y PERFILES.

223. **Plano completo del terreno.** Cuando sobre este se han recogido todos los datos necesarios para el estudio del proyecto, se procede á la formacion del plano, en el que deben situarse con toda exactitud; primero la línea de operaciones ó trazado provisional seguido, y despues todos los objetos, puntos y accidentes á que aquellos datos se refieran. Se verifican de seguida los cálculos de nivelacion longitudinal, referida á un plano de comparacion fijo; pero en vez de dibujar el

perfil correspondiente, creemos innecesario este trabajo y nos parece mas sencillo y expedito anotar en los vértices y demás puntos de las alineaciones las cotas correspondientes de la nivelacion. Se trazan igualmente por separado los perfiles trasversales de cada punto del terreno, se marca sobre el plano su situacion y direccion respecto á las alineaciones rectas; se determina la altura ó desnivel de los puntos mas notables de cada perfil respecto á la horizontal del eje, así como sus distancias horizontales al mismo; y reducidas las cotas al mismo plano de comparacion, pueden anotarse en el plano sobre los puntos del perfil respectivo. De esta manera se tiene un plano acotado y completo sobre el que se hace cómoda y sencillamente el verdadero estudio del trazado en todas sus partes.

Los planos parciales ó por trozos, como mas adelante diremos, se extienden, segun los formularios vigentes de carreteras, en la escala de  $\frac{1}{5,000}$ , empleándose escalas mayores para las travesías de los pueblos ó porciones muy accidentadas del terreno. Para el perfil longitudinal se emplea la misma escala que para las horizontales y diez veces mayor ó de  $\frac{1}{500}$  para las alturas ó relieve del terreno; los perfiles trasversales se dibujan generalmente en escala doble de la anterior ó sea de  $\frac{1}{250}$ . El plano de comparacion se fija al nivel de la marea media ó bien á una altura cualquiera sobre esta, pero inferior al punto mas bajo del terreno estudiado, á fin de que no resulten cotas negativas.

224. **Alineaciones definitivas.** Preparado el plano en la forma que acaba de indicarse, se procede al

estudio definitivo del trazado. Generalmente suele dividirse este estudio en dos partes, la *horizontal* ó de las alineaciones y la *vertical* ó de las rasantes. Esta division, en rigor, es poco ó nada exacta, porque, si bien todas las operaciones no pueden hacerse simultáneamente, es lo cierto que el trazado horizontal no puede hacerse completamente independiente del vertical, ni este de aquel; es preciso tener en cuenta á la vez la posicion de la directriz y la inclinacion de la rasante, que no son sino las dos proyecciones de una misma línea, preponderando la importancia de una ú otra segun los casos y circunstancias.

Hay ocasiones en que la pendiente es dada, como sucede generalmente en las bajadas ó subidas de las divisorias ó estribaciones, en cuyo caso el estudio principal debe hacerse sobre la direccion del eje; en otras, si la pendiente no está determinada completamente, está al menos indicada entre límites muy próximos por las condiciones generales del terreno.

Recordando en resúmen los principios generales indicados en los capítulos anteriores, las alineaciones definitivas y rasantes deben satisfacer á las condiciones siguientes:

1.<sup>a</sup> Que las alineaciones rectas tengan la mayor longitud posible y su direccion mas próxima á la general del trazado.

2.<sup>a</sup> Que las alineaciones ó tramos curvos sean de pequeño desarrollo ó extension, y que su curvatura no aumente sensiblemente la resistencia al tiro ó traccion.

3.<sup>a</sup> Que así el eje como la rasante se plieguen y acomoden á las principales ondulaciones del terreno, en

cuanto lo permitan las pendientes mas favorables para la circulacion y lo indicado en la condicion anterior.

4.<sup>a</sup> Que se procure la compensacion de desmontes y terraplenes, de manera que estos puedan ejecutarse con el producto de los primeros.

5.<sup>a</sup> Que las corrientes de agua de importancia se crucen normalmente á su direccion, á fin de evitar obras oblicuas, y que en estos mismos puntos la rasante sea horizontal ó con poca pendiente, y

6.<sup>a</sup> Que en estos mismos puntos, y en general en los terrenos llanos y expuestos á inundaciones, se sitúe la rasante á la altura necesaria para preservar la via de la accion de las aguas.

Fig. 68.

Con estas indicaciones, observando las cotas de los perfiles trasversales 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 etc. en los puntos próximos á la *línea de operaciones a b c d.....*, y la pendiente *aproximada* que puede darse á la rasante, será fácil determinar la direccion y longitud de las alineaciones rectas *a B, B C, C h.....* y la porcion y altura en desmonte ó terraplen.

Cuando el terreno es muy accidentado, es conveniente su representacion por curvas de nivel, obtenidas uniendo los diferentes puntos de una misma cota y suponiendo que estas curvas estén á la altura constante *h* y que el trazado debe tener la pendiente *p*, la longitud *l* de cada alineacion será  $l = \frac{h}{p}$ , así si *h*=2 metros y *p*=0,05 resultará

$$l = \frac{2}{0,05} = 40 \text{ metros.}$$

Fig. 66.

Con lo que será fácil la determinacion de las alineaciones *bc-cd-de.....*

225. **Alineaciones curvas.** Determinadas las alineaciones rectas es preciso fijar las curvas que han de unir aquellas. En cada caso, por medio de tanteos hechos con el compás ó una plantilla de curvas, será fácil ver la mayor separación  $Bs$  del vértice que corresponde á cada radio, y por medio de las cotas del perfil ó perfiles transversales deducir la consiguiente alteración en el movimiento de tierras, hasta fijarse en aquel radio que parezca llenar mejor los principios antes expuestos. Resta ahora calcular con toda exactitud la posición  $m$  y  $n$  de los puntos de contacto y la longitud del arco, para lo que, observando que el ángulo en el centro  $mOn$  es suplemento del de las alineaciones  $ABC$ , y llamando  $R$  al radio  $mO$ , el triángulo rectángulo  $BmO$  dará

$$Bm = R \operatorname{tang.} \frac{1}{2} mOn$$

La longitud  $l$  del arco  $msn$  será

$$l = 2\pi R \frac{mOn}{360^\circ}$$

y suponiendo de  $98^\circ$  el ángulo de las alineaciones, será

$$l = 2\pi R \frac{82}{360}$$

De este manera se obtiene la longitud de cada alineación recta y curva, y de las tangentes  $Bm$  y  $Bn$ , lo cual es indispensable para formar el perfil longitudinal definitivo y para el replanteo de la traza sobre el terreno.

Deben evitarse todo lo posible las curvas de inflexión, esto es, dos seguidas y en sentido contrario, sino interponer una alineación recta  $on$ , que en las carreteras deberá tener por lo menos la mayor longitud de un carruaje y su tiro, ó sea de 25 á 30 metros.

226. **Perfil longitudinal definitivo.**—**Rasan-**

Fig. 69.

Fig. 72.

Fig. 68.

**tes.—Cotas.** Determinadas así la dirección y magnitud de las alineaciones rectas y curvas se llevan las respectivas distancias  $am, mn, no.....$  sobre la  $MN$  que marca el plano de comparación y determinada la ordenada  $aa'$  del punto de origen según lo que antes se ha indicado, será fácil deducir las demás  $s's', m'm', r'r', n'n'.....$  por los respectivos perfiles trasversales marcados en el plano, y obtener por consiguiente el perfil longitudinal del terreno  $a's'' m'r' n'.....$

Si llamamos

$h$  y  $h'$  las ordenadas extremas  $aa'$  y  $rr''$  de una rasante cualquiera,

$D$  su distancia horizontal  $ar$

$P$  la pendiente por méτρο, se tendrá

$$P = \frac{h' - h}{D}$$

por cuya fórmula se determinará la posición de la rasante según la pendiente que para ella se adopte, y conocida la primera ordenada se determinará por la misma fórmula otra á una distancia cualquiera  $d$  del punto de origen, así para  $m m''$  será

$$m m'' = h'' = P d + h \quad \text{y}$$

$$m'm'' = m'm - m m'' = m'm - (P d + h).$$

Las ordenadas  $aa' m m''$  etc. de la rasante se llaman *ordenadas rojas*, porque ordinariamente se dibujan con tinta de este color, para diferenciarlas de las del terreno  $m'm, r'r.....$  llamadas *ordenadas negras*; la diferencia entre unas y otras  $s's'', m'm'', r'r''.....$  se denominan *cotas rojas* é indican en cada punto la *altura de terraplen ó desmonte*; y según lo antes expuesto se ve que es bien sencillo calcular la pendiente de una rasante con cotas

dadas de desmonte ó terraplen en sus extremos, ó inversamente, dada la pendiente por las ordenadas de dos de sus puntos cualesquiera deducir las cotas de desmonte ó terraplen para todos los demás. Como el volúmen de los desmontes y terraplenes no puede calcularse sino despues de fija la rasante, para determinar esta, satisfaciendo en lo posible á la condicion de equivalencia entre aquellos productos, el medio mas aproximado consistirá, en la generalidad de los casos y terrenos, en disponerla de modo que no haya mucha desigualdad entre sus porciones y cotas en desmonte y terraplen, ó mas generalmente entre las áreas de una ú otra clase que cada rasante produzca en el perfil longitudinal; en los trazados á media ladera la compensacion no podria observarse sobre el perfil longitudinal y seria preciso estudiarla además sobre los transversales, asi como en general en todos los terrenos muy inclinados y accidentados.

Quando, como sucede con frecuencia en los canales y caminos de hierro, se proyecta un paso subterráneo, se representa en el perfil longitudinal no solo por la rasante, sino por la paralela á esta que marca la altura ó parte mas elevada del túnel, así como las rectas inclinadas que indican el corte ó mayor desmonte en las bocas de entrada y salida. Cuando la altura ó *carga* del terreno sobre la rasante es muy grande, no es indispensable representarla sobre dicho perfil, porque excederia las dimensiones ordinarias del papel, basta que estén marcadas las cotas de nivelacion que determinan las rasantes. La figura 70 representa el perfil longitudinal de un paso subterráneo.

Fig. 70.

227. **Perfiles trasversales.** Determinadas la directriz y rasante de la explanacion, resta solo la forma ò seccion trasversal de esta, que se deducirá bien sencillamente, en consecuencia de todo lo expuesto, segun sea la clase de via de que se trate. Contrayéndonos á las carreteras, supongamos se trata de construir los perfiles trasversales correspondientes á los puntos  $s$  y  $m$  del longitudinal. Sobre los perfiles trasversales del terreno se tendrán siempre marcados los puntos  $b'$  y  $c'$  á que corresponden los  $b$  y  $c$  del *eje ó trazado provisional*, seguido sobre el terreno, que deberán correrse á uno ú otro lado de dicho eje las distancias  $b's$  y  $c's'$ , iguales respectivamente á las  $bs$  y  $cm$ , indicadas sobre el plano, y se tendrán así los puntos  $r'$  y  $s''$  del perfil á que corresponde el eje definitivo, los mismos que han debido servir para el perfil longitudinal, pues la cota del punto  $b$  habrá aumentado en la altura  $Ss''$ , y la de  $c$  habrá disminuido en  $S'r'$ . Determinados los puntos  $s''$  y  $r'$  correspondientes al eje definitivo, se toman las cotas  $r'r''$ ,  $s's''$  en desmonte ó terraplen marcadas en el perfil longitudinal, se traza la horizontal  $xy$ , sobre la que se marca el ancho de la via, despues la cuneta  $xt$ , y  $t$ , si es en desmonte, y por fin las caras laterales  $T't$ ,  $Tx$  del desmonte ó terraplen con el talud ó inclinacion que corresponda segun las condiciones del terreno. Se ve, pues, que la construccion indicada no es otra cosa que la seccion trasversal aplicada al plano horizontal, haciéndola girar al rededor de la horizontal correspondiente del plano rasante.

Para facilitar todas estas operaciones se disponen todos los perfiles trasversales sobre un mismo eje, que

no es otra cosa que el desarrollo en línea recta de todo el trazado definitivo, marcando entre cada dos de ellos su respectiva distancia en la forma que indica la figura.

Una disposición análoga habrá debido emplearse en el eje ó trazado provisional para deducir las cotas y distancias á dicho eje de los varios puntos de cada perfil transversal, y acotar despues el plano, segun antes se ha indicado, en el modelo relativo á la toma de datos sobre el terreno.

La marcha que queda descrita es general para toda clase de vias y trazados; en los caminos de hierro y canales, en que es indispensable mayor grado de exactitud, será necesario, en terrenos muy accidentados, formar planos de estudio en escalas mayores de  $\frac{1}{5,000}$ , esto es de  $\frac{1}{2,000}$  y aun de  $\frac{1}{1,000}$ , sin perjuicio de reducirlas despues á la escala que se juzgue conveniente.

En las carreteras, por regla general, los mayores limites de sus pendientes y demás condiciones del trazado, hacen innecesario un estudio tan minucioso, y bastarán casi siempre los planos en dicha escala de  $\frac{1}{5,000}$ .

**228. Líneas de paso de desmonte á terraplen.** Cuando la explanacion pasa de terraplen á desmonte ó vice-versa, el plano rasante corta al terreno segun una línea que se denomina por esta razon *línea de paso*, cuya forma se puede determinar por puntos ó analíticamente, ó por medios geométricos. Sean  $MM$ ,  $NN$  dos perfiles consecutivos, el primero en terraplen y el segundo en desmonte,  $R'R'$  la rasante segun el eje, y  $S'S'$  el perfil del terreno segun el mismo eje y

Fig. 71.

que podremos considerar como una línea recta por lo que se ha dicho al tratar de la nivelacion.

Los triángulos  $rsp'$  y  $r's'p'$  semejantes dan, trazando sus alturas,  $mp'$  y  $np'$

$$mp' : np' :: rs : r's' \quad \text{ó}$$

$$mp'+np'=D : mp' :: rs+r's' : rs \quad \text{y}$$

$$mp'+np'=D : np' :: rs+r's' : r's' \quad \text{de donde}$$

$$mp' = \frac{D \times rs}{rs+r's'} \quad \text{y} \quad np' = \frac{D \times r's'}{rs+r's'}$$

Lo que expresa que la distancia de cada punto del perfil transversal á la línea de paso, es igual á la que hay entre los dos perfiles consecutivos, multiplicada por su cota roja y dividido por la suma de las cotas rojas correspondientes á la misma paralela al eje. Sustituyendo en esta fórmula las cotas  $or-o'r'$ ,  $tr-tr'$ ..... se obtendrán todos los puntos necesarios  $p q v$ ..... para trazar la curva á partir de uno de los perfiles transversales  $MM$  ó  $NN$ .

La geometria descriptiva suministra tambien otro medio, cortando el plano rasante y el terreno por planos verticales  $SS-RR-VV$ ..... paralelos al eje. Las intersecciones de todos estos planos con el plano rasante están todas proyectadas verticalmente en  $R'R'$  y horizontalmente en sus respectivas trazas  $SS-RR$ ..... La del plano  $SS$  con el terreno será  $oo'$ , tomando á partir de la rasante  $ro=ro$  y  $r'o'=r'o'$  cotas respectivas del perfil transversal; las dos rectas  $R'R'$  y  $oo'$  se cortan en  $q'$  proyectado horizontalmente en  $q$ , que será un punto de la línea de paso, y de igual manera se deducirian todos los demás. El conocimiento de la línea de paso es útil para la deter-

minacion de los volúmenes de desmonte y terraplen, como límite de uno y otro.

**229. Perfiles y dibujos del firme, obras de fábrica y accesorias.** Lo hasta aquí expuesto completa lo relativo á la representacion del terreno y á los trabajos de la explanacion necesarios para el asiento de la via, indicando en cada punto la direccion de esta y el desmonte ó terraplen que son necesarios.

Resta solo agregar los planos ó dibujos que representan la via, sus obras accesorias y de fábrica. Respecto á las dos primeras creemos suficiente para el objeto recordar lo que en los capítulos relativos á la construccion se ha expuesto, relativamente á la forma y dimensiones del firme, y de las diversas obras accesorias, con cuyo conocimiento creemos que no habrá dificultad en la representacion de dichas obras.

En cuanto á las de fábrica, hemos indicado tambien en un capítulo especial aquellos principios generales que pueden tener cabida en esta asignatura. Además la Direccion general de Obras Públicas ha publicado una coleccion de modelos de tajeas, alcantarillas y pontones de muy variadas formas y dimensiones, aplicables cada uno segun las condiciones y circunstancias de la localidad, lo cual facilita notablemente esta clase de proyectos, que el ayudante tiene por tanto ocasion de ver y estudiar continuamente, y nos dispensa de entrar aquí en mas explicaciones de detalle.

---



## CAPÍTULO CUARTO.

### PRESUPUESTOS.

#### CUBICACIONES Y VALORACIONES.

230. **Ideas generales.** Para formar el presupuesto de un camino, ó en general de una obra cualquiera, es necesario averiguar el número de unidades de trabajo en que aquella puede descomponerse y el coste ó importe de cada unidad. Por esto nos ocuparemos sucesivamente de la *cubicacion* ó determinacion del volumen de las diferentes partes, cuya construccion y trazado se han descrito, y de la manera con que debe apreciarse el coste de cada unidad ó circunstancias que motivan y determinan dicho coste.

231. **Cubicacion de los desmontes y terraplenes.** Si suponemos dos perfiles consecutivos *A D*

y  $BC$  del terreno, en desmante por ejemplo, el volúmen comprendido entre ellos será un poliedro terminado por dichos perfiles, la superficie del terreno  $ABCD$ , la caja inclinada de la explanacion  $MNPQ$ , y las caras ó taludes del desmante  $NQCD$  y  $ABMP$ , prescindiendo de la seccion casi constante de las cunetas, que puede determinarse y agregarse separadamente. La superficie del terreno no afecta en general una forma determinada y geométrica, pero teniendo en cuenta la manera con que se ha indicado que debe hacerse la nivelacion longitudinal y trasversal, la superficie de este puede representarse, con bastante aproximacion para el objeto, como el lugar de las posiciones de una recta que se apoya sobre las dos directrices ó perfiles trasversales  $AD$  y  $CB$ , quedando siempre paralela al plano vertical del eje ó directriz de la explanacion; se sabe (geom. desc.) que la superficie de este modo engendrada es *alabeada* de plano director.

Si ahora suponemos cortado este sólido por planos verticales  $TV$ ,  $T'V'$  paralelos al eje y suponiendo que entre cada dos de ellos el perfil del terreno pueda considerarse como una línea recta, quedará el sólido descompuesto en prismas proyectados segun trapecios ó paralelógramos, y el problema en general se reducirá á determinar el volúmen de un sólido *comprendido entre cuatro p'anos verticales, un plano inclinado y una superficie alabeada*.

Sea  $abcd$  un cuadrilátero cualquiera, cuyo plano para mayor generalidad suponemos oblicuo,  $a_1b_1c_1d_1$  su proyeccion sobre un plano horizontal, y  $a'b'c'd'$  la superficie alabeada que termina superiormente el volúmen com-

Fig. 74.

prendido entre  $abcd$  y los cuatro planos verticales  $ad$ ,  $a'd'$ ,  $dc$ ,  $d'c'$ ,  $cb$ ,  $c'b'$ ,  $ab$ ,  $a'b'$  y el cual nos proponemos determinar.

Siendo  $a'd'$  y  $c'b'$  las dos directrices de la superficie, que no están en el mismo plano, se sabe que el modo de generacion antes indicado equivale á suponer que la generatriz  $d'c'$  se mueve recorriendo espacios proporcionales sobre cada una de las directrices. Si ahora se hace pasar un plano por los puntos  $a'b'c'$  y otro por  $a'd'c'$  se cortarán necesariamente segun la recta  $a'c'$ ; si igualmente se trazan otros dos planos uno por  $a'd'b'$  y otro por  $b'c'd'$ , se cortarán segun la  $d'b'$ , y estos cuatro planos formarán una pirámide irregular cuyo vértice podemos considerar en  $a'$  y su base en  $d'b'c'$ .

Si se corta este tetráedro por un plano paralelo á las dos rectas  $a'b'$  y  $c'd'$ , que por el supuesto no pueden estar en el mismo plano, la interseccion de aquel plano con las caras del tetráedro dará las rectas  $mq$  y  $np$  paralelas á  $a'b'$ ; y  $mn$  y  $pq$  paralelas á  $c'd'$ , luego la interseccion  $mnpq$  será un paralelógramo y se verificará además, por la semejanza de los triángulos,

$$c'p : pb' :: c'n : na' :: d'm : ma';$$

lo que prueba que la diagonal  $mp$  es una generatriz de la superficie alabeada, y como igual consecuencia seria aplicable á todos los planos secantes del tetráedro, paralelos á las dos generatrices  $a'b'$  y  $d'c'$ , se deduce que el lugar de todas las diagonales, que es la superficie alabeada, divide en dos partes iguales al lugar de todas dichas secciones paralelas, que es el tetráedro. De aquí se dedu-

ce que el volúmen comprendido entre la superficie alabeada  $a'b'c'd'$  y su proyeccion horizontal  $a_1b_1c_1d_1$  equivale al de los dos prismas  $a'b'd' a_1b_1d_1$  y  $b'c'd' b_1c_1d_1$  mas la mitad del tetraédro  $a'b'c'd'$  ó bien á los prismas  $a'b'c' a_1b_1c_1$ ,  $a'd'c' a_1d_1c_1$  menos la mitad del mismo tetraédro; así designando por  $V'$  este volúmen, por  $p$  y  $p'$  los dos primeros prismas, por  $P$  y  $P'$  los dos segundos y por  $T$  el tetraédro se tendrá

$$V' = p + p' + \frac{1}{2} T \quad \text{ó} \quad V' = P + P' - \frac{1}{2} T, \quad \text{de donde}$$

$$2 V' = P + P' + p + p' \quad \text{ó} \quad V' = \frac{P + P' + p + p'}{2}$$

Si llamamos

$S$  la superficie del triángulo  $a_1b_1c_1$

$S'$  la del triángulo  $a_1c_1d_1$

$s$  la del triángulo  $b_1a_1d_1$

$s'$  la del triángulo  $b_1c_1d_1$

y  $h_1, h'_1, h''_1, h'''_1$  las cuatro aristas verticales  $a'a_1, b'b_1, c'c_1, d'd_1$  resultará

$$P = S \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3}, \quad P' = S' \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3}$$

$$p = s \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3}, \quad p' = s' \frac{h'_1 + h''_1 + h'''_1}{3}$$

de donde

$$V' = \frac{1}{2} \left( S \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3} + S' \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3} + s \frac{h_1 + h'_1 + h''_1}{3} + s' \frac{h'_1 + h''_1 + h'''_1}{3} \right)$$

pero como el prisma truncado  $abcd a_1b_1c_1d_1$  tiene por volúmen una expresion enteramente idéntica, reemplazando por  $h_1, h'_1, h''_1, h'''_1$  las alturas correspondientes  $h_2, h'_2, h''_2, h'''_2$ , la diferencia de estos dos volúmenes  $abcd a'b'c'd'$

que es la que buscamos, tendrá igualmente por volúmen la misma expresion en que las alturas sean  $h h' h'' h'''$  ó  $h = a a'$ ,  $h' = b b'$ ,  $h'' = c c'$ ,  $h''' = d d'$  y llamando  $V$  á este volúmen será

$$V = \frac{1}{6} (S(h+h'+h'') + S'(h+h'+h''') + s(h+h'+h''') + s'(h'+h''+h''')) \quad (1)$$

Si como antes se ha indicado los planos verticales  $a'b' a_1 b_1$ ,  $d'c' d_1 c_1$  son paralelos al eje, el cuadrilátero  $a_1 b_1 c_1 d_1$  será un trapecio y las áreas de los triángulos  $a_1 b_1 c_1$  y  $a_1 b_1 d_1$  serán iguales, ó

$$S = s, \text{ y por igual razon } S' = s'$$

y la fórmula general (1) se convertirá en

$$V = \frac{1}{6} (S(2h+2h'+h''+h''') + S'(h+h'+2h''+2h''')) \quad (2)$$

Si ahora se supone que el trapecio se convierte en un rectángulo, ó que los perfiles trasversales son perpendiculares al eje, se verificará que  $S = S'$  y la fórmula anterior (2) se trasformará en

$$V = \frac{1}{6} S(3h+3h'+3h''+3h''') = \frac{1}{2} S(h+h'+h''+h''') = 2S \frac{h+h'+h''+h'''}{4} = R \frac{h+h'+h''+h'''}{4}, \text{ siendo } R \text{ la superficie total del rectángulo } a_1 b_1 c_1 d_1.$$

Si se representa por  $D$  la longitud  $a_1 b_1$  del rectángulo ó la distancia horizontal entre los dos perfiles, y por  $l$  su ancho, será  $R = Dl$ , y  $V = Dl \frac{h+h'+h''+h'''}{4} = \frac{D}{2} (l \frac{h'+h''}{2} + l \frac{h+h'''}{2})$ , pero estos dos últimos términos son las áreas de las porciones de perfil  $bb'cc'$  y  $aa'dd'$  y llamándolas  $A$  y  $A'$  se tendrá

$$V = \frac{D}{2} (A + A') \quad (3)$$

A este caso se refiere directamente aquel en que siendo uno de los dos perfiles trasversales mas ancho que el otro, los planos verticales  $DX$ ,  $AY$ , paralelos al eje y trazados por los extremos  $A$  y  $D$  del perfil mas estrecho, dejan fuera un cubo proyectado sobre el triángulo  $n x m$ ; el volúmen de esta pirámide triangular, cuya base  $n' X' c = b$  y su altura  $D$ , seria  $b \frac{D}{3}$ , pero para abreviar y hacer entrar el cálculo de esta pirámide en el de las otras porciones consideradas, se reemplaza esta expresion por  $b \frac{D}{2}$  mayor que aquella en  $1/6$ , error de que ordinariamente se prescinde en las aplicaciones.

De aquí resulta que el volúmen total comprendido entre dos perfiles trasversales, que será la suma de dos ó mas de estos volúmenes parciales, puede expresarse por la fórmula anterior, que dice que dicho *volúmen es igual á la semisuma de las áreas de los perfiles multiplicada por la distancia que les separa.*

Si en las formulas generales (1) y (2) se suponen una, dos ó mas aristas ó cotas iguales á cero, se deducirán de aquellas las fórmulas propias para calcular todos los volúmenes parciales que componen el total comprendido entre dos perfiles trasversales, como puede verificarse para el caso de los triángulos extremos antes citados, ó de la pirámide triangular; entonces haciendo en la fórmula general (2)  $h=0$ ,  $h'''=0$ ,  $h''=0$ ,  $S'=0$ , resultará

$$V = \frac{1}{6} S 2 h' = \frac{h' l}{2} \frac{D}{3} = b \frac{D}{3}$$

El método de cubicacion que acaba de explicarse es

el llamado *exacto*, aunque en rigor no lo es, por no serlo la generacion del terreno. Como se habrá observado, las fórmulas generales deducidas son algo complicadas para servir de uso corriente en la práctica, en la que se sustituyen por el *Método de las áreas medias*. Este método no es otra cosa que la misma fórmula (3) deducida antes para el caso en que los dos perfiles trasversales son perpendiculares al eje, que es en efecto lo que ordinariamente se procura en la generalidad de los casos. Esta fórmula es la casi siempre empleada, pues, aunque con ella resulten algunos pequeños errores, no son de gran trascendencia, y hay además otros mayores motivos de error en el cálculo de las áreas, en la determinacion de los taludes, segun la clase de terreno, y aun en la misma medicion de las distancias, que harian de poca utilidad práctica la exactitud de una fórmula rigurosa para la cubicacion.

X MÉTODO DEL PERFIL MEDIO. Con el objeto de simplificar estos cálculos se ha propuesto sustituir á la semisuma de las áreas de dos perfiles consecutivos el área de un perfil intermedio, ó en otros términos tomar por volúmen de un entre perfil el producto de su longitud  $D$  por el área de su seccion media.

— Este medio, como se ve, aunque sencillo en la apariencia, es de práctica complicada y expuesto á errores, porque es muy difícil el poder apreciar los perfiles del terreno que puedan considerarse como medios entre dos tomados á distancias iguales á uno y otro lado. Este procedimiento puede únicamente ser de alguna aplicacion, cuando se trata de cubicar el volúmen de una explanación.

cion ejecutada, ó mejor aun para cubicaciones *alzadas* y en que se exige poca exactitud.

**232. Cubicacion segun las diversas posiciones de los perfiles transversales.** En el cálculo de las cubicaciones pueden ocurrir varios casos:

1.º Si los dos perfiles transversales están ambos en desmonte ó terraplen, la fórmula general dá

$$V^d = \frac{A+A'}{2} D \quad \text{y} \quad V^t = \frac{A+A'}{2} D,$$

siendo como antes  $A$  y  $A'$  las áreas de los perfiles extremos y  $D$  la distancia que les separa ó del *entreperfil*.

2.º Si un perfil  $A$  está en desmonte y el otro  $A'$  en terraplen, es evidente que entre los dos existe una línea de paso, que se sabe determinar (228), y en la que la superficie de desmonte y terraplen son cero, y si llamamos  $d$  y  $d'$  á la distancia media de cada perfil á la línea de paso, la fórmula general daría

$$V^d = \frac{A}{2} d, \quad V^t = \frac{A'}{2} d',$$

pero como la determinacion de  $d$  y  $d'$  conduce á cálculos y construcciones gráficas poco expeditas en la práctica, se modifican dichas fórmulas suponiendo que aquellas distancias son proporcionales á las áreas de los perfiles, esto es que  $A : A' :: d : d'$  ó  $A+A' : A' :: d+d' = D : d' = \frac{A' D}{A+A'}$ , y  $A+A' : A :: d+d' = D : d = \frac{A D}{A+A'}$ , y substituyendo estos valores de  $d$  y  $d'$  resultará

$$V^d = \frac{A^2}{2(A+A')} D; \quad V^t = \frac{A'^2}{2(A+A')} D.$$

3.º Si los dos perfiles están parte en desmonte y parte en terraplen, pero de un mismo lado cada clase, se calcu-

Figs. 76 y 77. separadamente cada parte por medio de las fórmulas del primer caso, y se tendrá

$$V^d = \frac{a' + a_1}{2} D, \quad V^t = \frac{a + a_1}{2} D.$$

Figs. 75 y 76. 4.º Si uno de los perfiles está parte en desmonte y parte en terraplen y el otro todo en desmonte ó terraplen como en los números 1 y 2 ó 3 y 4, trazando la  $m n$  paralela al eje resultará la combinación del primero y segundo caso, y para los números 1 y 2 se tendría

$$V^d = \frac{a' + a_1}{2} D + \frac{a_1^2}{2(a + a_1)} D; \quad V^t = \frac{a^2}{2(a + a_1)} D,$$

y análogamente se deducirían para los perfiles 3 y 4.

Figs. 79 y 80. 5.º Por último, si los dos perfiles están también en ladera pero con las superficies de desmonte y terraplen invertidas ó de distinto lado, resultaría una nueva combinación del segundo caso y las fórmulas darían

$$V^d = \frac{a^2}{2(a + a_1)} D + \frac{a_1^2}{2(a' + a_1)} D$$

$$V^t = \frac{a_1^2}{2(a + a_1)} D + \frac{a^2}{2(a' + a_1)} D$$

A pesar de que esta es la aplicación de la fórmula, creemos oportuno observar que, cuando en la serie de perfiles de un proyecto se encuentren dos de esta clase consecutivos, convendría fijar bien la atención sobre las condiciones del terreno del entreperfil. Este caso indica, por regla general, el paso del trazado de una ladera á otra inclinada en sentido contrario, lo cual no puede verificarse sin cruzar un talweg ó una divisoria, en el primer caso debiera existir entre los dos perfiles otro ú

otros, todos en terraplen y aun con obras de fábrica, y en el segundo otro ú otros en desmonte. El resultado de la verdadera cubicacion seria entonces muy diverso del de la fórmula antes indicada que por tanto no seria aplicable.

**233. Areas de los perfiles trasversales.** El cálculo de los volúmenes hace indispensable la determinacion del área de cada perfil ó porcion de este en desmonte ó terraplen.

En la generalidad de los casos, el medio aplicable con mas seguridad es el que directamente suministra la Geometria de descomponer cada perfil en una série de triángulos y trapecios, cuyas superficies es fácil determinar con bastante exactitud, si los perfiles no están dibujados en una escala muy reducida.

Como el cálculo de las áreas y volúmenes de la explanacion es uno de los mas lentos y embarazosos de un proyecto de camino, con el objeto de facilitar estas operaciones y economizar todo el tiempo posible, se han ideado diferentes medios de que vamos á dar una idea.

Atendiendo á que en la estrecha zona del camino, el perfil del terreno, á partir del eje, puede considerarse en cada lado como una línea recta, el área de cada semiperfil depende de su cota en el eje, de la pendiente trasversal del terreno, del ancho ó latitud de la explanacion, de la inclinacion ó talud de la cara de desmonte ó terraplen y del valor constante de la cuneta.

Una fórmula sencilla liga todas estas cantidades, y por ella, dándoles valores variables se han llegado á formar tablas en que se hallan las áreas de los semiperfiles

para cada caso dado y entre ciertos límites de anchos, cotas, pendientes y taludes. Sin desconocer la utilidad de estas tablas, hay sin embargo muchos casos, en los países montañosos sobre todo, en que dejan de ser aplicables y es más seguro el cálculo directo de las áreas de cada perfil.

Otro de los medios propuestos y empleados para medir las áreas de los perfiles trasversales consiste en dividir estas por paralelas á las cotas y equidistantes una altura igual á la unidad. La superficie total queda entonces, prescindiendo de los triángulos extremos, dividida en una serie de trapecios, cuya área total será igual á la suma de las paralelas  $a b c d \dots$  menos la semisuma de las dos extremas. Para efectuar esta suma de una manera rápida Mr. Dupuit, Inspector general de Puentes y Calzadas de Francia, ha construido una ruedecilla cuya circunferencia dividida en milímetros, tiene 0,10 metros de desarrollo, y cuyo mango lleva un indicador fijo que corresponde al punto de contacto con el papel. Se hace marchar sucesivamente la ruedecilla sobre todas las ordenadas y cada vuelta entera está marcada sobre el cuadrante de una pequeña rueda dentada, puesta en movimiento por un piñon fijo á la ruedecilla; este piñon tiene seis dientes y la rueda que sirve de contador tiene 60, de modo que, cuando la rueda mayor ha dado 10 vueltas y ha recorrido por consiguiente un metro, el contador ha dado solo una vuelta, y por tanto cada vuelta de la rueda grande marca un decímetro sobre el contador. El uso de este instrumento es muy sencillo, se reduce á colocar el índice fijo en el 0, y conservando la rueda bien

Fig. 81.

vertical y con el cuadrante vuelto hácia el operador, apoyarla ligeramente sobre el papel para que gire sin resbalar é ir recorriendo así todas las paralelas de la figura, y si al final el cuadrante ó contador marca 5 y el índice de la rueda grande 62, la longitud total recorrida será de 0,562 métrós que deberá multiplicarse por la altura comun, si esta no fuese la unidad, y hallar luego el valor segun la relacion de la escala del perfil; así, si en el ejemplo anterior la altura comun es de 0,005 y el dibujo está hecho en la escala de  $\frac{1}{200}$  el área del perfil será  $\frac{0,005 \times 0,562}{(0,005)^2} = \frac{0,562}{0,005} = 112,400$  métrós cuadrados.

Para facilitar estos cálculos, conviene, como en este ejemplo, tomar una altura que sea la relacion de la escala.

El autor de este instrumento, y los ingenieros que le han empleado, aseguran que el resultado es muy satisfactorio, y que las diferencias con el cálculo directo no exceden de un 2 á 3 por 100.

Para hacer mas fácil y expedito su empleo, se pueden trazar las ordenadas en un papel de calco que se coloca luego sobre el perfil y de modo que pasen sensiblemente por todos los ángulos del proyecto, sin cuidarse de los pequeños errores que procedan ya en un sentido ya en otro, de que no haya igual coincidencia con los ángulos del terreno, lo mismo que con los vértices de los triángulos extremos del talud.

Por último se han empleado tambien los *planímetros* que miden con mas ó menos exactitud y rapidez las áreas de un plano ó perfil dado, y cuya descripcion omitimos porque su teoría se funda en consideraciones de



## CUBICACION Y CLASIFICACION DE LOS DESMONTES.

Perfiles trasversa- les números.	CUBICACION.				CLASIFICACION.								
	ÁREAS.		ÁREA MEDIA		Distancias Mét. lina.	VOLÚMENES.		En tierra franca. Mét. cúb.	En tierra compacta Mét. cúb.	En tierra dura. Mét. cúb.	En roca floja. Mét. cúb.	En roca dura. Mét. cúb.	En roca muy dura Mét. cúb.
	En desmonte. Mét. cs.	En terraplen. Mét. cs.	En desmonte. Mét. cs.	En terraplen. Mét. cs.		En desmontes Mét. cúb.	En terraplen. Mét. cúb.						
1.º	26,75	»	»	»	25,00	523,125	»	130,781	261,562	130,782	»	»	»
2.º	15,10	»	»	»	19,20	59,121	111,753	»	19,707	»	9,853	29,561	»
3.º	»	20,30	»	»	32,30	92,514	400,868	»	30,838	23,128	»	38,548	»
4.º	13,15	10,25	»	»	46,10	156,835	729,434	»	20,150	31,367	78,417	52,278	20,912
5.º	»	28,20	»	»	60,18	»	1996,471	»	»	»	»	»	»
6.º	»	38,15	»	»	182,78	831,595	3238,526	130,781	332,257	195,277	88,270	120,387	20,912

### 235. Cubicacion del firme de las carreteras.

La seccion del firme consta de dos partes; una rectangular, cuya altura es el espesor en los extremos, y la otra un segmento circular, cuya flecha es el bombeo. Estas dos partes son de fácil determinacion; pero si se supone además que el arco de círculo de dicha seccion coincide sensiblemente con otro de parábola, el segmento circular se convertirá en parabólico, cuya área es aun mas sencilla.

Así llamando

$l$  la latitud ó ancho del firme

$h$  su espesor en los extremos ó mordientes

$c$  el espesor en el centro

el área de la seccion  $s$  será

$$s = hl + \frac{2}{3}l(c-h) = l\left(h + \frac{2}{3}c - \frac{2}{3}h\right) = \frac{1}{3}l(h+2c)$$

Si  $l=5^m$ ,  $h=0,15^m$  y  $c=0,24^m$ ,  $s = \frac{5}{3}(0,15+0,48) = 1,05$  ó sea  $1,05^m^e$  por méτρο lineal.

Como segun el resultado de varias observaciones, el méτρο cúbico de piedra machacada se reduce á 0,70 despues que ha sufrido la compresion y asiento del tránsito, será necesario aumentar el volúmen calculado en la relacion de  $\frac{V}{0,70}$ , que en el ejemplo anterior seria  $\frac{1,05}{0,70} = 1,50$  méetros cúbicos, si el firme ha de quedar despues de comprimido con las dimensiones presupuestas.

Como el precio del machaqueo es diferente segun el tamaño á que queda reducido el material, es necesario para esta parte hallar separadamente el volúmen de la piedra machacada. Suponiendo la primera capa de un espesor constante  $h'$ , su volúmen será  $h'l$  y restándole del total  $\frac{1}{3}l(h+2c)$  se tendrá el de la segunda capa.

Al tratar del precio del material y mano de obra, diremos cómo debe entenderse el volúmen de la piedra machacada respecto á la extraída en cantera.

**236. Cubicacion del recebo.** Al tratar de la construccion del firme se ha indicado que bastaba en general para la capa de recebo un espesor de 0,02 mé- tros, por tanto su volúmen por mé- tro linal será de 0,02/ mé- tros cúbicos, pero como el recebo tiene por objeto no solo cubrir la superficie del firme, sino llenar los huecos de la segunda capa, y facilitar la trabazon y asiento del material, deberá contarse con este último objeto, y tomar para volúmen total cuando menos el doble del expresado por la fórmula anterior.

**237. Cubicacion de las obras de fábrica.** Aunque estas son muy variadas en su clase y formas, su cubicacion es casi siempre una sencilla aplicacion de los principios mas elementales de la Geometría. Esta cubicacion se hace por partes, descomponiendo la obra total en las diferentes de que consta, como excavacion para cimientos, fábrica de estos, zócalo, estribos, aletas, bóveda ó arco, senos ó timpanos, coronaciones etc. Cada una de estas porciones afecta generalmente formas regulares y geométricas, cuyas tres dimensiones son conocidas por las diversas proyecciones y cortes de su plano ó proyecto.

Cada una de estas porciones de obra se compone generalmente de dos ó mas clases de fábrica, como sillería, ladrillo, mampostería ordinaria etc. cuyo respectivo volúmen deberá apreciarse separadamente.

En la coleccion de modelos publicados por la Direc-

cion general de Obras públicas se acompaña á cada uno la cubicacion de las aletas y frentes en un espesor de un méτρο á cada lado, así como la cubicacion de un méτρο lineal de cañon ó bóveda. Con estos modelos restaria solo agregar la parte de cimientos y modificar alguna de las demás cubicaciones, segun las circunstancias locales y materiales disponibles para la construccion.

Los medios auxiliares de la construccion de las obras de fábrica, como cimbras, andamios etc., se aprecian generalmente de una manera alzada, pero seria tambien muy conveniente acompañar los modelos de las cimbras con la expresion de su cubicacion y precios, á fin de evitar los errores en que por esta omision se incurre no pocas veces.

De todos modos, cuando se estudia un proyecto de alguna importancia, es conveniente reducir todo lo posible el número de modelos de obras de fábrica, á fin de poder aprovechar unas mismas cimbras para dos ó mas, y obtener alguna economía y mayor perfeccion en la mano de obra.

238. **Observaciones acerca de la cubicacion y altura de las obras de fábrica.** En el número 124 hemos indicado que la fórmula

$$V = \frac{h^3}{3} + \frac{2}{3} h^2 l + 2 h^2 (H - h) \quad (1)$$

podia servir para calcular alzadamente el volúmen total de las mamposterías de una obra ordinaria de fábrica, lo cual puede ser muy útil en ciertos casos, como el de un anteproyecto y presupuesto aproximado.

Se expuso allí tambien que la misma fórmula demostraba la conveniencia de que estas obras se proyectasen

y construyesen con la menor altura posible, sobre otras ventajas que tambien se indicaron.

Para la aplicacion de esta fórmula deberá tomarse para  $h$  la altura desde el plano de los cimientos hasta la parte media de la imposta, y como en rigor el trasdos de la bóveda nunca llega hasta la rasante, se supondrá  $H-h=0,25$  para este caso limite.

Así, por ejemplo, el ponton modelo número 9 de la coleccion oficial, de 4 métrros de luz, dará para una explanacion de 8 métrros

$$h = 4,90 \text{ métrros}$$

$$H-h = 0,25 \text{ métrros}$$

$$l = 8 \text{ métrros.}$$

La cubicacion por la fórmula anterior será próximamente de 180 métrros cúbicos, y segun los formularios, descontando el antepecho, seria de 197.

El modelo número 17, de igual luz y 9 métrros de altura, cubica por el primer medio 697 métrros cúbicos, y segun los formularios 707 sin antepechos, y 712,67 con inclusion de estos.

Si se aplicase á este último caso el ponton del modelo anterior, la longitud del cañon entre frentes seria de 20 métrros y  $H-h=4$ . Su volúmen segun la fórmula seria de 359 métrros cúbicos y de 366 segun los formularios. La diferencia, como se vé, es insignificante y el total es poco mas de la mitad del modelo núm. 17, lo que, salvas las exigencias de las necesidades locales, aconseja la preferencia del primero, además de las razones indicadas en el citado núm. 124.

239. **Obras accesorias.** Las obras accesorias,

de que nos hemos ocupado en la segunda seccion, se valoran generalmente sin cubicarse. Deben sin embargo ser objeto de cubicacion y presupuesto detallado las casillas de peones camineros, casas-portazgos y otras análogas, á las que puede aplicarse lo que hemos dicho respecto á las obras de fábrica.

240. **Cálculo de las distancias de trasportes de los desmontes.** En el coste de las obras figura, como elemento muy importante, el del transporte del material al punto de su empleo. Segun el órden seguido nos ocuparemos primero del transporte del producto de los desmontes á los terraplenes ó puntos de depósito.

Cuando el producto de un desmonte se destina á formar un terraplen, la distancia de aquel á este es la de los centros de gravedad de los respectivos volúmenes, contada ó medida sobre la misma explanacion. La determinacion de la distancia media de estos trasportes no depende, pues, mas que de la fijacion mas ó menos exacta de los centros de gravedad de cada desmonte y terraplen. La irregularidad de las formas, que generalmente afectan dichos volúmenes, haria el problema de muy difícil resolucion; pero pudiendo asimilarlos sin error sensible á prismas y pirámides, se determina su centro de gravedad por medio de los principios de la Mecánica.

Este cálculo se simplifica notablemente por una construccion gráfica que consiste en representar los diversos volúmenes por superficies trapezoidales ó triangulares colocadas unas respecto á otras de la misma manera que aquellos. Así, si sobre una horizontal  $AB$  se toman distancias  $ac, ce, em, \dots$ , iguales á las que, segun la escala

Fig. 83.

adoptada, separan los perfiles trasversales, y en todos los puntos de division se elevan las  $ab, cd, ef, \dots$ , perpendiculares á  $AB$ , y de longitudes respectivamente proporcionales á las áreas de desmonte de cada perfil, y por debajo de la misma las  $mn, op, qr, \dots$ , proporcionales tambien á las áreas de terraplen de cada perfil, uniendo los extremos  $b, d, f, n, \dots$  de estas perpendiculares se obtiene una série de trapecios y triángulos, cuyos centros de gravedad se encuentran en el mismo plano perpendicular al eje que el del sólido que cada uno representa, siendo por tanto ya muy fácil la determinacion geométrica de estos puntos, así como la distancia horizontal que les separa. Conocidos los centros de gravedad  $GG'G'', \dots, gg'g'', \dots$  de cada entreperfil, es igualmente fácil (Mec.) determinar el centro de gravedad  $G_1$  de todo el desmonte y el de la parte correspondiente de terraplen.

Se ha supuesto, en lo que precede, que cada perfil contiene solo desmonte ó terraplen; pero si al contrario, cada perfil transversal contuviese á la vez áreas en desmonte y terraplen, se trazarian además por debajo de  $AB$  las perpendiculares  $ax, cy, ev, \dots$  proporcionales á las áreas de terraplen, y se restarian en cada entreperfil la menor de la mayor de cada área; así, suponiendo que el desmonte fuese mayor, deberia restarse del trapecio  $abcd$  una porcion  $S_1$  equivalente á la  $S$  del trapecio  $axy$  y la diferencia  $S'$ , ó sea  $bdx'y'$ , será la que deba tenerse en cuenta para la determinacion de su centro de gravedad y distancia horizontal segun el eje; puesto que el resto representa el desmonte, que es empleado inmediatamente en terraplen en la extension de cada entre-

perfil, y por consiguiente sin transporte paralelo al eje.

Si el dibujo está hecho en debidas proporciones, basta, despues de haber fijado gráficamente la posicion de los centros de gravedad, medir con la escala, y paralelamente á la base la distancia que separa los centros correspondientes del desmonte y terraplen; no ocupándose, para mayor sencillez, en cada entreperfil mas que del exceso del desmonte sobre el terraplen ó viceversa. En la práctica se simplifica aun mas esta investigacion, suponiendo que el centro de gravedad de los trapecios que representan los volúmenes de tierra está á igual distancia de las dos bases. Basta entonces, para tener la distancia de transporte del volúmen de un desmonte comprendido entre dos perfiles, á otro de terraplen limitado tambien entre dos perfiles consecutivos en terraplen, añadir á los dos semientreperfiles extremos las longitudes de todos los entreperfiles intermedios. De esta manera es, como se vé, muy sencillo formar un cuadro ó estado en que se exprese la distancia de transporte correspondiente al volúmen de cada entreperfil y por consiguiente de todo el perfil longitudinal.

Si en vez de aplicar á cada volúmen  $V$  calculado, el precio de transporte correspondiente á su distancia  $d$ , se quiere obtener, como sucede con frecuencia, una distancia media aplicable á todo un trozo ó suma de desmontes, se observará que representando por  $V$  el volúmen total de los desmontes

$D$  la distancia media de transporte buscada

$v, v', v'', v''' \dots$  los volúmenes parciales calculados,

$d, d', d'', d''' \dots$  las respectivas distancias de transporte,

deberá verificarse que  $VD=vd+v'd'+v''d''+v'''d'''.....$   
y por consiguiente

$$D=\frac{vd+v'd'+v''d''+v'''d'''}{V} \quad \text{y como } V=v+v'+v''+v'''$$

$$D=\frac{vd+v'd'+v''d''+v'''d'''}{v+v'+v''+v'''}$$

Lo hasta aquí expuesto se refiere á las distancias horizontales; en cuanto á las verticales se ha indicado ya en el capítulo relativo á los medios de transporte, la manera de apreciarlas. Si se recuerda lo que tambien se expuso al tratar de la organizacion de los trabajos de un desmonte, se puede deducir que aun en el caso en que sea necesario ejecutar el todo ó parte de un terraplen en rampa con los productos del desmonte anterior, *el volumen del transporte en rampa estará á lo mas limitado por la rasante y la horizontal del punto de paso*, y que en muchos casos será posible disminuir este, y aun suprimirle por completo, prolongando de un lado el transporte horizontal y del otro el en *bajada ó pendiente*.

En muchos casos, como en los trabajos subterráneos, cimientos muy profundos y otros análogos, la elevacion vertical es inevitable y debe apreciarse segun ya se ha dicho.

Todo lo relativo al cálculo de las distancias horizontales y verticales se aplica igualmente á los casos en que parte de los productos del desmonte se transporta á depósitos situados fuera de la via, ó cuando fuera tambien de esta sea necesario ó conveniente hacer excavaciones de *préstamo* para formar terraplenes.

**241. Transportes del material para obras de fábrica y afirmado.** Al redactar un proyecto de

carretera, camino de hierro etc., es necesario investigar y elegir las canteras mas á propósito para la ejecucion de cada clase de obra.

Determinadas una ó mas canteras para cada trozo ú obra, y anotada la distancia á la via, segun el mejor camino y punto de acceso posible, la distancia total se compondrá de esta última y de la que tenga que recorrer sobre la via en proyecto. Así, por ejemplo, si se trata del material del firme de una carretera, y se representa por  $D$  la distancia de la cantera al punto de entrada en aquella,  $d$  la longitud de cada trozo, que á partir de este punto ha de construirse con este material, la distancia media para cada uno de dichos trozos será  $D + \frac{d}{2}$ . Si para una cierta extension de carretera hubiese dos ó mas canteras, seria fácil por medio de la fórmula anterior determinar cuál de ellas ofreceria mayor economía en los trasportes, ó bien la longitud ó número de obras á que cada cantera deberia destinarse en igualdad de las demás condiciones del material.

Al calcular el coste de estos trasportes, debe apreciarse no solo la distancia á las obras, sino la clase de via en que aquellos han de verificarse. Así, el coste del transporte de un méτρο cúbico de sillería por ferro-carril, carretera y camino ordinario, estará próximamente en la relacion de 1 : 4 : 6, lo cual expresa la conveniencia de aprovechar, siempre que sea posible, aquellas vias de comunicacion.

En canteras no explotadas suele á veces fijarse la distancia á la carretera por la línea mas corta, pero que lo accidentado del terreno no permite seguir y exige al contrario un rodeo tres ó mas veces mayor que la distancia

marcada: este es un error en el que no se debe incurrir, así como deben también apreciarse los gastos que no pocas veces deben hacerse en la habilitación de estos caminos de transporte, no solo en la ejecución de los trabajos, sino en la ocupación temporal de terrenos, perjuicios etc. etc., cuya suma deberá en rigor repartirse entre el número total de unidades ejecutadas ó *transportadas*.

#### 242. **Valoración de las unidades de obra.**

**Explanación.** El coste de la unidad de obra depende de una porción de circunstancias y elementos tan diversos, que aun dentro de una misma provincia se observan variaciones y diferencias muy notables. Los diferentes grados de consistencia de una misma clase de tierras y rocas, la mayor ó menor abundancia de los materiales de construcción, su distancia á las obras, caminos y medios de transporte, el número de operarios que cada localidad puede suministrar, la práctica y habilidad de estos para cada clase de obras, los medios de subsistencia, alojamiento y abrigo, las condiciones del clima, salubridad etc. etc. son otras tantas causas que explican las grandes diferencias que, para una misma clase de obra, se advierten entre las diferentes provincias del reino. Por esto nos hemos de limitar á consignar ciertos principios generales, que deben observarse en la redacción de los presupuestos, citando algunos datos y observaciones, propias y ajenas, con el único objeto de que sirvan como término de comparación, conocidas sus circunstancias.

Nada hay en nuestro concepto mas inexacto y expuesto á errores en esta materia, que los datos y precios deducidos de observaciones aisladas ó experiencias en

pequeña escala. Los resultados mas exactos son los deducidos de grandes campañas de trabajos, ó ejecucion de obras de alguna importancia y duracion, en cuyo trascurso de ejecucion se han experimentado, por regla general, todos los incidentes y contratiempos, casi siempre inevitables, y de que las experiencias en pequeño no pueden dar sino una idea muy incompleta. Las obras por administracion, bien dirigidas, son para esto una excelente escuela, y los datos que pueden suministrar al Ingeniero deben inspirarle mas confianza que los deducidos por el análisis y composicion de los precios elementales.

En general, el coste de toda unidad de obra puede descomponerse en dos partes, el del *material* y el valor de los jornales que exige su ejecucion, ó lo que ordinariamente se llama *su mano de obra*.

Partiendo sin duda de este principio, los formularios hoy vigentes para la formacion de los proyectos de carreteras, no asignan precio á los terraplenes; el coste de la explanacion está reducido por consiguiente al de los desmontes que se ejecutan dentro y fuera de la via.

El coste del desmonte consta por lo tanto

- 1.º De su extraccion ó arranque.
- 2.º De la carga, transporte y descarga de los productos desmontados.

El arreglo de estos en terraplenes ó depósitos fuera de la via se comprende en el transporte y descarga.

Teniendo para cada trozo los estados y sumas de cada clase de desmonte segun su dureza ó resistencia á la remocion, así como el volúmen de tierras ó productos que debe trasportarse á cada distancia, resta

solo aplicar á cada uno el precio correspondiente segun el valor de los jornales y las circunstancias de la localidad.

La Direccion general de Obras públicas ha publicado la coleccion de precios corrientes y ordinarios en cada provincia, para las diferentes clases de obras, con los que nos creemos dispensados de insistir mucho sobre este particular.

Respecto á los precios de transporte, será fácil, en vista de lo expuesto al tratar de este asunto en la seccion primera, formar una tabla de precios, segun las respectivas distancias y medios de transporte empleado.

Para formar esta tabla de transportes deberán tenerse presentes dos observaciones á cual mas importantes.

1.<sup>a</sup> Que deberá agregarse al precio de la unidad transportada la parte correspondiente á los intereses del capital empleado en la adquisicion del material de transporte, establecimiento de vias, y gastos de conservacion de uno y otro, y su demérito.

2.<sup>a</sup> Que para los efectos del transporte se tenga en cuenta el aumento de volúmen de los desmontes, lo cual puede verificarse de dos maneras, ó aumentando en la misma proporcion el número de unidades transportadas respecto á las del desmonte, ó si se abona por el mismo volúmen de este, aumentar el precio de la unidad en la misma relacion.

La parte relativa al importe y demérito del material auxiliar de transporte es difícil de apreciar en un presupuesto, pero segun mis observaciones no deberá ser menor de 10 á 15 por 100 del coste de transporte calculado sin este elemento.

243. **Obras de fábrica.—Sillería.** Las clases principales de fábrica son la sillería, sillarejo, ladrillo, mamposterías concertada y careada, y ordinaria en seco ó con mezcla.

El precio de la sillería resulta del

Material. . . . .	}	Arranque y desbaste en cantera.
		Trasporte al taller de la obra.
Mano de obra	}	Labra.
		Asiento.
		Repaso ó retundido.

El precio del arranque ó extracción de la sillería es muy variable segun la clase de formación de la roca, y la disposición y espesor de los bancos, si esta es estratificada. Al tratar de los desmontes, se ha indicado cómo se verifica esta extracción. Por regla general el coste de la saca y desbaste de un méτρο cúbico de sillería es seis á ocho veces mayor que el de la piedra ordinaria de igual clase.

El coste de la unidad es también mayor á medida del mayor volúmen de las piezas ó sillares que deben extraerse.

En los párrafos anteriores se ha expuesto lo relativo al modo de calcular el coste del transporte, segun la distancia y la clase de vias ó medios de verificarle.

El coste de la labra depende en general de la dureza de la piedra, y aunque este trabajo es en rigor proporcional á la extensión superficial de las caras labradas, se aprecia también en general por unidades cúbicas, cuando las dimensiones de los sillares y clase de labra no salen de las condiciones ordinarias.

La labra de las piedras calizas duras y de las graníticas cuesta, en general, doble y á veces mas que la de las areniscas ordinarias.

Tambien son mas costosas la dovelería y piezas *de plantilla* que los sillares rectos, así por la pérdida de material como por los mayores cuidados y esmero que exige la mano de obra.

El coste del asiento de la sillería depende de la disposicion de la obra, y de los medios auxiliares de la construcción. Las piezas voluminosas son de manejo mas difícil y costoso.

El precio del retundido se calcula por unidades superficiales, y depende de la clase del material y de la mayor ó menor perfeccion con que la obra haya sido ejecutada.

La fábrica de sillería es en general muy cara, por cuya razon en las obras públicas debe limitarse su empleo á lo puramente indispensable para el objeto y seguridad de cada obra, combinándola con otras fábricas de menor coste como ladrillo, mamposterías etc.

Segun nuestras observaciones la labra de un méτρο cúbico de sillería caliza dura exige de 3,5 á 4 jornales de cantero, y el asiento de 2,5 á 3 jornales. Un cantero retunde al dia de 6 á 8 méetros cuadrados de paramento.

**244. Sillarejo.** Esta clase de fábrica no debe proyectarse ni emplearse sino cuando hay canteras á propósito para su extraccion, y aun así conviene entonces emplearle bajo la forma de mampostería careada; la labra del sillarejo es cara relativamente á su volúmen, y sucediendo lo mismo con el asiento, se comprende que no

pocas veces esta clase de fábrica resulte tan cara ó mas que la sillería.

245. **Mampostería ordinaria.—Hormigon.**

Un métro cúbico de mampostería ordinaria exige por regla general.

Materiales. . . .	{	1 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de piedra	{	0,24 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de arena
		0,24 de mortero comun		0,16 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de cal comun
Mano de obra.	{	1,28 jornales de peon para el mortero. á razon de 5,40 el métro cúbico.		
		0,5 jornal de mampostero para el asiento.		
		0,5 id. id. de peon para id.		

Segun los precios de cada localidad para estos diversos elementos, será fácil deducir el precio total.

En las mamposterías concertadas ó careadas, deberá aumentarse algo el valor de la unidad; pero como en general es pequeño el espesor de esta clase de fábrica, el aumento sobre todas las unidades del macizo será de mas ó menos importancia segun los casos.

Como el hormigon hidráulico ó comun se clasifica entre las mamposterías, damos á continuacion los elementos de que se compone un métro cúbico, tal como hemos empleado en muchas ocasiones esta clase de fábrica.

Materiales. . . .	{	1 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de piedra machacada.	{	0,30 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de arena . .
		0,20 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de cal co-		0,30 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de mortero comun.
		mun. . . . .		
		0,30 <sup>m</sup> <sup>c</sup> de cemento hidráulico.		

Mano de obra. { 2,22 jornales de peon para manipula-  
cion del mortero y hormigon.  
0,70 id. para su empleo (muy variable  
segun las circunstancias.)  
Vigilancia, útiles etc., 10 por 100.

En el hormigon ordinario se suprimirá la partida de cemento hidráulico, pero el mortero comun deberá aumentarse hasta 0,50 por métro cúbico.

246. **Ladrillos.** Las formas regulares de este material permiten calcular su volúmen de una manera muy exacta. Con las dimensiones ordinarias de 0,26<sup>m</sup>, 0,12<sup>m</sup> y 0,04<sup>m</sup> y el sistema de construccion generalmente seguido, se presupone ordinariamente un millar de ladrillos para cada dos méetros cúbicos de fábrica con 0,18 méetros cúbicos á 0,20 de mezcla ó mortero por méetro cúbico.

247. **Obras de madera.** El coste de este material será conocido en cada localidad. En cuanto á su mano de obra indicamos algunos resultados generales, deducidos de nuestras observaciones, para los trabajos de mas frecuente aplicacion en las obras públicas.

Méetro cúbico de madera para puentes provisionales,  
3 jornales de carpintero.

Id. id. para puentes definitivos, de 4,5 á 6 jornales de id.

Id. id. para cimbras, de 4 á 6 jornales de id. segun su claro.

Id. id. para armaduras ó cubiertas de edificios, 4 á 5 jornales de id.

Méetro cuadrado de tillado ó entarimado, 1,5 jornales.

Pintura al óleo para puentes, 5 rs. por méetro cuadrado.

El trabajo de la madera depende mucho de su mayor ó menor dureza, de la habilidad ó destreza del operario, y de ciertas condiciones locales, que dificultan mas ó menos su empleo y asiento en obra.

**248. Obras de afirmado.** El coste del firme depende del de su material y mano de obra. El precio del material será variable segun la clase de canteras ó medios de acopio, y en cuanto á su transporte al punto ó trozo de su empleo, se ha expuesto ya el medio de calcularle en cada caso.

El coste del machaqueo depende en general del grado de dureza de la piedra, del tamaño á que hayan de reducirse los fragmentos, y del sistema seguido en este trabajo para obtener un resultado mas perfecto.

Siendo mayor el tamaño de la piedra empleada en la capa ó capas inferiores del firme, la cubicacion respecto al machaqueo deberá hacerse separadamente, y aplicarse el coste por unidad segun las dimensiones ó tamaño á que el material quede reducido.

Si la piedra es procedente de canteras, deberá observarse en cuanto al coste de su extraccion el aumento de volúmen de la piedra machacada; segun ya hemos expuesto al tratar del firme, un métro cúbico de piedra machacada, medida en el momento de su empleo, contiene solo 0,52 méetros cúbicos de macizo y por tanto cada méetro cúbico de piedra medido en el desmonte producirá 1,92 de piedra machacada, que despues de la compresion del firme se reducirá á 1,34 méetros cúbicos ó sea 0,70 del primitivo.

Segun observaciones del Ingeniero Sr. Garran, Tra-

tado de la formacion de proyectos de carreteras, un hombre, trabajando diez horas al dia, podrá machacar:

	MACHAQUEO DE		
	0,03 Mét. cúb.	0,05 Mét. cúb.	0,06 Mét. cúb.
Piedra caliza de mediana dureza.	0,60	0,70	1
Piedra caliza silicea. . . . .	0,50	0,65	0,90
Id. silicea muy dura. . . . .	0,40	0,55	0,80
Cantos rodados calizo siliceos. . .	0,40	0,64	0,85

El Ingeniero D. Antonio Lopez, en su *Instruccion para uso de los Sobrestantes*, presenta los siguientes resultados.

	MACHAQUEO DE PIE.	
	0,04 Mét. cúb.	0,08 Mét. cúb.
Piedra caliza dura. . . . .	1	1,30
Id. blanda. . . . .	1,20	1,50
Id. silicea de cantera. . . . .	0,90	1,00
Cantos rodados. . . . .	0,60	1,00

	MACHAQUEO SENTADO.
	Tamaño de 0,035 metros.
Piedra caliza dura. . . . .	0,80
Id. mas blanda. . . . .	1,00
Piedra silicea de cantera. . . . .	0,80
Cantos rodados. . . . .	0,60

Como se vé hay alguna divergencia entre estos resultados, y lo mismo sucederia seguramente con cuantos

se hiciesen en distintos países y por diferentes observadores, porque es casi imposible que sean idénticas todas las condiciones de cada caso observado. De todos modos con estos antecedentes y los recogidos en cada localidad será fácil formar en cada caso el presupuesto del machaqueo del firme.

En cuanto á la extension y arreglo de la piedra en el firme el mismo Ingeniero Sr. Garran cita las observaciones siguientes:

1.<sup>a</sup> Que un operario puede arreglar de 100 á 120 métros lineales de primera capa, si la piedra se ha machacado sobre la misma caja, ó se halla ya colocada y distribuida sobre ella convenientemente.

2.<sup>a</sup> Que un hombre podrá extender y arreglar sobre la caja de 40 á 50 méetros lineales de primera capa, cuya piedra sea conducida con carros á los puntos que se vayan designando.

3.<sup>a</sup> Que si la piedra se halla apilada en los paseos, como suele suceder, para la segunda capa, tres peones, de los cuales dos se ocupen en el transporte y el otro en el arreglo y extension, podrán hacer al dia de 30 á 40 méetros lineales.

4.<sup>a</sup> Que tres operarios, en la misma circunstancia anterior, podrán extender al dia de 60 á 70 méetros lineales de recebo, ó uno solo de 70 á 90 méetros de longitud, si el recebo se conduce en carros á los puntos y distancias convenientes.

Todos estos datos se refieren á firmes de 4 á 7 mé-  
tros de ancho y espesores de 0,15 metros á 0,35.

El coste del recebo por méτρο cúbico dependerá en  
cada localidad de la facilidad de su extraccion y acopio  
y de la distancia de trasporte.

Con los datos precedentes, y los propios de la locali-  
dad, será fácil formar el presupuesto del arreglo de las  
diferentes capas del firme, recebo y su extension.

**249. Coste del cilindrado.** Dependerá este del  
número de veces que se haga pasar sobre cada punto  
del firme y de la porcion que, por unidad lineal le cor-  
responda, por demérito del aparato é interés de su coste.  
Así, concretándonos, por ejemplo, á un kilómetro de car-  
retera de 5 metros de ancho, suponiendo que el cilindro  
tiene 1,5 metros de longitud, que para su tiro se necesi-  
tan por término medio tres parejas de bueyes, que con  
sus conductores cuestan 60 rs. diarios, que pueden re-  
correr 20 kilómetros cada dia, que se necesitan ó desean  
30 pasos del cilindro por cada punto, y que segun las  
dimensiones del cilindro serán cuatro vueltas para todo  
el ancho del firme, resultará que cada paso del cilindro  
por todo el ancho de la carretera necesita un trayecto de  
4 kilómetros, y por tanto cada dia el cilindro pasará solo  
cinco veces por cada punto del firme, y para los 30 pasos  
se necesitarán  $\frac{30}{5}=6,0$  dias que á razon de 60 rs. dará  
un coste total de  $60 \times 6 = 360$  rs. ó sean 0,36 de real por  
méτρο lineal, á lo que deberá agregarse el demérito del  
aparato é interés de su coste, segun el número total  
de metros lineales en que el cilindro haya de em-  
plearse.

250. **Obras accesorias.** Cada una de estas se calcula, ó alzadamente segun su clase y precios de la localidad, ó bien por unidades con sus respectivos precios segun se trate de obras de tierra, fábrica, madera etc. y á las que podrá aplicarse cuanto queda expuesto en los números anteriores.

251. **Gastos de conservacion.** Otro de los gastos que, segun los formularios vigentes, debe presuponerse en los proyectos de carreteras es el de un cierto número de métrros cúbicos de piedra machacada, que ha de emplearse para la conservacion del firme durante el plazo de garantía, suponiendo que las obras se hagan por contrata, ó durante un año, que suele ser la duracion de aquel, si las obras se construyen por administracion.

Si en el cálculo del volúmen de la piedra machacada para el firme se ha hecho el aumento que allí indicamos, es casi seguro que con él habrá suficiente para conservar-le, durante el primer año, con las dimensiones del proyecto; lo cual podrá especificarse en las condiciones facultativas. Para el empleo de esta piedra, con los trabajos consiguientes de extraccion de lodo, limpieza de cunetas etc., puede apreciarse á razon de 2 jornales por métrro cúbico (186).

Por último, al finalizar el expresado plazo, deben tambien quedar acopiados en los paseos un cierto número de métrros cúbicos de piedra para cada trozo ó kilómetro, machacada al tamaño de la segunda capa, y con destino á la conservacion de la carretera durante un cierto tiempo, que ordinariamente se fija en un año. Segun lo expuesto al tratar de la conservacion del firme,

este número de métrós debería calcularse según la frecuentación de la carretera; pero no siendo esta aun conocida, puede fijarse por término medio en 40 métrós cúbicos por kilómetro, colocados en pilas de  $\frac{1}{3}$  de métró cúbico alternativamente, y á igual distancia sobre los paseos de la carretera. Valorados estos acopios al precio asignado al material y machaqueo de segunda capa, se deducirá la cantidad correspondiente de esta partida.

**252. Expropiaciones.—Conclusion.** El coste de las expropiaciones de los terrenos ocupados por la via no se incluye en el presupuesto general de esta, según los actuales formularios. La expropiación no se verifica generalmente sino cuando se decide y acuerda la ejecución del camino, á la que precede inmediatamente, y su valoración pericial es objeto de un expediente separado, y sujeto á la tramitación dispuesta en la ley de expropiación forzosa y al reglamento para su aplicación, sobre cuyos particulares recomendamos la lectura del *Manual de expropiación* de D. Fernando Madrazo.

Para proceder á la formación del expediente de expropiación, es indispensable conocer con exactitud la zona del terreno que la via ha de ocupar, lo que exige el replanteo de esta, de que nos ocuparemos en el capítulo siguiente.

Con lo en este expuesto, los principios generales de construcción y trazado indicados en los capítulos precedentes, y la simple lectura de los formularios, creemos que puede el ayudante desempeñar con conocimiento y fruto los diferentes trabajos así de campo como de oficina, propios de su instituto ó que sus jefes le encarguen.

Los formularios vigentes están tan claros y explícitos en cuanto al modo de ordenar y formalizar los diferentes documentos y planos de un proyecto de carretera, que nos creemos dispensados de entrar aquí en mas detalles para su aplicacion.





---

## CAPÍTULO QUINTO.

### DEL REPLANTEO.

---

253. **Objeto del replanteo.** El replanteo de un camino consiste en marcar y fijar sobre el terreno de una manera invariable la posición de su directriz, rasantés, bases de terraplenes, latitud de los desmontes y de todas sus demás partes con arreglo al proyecto adoptado ó aprobado. Ordinariamente estas operaciones solo se verifican cuando está acordada y decidida la construcción de la vía, á la que puede decirse que precede inmediatamente.

254. **Replanteo de la directriz.** La operación del replanteo puede dividirse, como la del trazado, en

dos partes, el replanteo *horizontal y vertical*. El primero comprende la fijacion del eje ó directriz del camino, y los anchos que este exige en cada punto, el segundo la de las rasantes ó alturas de los desmontes y terraplenes.

**255. Alineaciones rectas.** La directriz consta, como se sabe, de alineaciones rectas y curvas, de cuya fijacion ó trazado vamos á ocuparnos. A partir del punto de origen *A*, se traza con un instrumento de medir ángulos la alineacion *AB*, segun el que forme con la meridiana ú otra línea ú objeto cualquiera fijo en el terreno; se mide la longitud *AB* segun la marcada en el proyecto, y trasladando al vértice *B* el instrumento, se deja en *A* una banderola y se traza la alineacion siguiente *BC*, segun el ángulo que forma con la anterior; se mide la longitud de esta, y se continúa de la misma manera, determinando las alineaciones rectas, y fijando los vértices *A, B, C, D.....* en toda la extension del trozo, ó porcion que se crea conveniente entre ciertos puntos fijos del trazado. En cada uno de los vértices *A, B, C.....* debe clavarse una estaca en cuya cabeza conviene marcar la inicial *V*. Estos vértices son puntos muy importantes para las rectificaciones sucesivas y trazado de las curvas; y como generalmente quedan fuera de la explanacion, se les marca á veces con postes salientes y bien visibles sobre el terreno. Las alineaciones rectas se trazarán de una ó mas veces, segun las circunstancias del terreno, empleando en cada caso los procedimientos que la Topografía describe y enseña, y de que por tanto debemos prescindir aquí. De esta manera queda fija la direccion de las alineaciones rectas, restando solo fijar

Fig. 84.

su longitud y enlace por medio de las alineaciones curvas, antes de lo cual deben determinarse los puntos de contacto  $TT$ , midiendo desde el vértice la longitud, calculada en el proyecto, de cada tangente  $TB$ ,  $TB$ , ó si esto no fuese muy posible por las condiciones del terreno, la longitud del tramo recto  $AT$ ,  $TT'$ ..... Estos puntos de contacto deben quedar señalados con una estaquilla, sobre la que se pone una marca especial, una  $T$  por ejemplo, para distinguirlos de los demás.

256. **Alineaciones curvas circulares, primer método.—Por ordenadas sobre las tangentes.**

Fig. 85.

Si á partir de los puntos de contacto  $T$ , se toma ó mide sobre las tangentes una abscisa cualquiera  $Tm$ , y en este último punto se levanta la perpendicular  $mn$ , el punto  $n$  pertenecerá al arco de círculo si

$$mn = Tp = TC - Cp = R - \sqrt{R^2 - L^2}$$

siendo  $R$  el radio y  $L$  la longitud medida sobre la tangente. De igual modo podrán determinarse todos los puntos que sean necesarios. Las tablas de Jacquet y otras contienen los valores de las ordenadas  $mn$  para radios desde 300 hasta 5000 méetros. Este procedimiento es muy expedito, y como se vé no necesita instrumentos de medir ángulos.

257. **Segundo método.—Por las bisectrices.**

Fig. 85.

Si desde el vértice  $V$  se toman, sobre las alineaciones rectas, dos distancias  $Va$ ,  $Vb$ , iguales, se divide la  $ab$  en dos partes iguales y se prolonga con banderolas ó jalones la enfilacion  $Vc$   $OC$ , esta será la bisectriz del ángulo de las tangentes, trazada, como se vé, sin instrumento de medir ángulos. Siendo  $R$  el radio y  $T$  la longi-

tud de la tangente, la parte extrema  $OV$  de la bisectriz será

$$OV = \sqrt{R^2 + T^2} - R$$

y midiendo esta longitud en la enfílacion  $VC$  se determinará el punto  $O$  medio ó vértice del arco. Si en este se levanta la perpendicular  $MN$ , y se marcan los puntos  $M$  y  $N$  de su interseccion con las tangentes, podrá verificarse para ellos un cálculo enteramente igual al anterior, determinar dos puntos  $n$  y  $s$  del arco, medios entre  $T$  y  $O$ , y continuarse igualmente para cuantos puntos se necesiten.

Este procedimiento es tambien muy expedito sobre todo con instrumento de medir ángulos, y por tanto para trazar las bisectrices y mas aun teniendo las citadas tablas de Jacquet, ú otras que dan el valor de la bisectriz para ángulos y radios dados. Tiene además la ventaja este procedimiento de dar el punto medio  $O$  y demás simétricos de la curva respecto á los puntos de contacto, lo cual es muy conveniente para el buen trazado de esta.

258. **Tercer método.—Por ordenadas sobre la cuerda.** Cuando por cualquiera circunstancia no puede operarse sobre las tangentes  $VT$ ,  $VT'$ , se puede trazar el arco por ordenadas  $nm$  trazadas sobre la cuerda  $TT'$ . La longitud de esta puede ser conocida, ya por medida sobre el terreno, ya observando que su mitad  $TS$  es el seno del ángulo  $TCO$  mitad de  $TC T'$ . Llamando  $c$  á dicha mitad de cuerda, y  $R$  al radio y  $x$  la abscisa  $Sn$  se verificará

$nm = nr - SC = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{R^2 - c^2}$ ; este último término es constante para cada arco y radio dados,

Fig. 86.

y por tanto es fácil deducir los diferentes valores de la ordenada para cada uno de  $S_n$  ó de  $x$ , contados desde el medio de la cuerda. El valor de la flecha  $f=OS$  será

$$f = R - \sqrt{R^2 - c^2}.$$

Si las abscisas no pudieran medirse sobre la cuerda  $TT'$ , despues de determinar el valor anterior de  $f$ , podrian medirse sobre la  $MN$  tangente en  $O$  y determinar la  $n'm=y$ , observando que

$$y = n'm = n'n - mn = f - mn = R - \sqrt{R^2 - c^2} - \sqrt{R^2 - x^2} + \sqrt{R^2 - c^2} \text{ ó } y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

expresion mas sencilla que la anterior y en la que no es ya necesario conocer la cuerda  $TT'$ . Dando á  $x$  diferentes valores se obtienen todos los de  $y$  que sean necesarios. Con arreglo á esta última fórmula están calculadas las tablas de abscisas y ordenadas del citado Jacquet para radios desde 300 hasta 6.000 méetros.

**258. Cuarto método.—Por los ángulos de las cuerdas sucesivas.**

Conocido el número de grados del arco  $TOT'$  que se va á trazar, de  $50^\circ$  por ejemplo, se divide en un cierto número de partes ó arcos parciales, como 10, 12 etc. de modo que su cuerda se confunda sensiblemente con el arco, se determina la longitud de este que será  $2\pi R \frac{n}{360^\circ}$ , siendo  $n$  el número de grados de dicho arco. Si se quiere determinar con toda exactitud el valor de la cuerda se puede hacer, recordando que su mitad es el seno del arco correspondiente. Colocado en  $T$  un instrumento de medir ángulos se traza el  $VT r = \frac{1}{2}$  arc.  $Tm$ , se mide la longitud calculada de la cuerda  $Tm$  y se fija el punto  $m$ ; se traslada á este último punto el instrumento, se mide el ángulo

Fig. 87.

Fig. 87.

$r m o = \text{arc. } m o$  ó doble del anterior, y tomando sobre  $m s$  la misma longitud  $m o = m T$ , se fija el punto  $o$  y así todos los demás hasta llegar al punto de contacto  $T'$  en donde el ángulo de salida  $x T' L$  ó el formado por la última cuerda y la tangente, deberá ser como á la entrada mitad del de dos cuerdas sucesivas. Si para mayor exactitud se quieren determinar puntos  $a$  medios de cada arco  $T m$ , se determinará la flecha  $f = a a'$  por la fórmula

$$f = R - \sqrt{R^2 - c^2} \quad \text{siendo } R \text{ el radio y } c \text{ la}$$

semicuerda  $T a$ . Este procedimiento es muy conveniente en dos casos principales. 1.º Cuando las malas condiciones del terreno, ó el grande desarrollo de la curva no permiten una aplicacion cómoda de ninguno de los métodos antes expuestos. 2.º Siempre que en los reconocimientos, tanteos y modificaciones de un trazado sobre el terreno se trata, por ejemplo, de ver la posibilidad de contornear un contrafuerte ó atravesar un valle con un radio dado, evitando la ejecucion de grandes trincheras ó túnel en el primer caso y de un terraplen ó viaducto elevado en el segundo. Se sigue entonces como línea de operaciones el polígono  $T m o n \dots$  y en el punto que aparezca conveniente abandonar la curva, se traza el ángulo de salida ó tangencial mitad de los anteriores. La misma marcha se seguirá cuando se quisiese trazar la curva de modo que pasase por un punto dado, para evitar una dificultad cualquiera como una corriente de agua, un edificio de importancia etc.

260. **Quinto método.**—**Por el mismo anterior pero sin medir los ángulos de las cuerdas.** Si despues de haber fijado el primer punto  $m$  por

el primer método, por ejemplo, se prolonga la cuerda  $Tm$  una longitud igual  $mr$ , se determina el punto  $o$  por la interseccion de  $mo = Tm$  y  $ro = 2mp$ , el punto  $o$  pertenecerá al arco de círculo, porque el ángulo  $rm o$  será doble del  $mTp$  y la  $me$  bajada al medio  $or$  será tangente al círculo en el punto  $m$ . Repitiendo en el punto  $o$  y siguientes la misma operacion se determinarán el punto  $n$  y cuantos sean necesarios. Este procedimiento tiene una aplicacion oportuna en el trazado de las galerías subterráneas, en las que, tomando para longitudes de las cuerdas 5, 8, 10..... metros, segun la magnitud del radio, se van fijando los puntos de la curva á medida del avance de la galería.

**261. Sexto método.—Por intersecciones de cuerdas.** Si situando en  $T'$  un instrumento de medir ángulos, se divide el  $VT'T$  en un cierto número de partes iguales, cuatro por ejemplo, se marcan sobre el terreno las alineaciones  $T'a, T'b, T'c$  y se repite en  $T$  igual operacion, marcando las alineaciones  $Ta', Tb', Tc'$ , será fácil por medio de jalones determinar las intersecciones de  $T'a$  y  $Ta'$ , de  $T'b$  y  $Tb'$ , y  $T'c$  y  $Tc'$ , cuyos puntos respectivos  $m, o, n$  pertenecerán al arco, porque todos los ángulos  $TmT', ToT', TnT'$  son iguales ó tienen por medida un mismo arco.

**262. Trazado de las curvas parabólicas.—Primer método.—Por las tangentes sucesivas.**

Si determinados los puntos de contacto  $T, T'$ , á igual ó desigual distancia del vértice  $V$ , se divide la  $TV$  en un número cualquiera de partes iguales, uno mas que los que se quieran determinar para la curva, y la  $T'V$  en el

Fig. 88.

Fig. 89.

mismo número de partes iguales, seis por ejemplo, y se trazan las alineaciones 1-1, 2-2, 3-3, etc. estas serán tangentes á la parábola, y los puntos de contacto serán los medios de la parte de cada alineacion comprendida entre la anterior y la siguiente. El vértice de la curva será el correspondiente á la alineacion media 3-3.

Fig. 90 263. **Segundo método.— Por las subtangentes.** Se sabe que en la parábola la subtangente  $MV$  es doble de la abscisa  $Mn$ , ya esté referida al eje ó ya al diámetro conjugado del paralelo á la cuerda de los puntos de contacto; así, uniendo estos por la  $TT'$  y el punto medio  $M$  con  $V$ , este será un diámetro y el punto medio  $n$  pertenece á la curva. La recta  $rr'$  trazada por  $n$  paralela á  $TT'$  será tambien tangente, y si se trazan las cuerdas  $nT$ ,  $nT'$ , y se unen sus puntos medios  $v$  y  $v'$  con  $r$  y  $r'$ , los puntos  $s$  y  $s'$  medios de  $vr$  y  $v'r'$  serán tambien de la curva. Si en  $s$  se traza la  $mm'$  paralela á  $T'n$  será tambien tangente á la parábola, y tomando el punto medio de la recta que une  $m$  con  $p$  medio de la cuerda  $sT'$ , se tendrá otro punto, y así sucesivamente cuantos sean necesarios.

Los procedimientos que quedan descritos nos parecen suficientes para la generalidad de los casos que pueden ocurrirse, y no insistimos mas sobre esta materia en la que con los conocimientos de la geometria, trigonometria y de las curvas de segundo grado, puede el ayudante resolver sin dificultad los diferentes casos particulares que puedan presentársele. Como tratado especial y para mas detalles recomendamos el *Tratado de curvas del Ingeniero D. Juan Lopez del Rivero*.

**264. Trazado de la directriz en los subterráneos.** Si la directriz es una línea recta y no hay pozos entre las dos bocas es bien fácil prolongar la recta exterior, á medida del avance de las galerías y rectificarla en todo estado de las obras; si la directriz fuese curva en todo ó parte del trayecto subterráneo, ya antes hemos indicado uno de los procedimientos que serian mas aplicables á este caso.

Si hay pozos intermedios, que perforados han de servir para proporcionar nuevos puntos de ataque, es entonces preciso marcar sobre el terreno la directriz recta ó curva por los medios que quedan descritos y determinado el punto ó puntos en que deben abrirse los pozos, se perforan estos hasta la profundidad marcada en el perfil longitudinal, mas la que se crea oportuna para la construccion. Marcada la directriz sobre los costados trasversales del bastidor de la boca, ó fuera de ellos, es fácil por medio de una plomada determinar en el fondo un punto del eje y la direccion de la tangente ó de dos cuerdas sucesivas, proyecciones de las marcadas sobre el terreno en su parte superior, desde las cuales se continúa como á partir de las bocas extremas.

**265. Replanteo de las rasantes.** Cuando el eje ha sido marcado en el terreno por medio de estacas fijas en él, se procede á determinar las rasantes, así en los puntos extremos como en los intermedios de cada una. A partir del punto de origen y suponiendo que la primera rasante esté en terraplen, se puede determinar el punto de interseccion del eje con el terreno, valiéndose de un nivel de pendiente ó de una nivelacion ordinaria,

y teniendo presente la distancia horizontal que separa los dos puntos que se marcan sobre el terreno, y aun fuera de él, por medio de estacas ó losas de piedra. En cuanto á los puntos intermedios se hace uso de tres ó mas niveletas de igual altura, colocada una sobre cada punto extremo; la cota de terraplen estará dada en cada punto por la altura á que sea preciso elevar el pie de la niveleta, para que el borde superior de la tablilla quede en la rasante  $ab$  de los extremos.

Fig. 91.

En los desmontes de altura algo considerable no es posible desde luego seguir este medio, á menos de emplear niveletas muy altas y hacer hoyos muy profundos; es mas económico y expedito servirse en un principio de las cotas señaladas para cada punto en el perfil longitudinal y cuando se ha desmontado hasta 30 ó 40 centímetros de la rasante, es ya entonces muy sencillo continuar esta por medio de niveletas, practicando pequeños hoyos  $m$  en los que se baja la niveleta hasta enrasar con las dos anteriores.

266. **Zona de terreno necesaria para la explanacion.** Cuando se ha marcado la directriz y los puntos principales de la rasante, es necesario determinar la zona de terreno que ha de ocupar la explanacion de la via, para lo que deben tenerse además á la vista los perfiles longitudinal y trasversales del trazado adoptado y replanteado. Esta operacion es muy sencilla, pero exige no menos cuidado; conociendo en cada perfil trasversal  $A, B, C, \dots$  las cotas de desmonte ó de terraplen, se deberá marcar á cada lado de la directriz  $hh'$   
1.º el semiancho  $hb$  de la explanacion, con inclusion de

Fig. 91.

la cuneta, si es en desmante, y 2.º otra distancia horizontal  $bm$ ,  $am'$ , que será la proyeccion horizontal del talud del desmante ó terraplen y que, segun la inclinacion del terreno, dará sobre este una longitud mas ó menos larga.

Estos anchos, así en los terraplenes como en los desmontes no son en general suficientes y deben tener algun aumento, para el caso en que el corrimiento de los desmontes ó el de los terraplenes obligasen á dar á unos y otros mayor talud que el previsto en el proyecto, para poder practicar zanjas de desagüe y saneamiento, si las condiciones del terreno lo exigiesen, y en fin, para evitar en todo caso que los trabajos de la agricultura lleguen al pie ó borde de los taludes en terraplen ó desmante y ocasionen sobre estos los consiguientes perjuicios. Este mayor ancho es variable segun las circunstancias de la localidad, pero en general no deberá ser menor de 1 á 2 metros.

Marcados así sobre el terreno estos puntos límites y unidas sus proyecciones por líneas rectas, se tiene el plano ó contorno  $opqr$ ,  $o'p'q'r'$  de la faja ó zona de terreno que exige el establecimiento de la via y que se llama *zona de expropiacion*, porque, por regla general, es necesario expropiar y adquirir dicho terreno antes de proceder á la ejecucion de los trabajos.

Este plano formado segun las disposiciones vigentes, en la escala de  $1/400$  debe representar la figura, extension y límites de las fincas rústicas y urbanas comprendidas dentro de la zona, la clase ó calidad de las fincas y los nombres de sus propietarios; cada plano debe compren-

der todo lo relativo á cada término ó distrito jurisdiccional. Cuando se tiene así el plano exacto de la zona de terreno que ha de expropiarse y las divisiones y límites de las diferentes fincas, es bien fácil hallar la medida ó extension superficial ocupada en cada una y por tanto su valor, segun el precio asignado por la tasacion pericial.

267. **Rectificaciones del replanteo.** Las estaquillas ó marcas que indican así la directriz como la rasante, desaparecen con frecuencia durante la ejecucion de los trabajos, unas veces por ser inevitable, otras por descuido y no pocas tambien por miras interesadas en ejecutar, evitar, aumentar ó disminuir cierta clase de obras. Por esta razon los agentes facultativos de la inspeccion ó direccion de las obras deben vigilar con todo esmero sobre la conservacion de las señales del replanteo, rectificándolas además periódicamente, para asegurarse en todo tiempo de su posicion exacta y de la buena marcha de los trabajos. Al terminarse la explanacion, sobre todo, debe hacerse una verificacion general de las rasantes y del eje, antes de proceder al afirmado en las carreteras, ó de sentar la via si es un camino de hierro. En las primeras basta generalmente para las rasantes el recorrido por las niveletas cuando se tienen puntos fijos; pero en los caminos de hierro, en donde las pendientes tienen una influencia mas sensible y exigen por tanto mayor grado de exactitud y continuidad, es casi siempre preciso verificar una nueva nivelacion completa, no solo antes sino despues de sentada la via, así como una verificacion muy minuciosa de la directriz, particularmente

en las curvas, para que la via quede sentada en cada una de estas con arreglo al radio adoptado.

268. **Observaciones acerca del replanteo.**—

**Conclusion.** Aunque á primera vista aparece que la operacion del replanteo debiera limitarse á trasladar exactamente al terreno el trazado del plano, las personas que han tenido ocasion de hacer una y otra clase de trabajos saben bien que, aun en los proyectos mejor estudiados, existen errores mas ó menos sensibles y debidos á causas casi siempre inevitables. La diferencia de apreciacion de los instrumentos, la lectura de sus graduaciones, las escalas, cálculos, copias etc. y demás operaciones, hechas casi siempre por diferentes personas, son otras tantas causas que motivan y explican los pequeños errores inherentes á todo proyecto y que por consiguiente hacen ver la necesidad de corregirlos en la época de replanteo. Esta operacion es por tanto *un estudio de detalle del proyecto y del terreno*, en el que deben corregirse todas las pequeñas inexactitudes que se vayan advirtiendo, conciliando los resultados con las indicaciones del proyecto, y mejorando, siempre que sea posible, las condiciones del trazado en todos aquellos detalles que casi nunca pueden ser objeto de las apreciaciones generales de un primer estudio. Por consideraciones análogas, siendo tambien muy difícil determinar con entera precision los puntos del terreno á que corresponden los perfiles trasversales del proyecto, y siendo estos como se ha visto la base de la cubicacion de los desmontes y terraplenes, es necesario, ó al menos muy conveniente, sobre todo en las obras por contrata, tomar nuevamente dichos

perfiles y marcar los puntos del terreno á que corresponden.

En las vias en que, como en los caminos de hierro, las pendientes tienen una influencia tan grande, es asimismo indispensable verificar una nivelacion general, siguiendo la línea replanteada, para asegurarse de la longitud é inclinacion exactas de cada rasante.

Estas modificaciones de detalle, si bien no pueden ni deben considerarse como una alteracion del proyecto, que en su esencia y conjunto queda el mismo, exigen sin embargo una atencion asidua, un doble estudio, por decirlo así, del mayor interés en el buen resultado de las obras, por cuya razon hemos creido oportuno llamar la atencion sobre punto tan importante.

Así para atenuar estos pequeños errores, como para no incurrir en otros mas graves y de consecuencias mas trascendentales, seria, á nuestro juicio, muy conveniente y de resultados muy eficaces, que el replanteo se verificase inmediatamente despues de los estudios de gabinete y antes de la adopcion definitiva del trazado. Así se rectificarian los errores grandes ó pequeños del primer estudio y habria una casi completa seguridad de que los planos y perfiles del proyecto y las clasificaciones y demás elementos del presupuesto correspondian real y efectivamente á las condiciones y accidentes del terreno (\*) y

---

(\*) Al entrar en prensa este escrito acaba de nombrarse por el Gobierno una comision de Ingenieros de caminos para redactar nuevos formularios de proyectos de carreteras, partiendo de la base de una contratacion alzada, en cuyo caso ó sistema creemos aun mas conveniente y casi indispensable el replanteo prévio.

se evitarían las muy sensibles diferencias que en ocasiones entorpecen y hasta paralizan la marcha de los trabajos, y son además una continua y embarazosa dificultad para la administración y sus encargados.

**FIN DE LA PARTE PRIMERA.**

se evitan las muy serias diferencias que en ocasiones entorpecen y hasta paralizan la marcha de los trabajos, y son éstas las causas que en las oficinas de la administración y sus organismos...

El problema de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

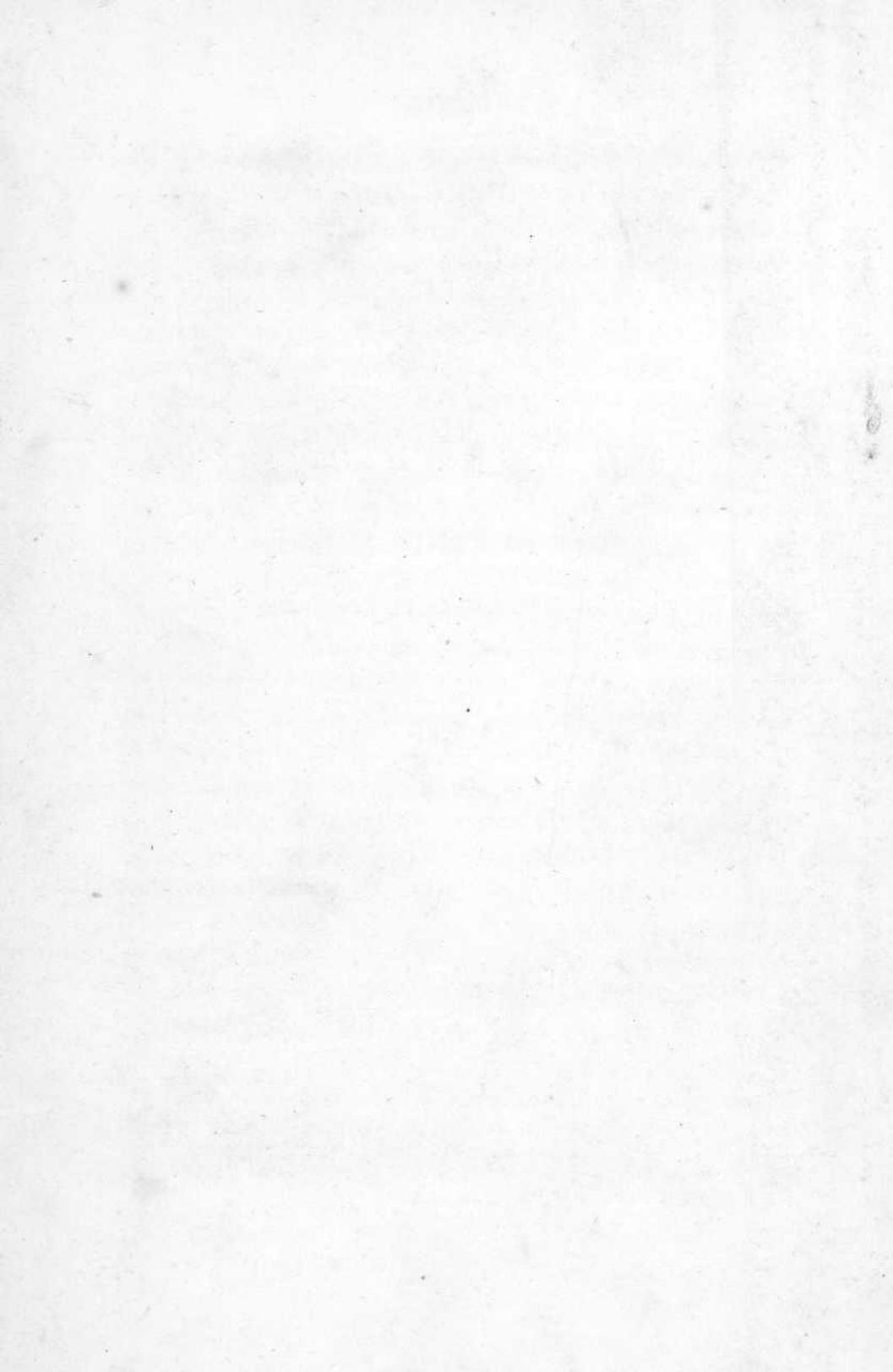
El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...

El estudio de la organización de los servicios de la administración pública es uno de los más importantes que se plantean en la actualidad...





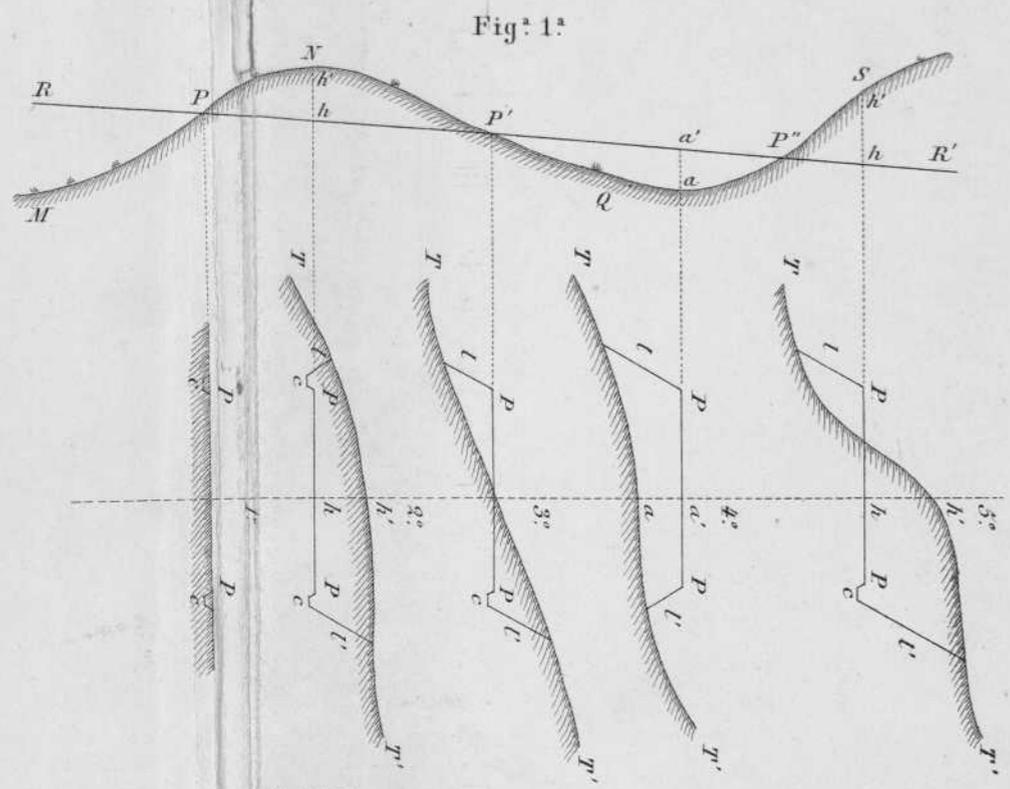


Fig.<sup>a</sup> 1.<sup>a</sup>

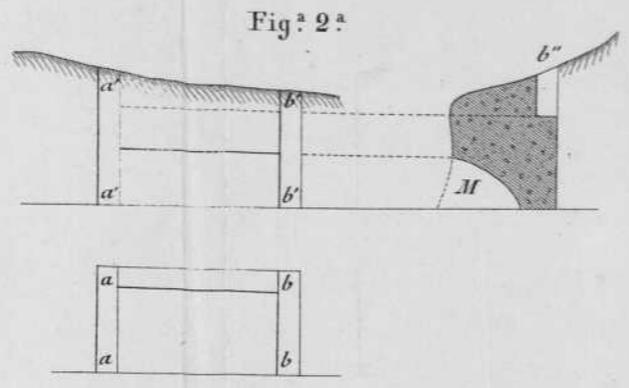


Fig.<sup>a</sup> 2.<sup>a</sup>

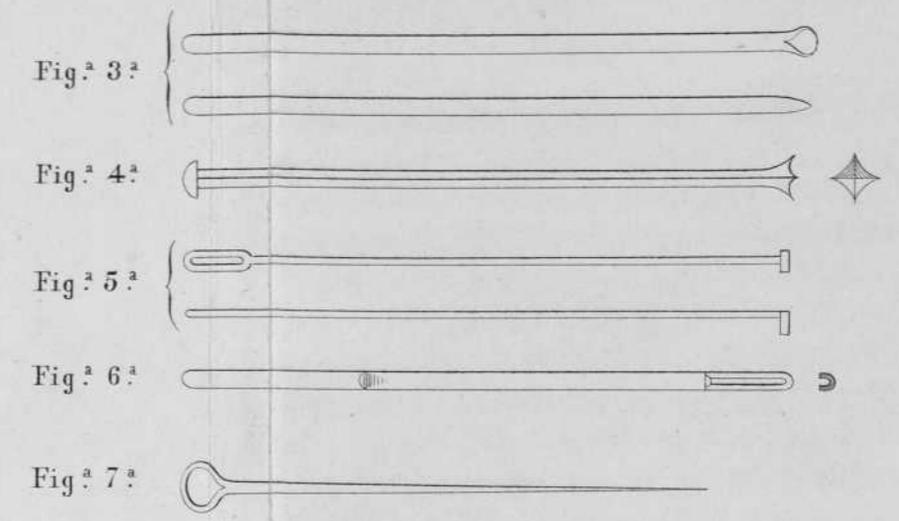


Fig.<sup>a</sup> 3.<sup>a</sup>

Fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>

Fig.<sup>a</sup> 5.<sup>a</sup>

Fig.<sup>a</sup> 6.<sup>a</sup>

Fig.<sup>a</sup> 7.<sup>a</sup>

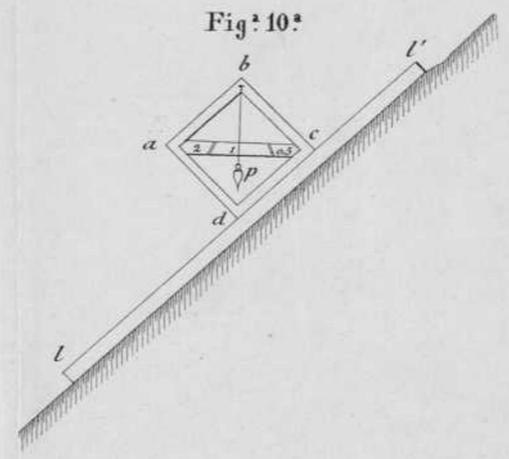


Fig.<sup>a</sup> 10.<sup>a</sup>

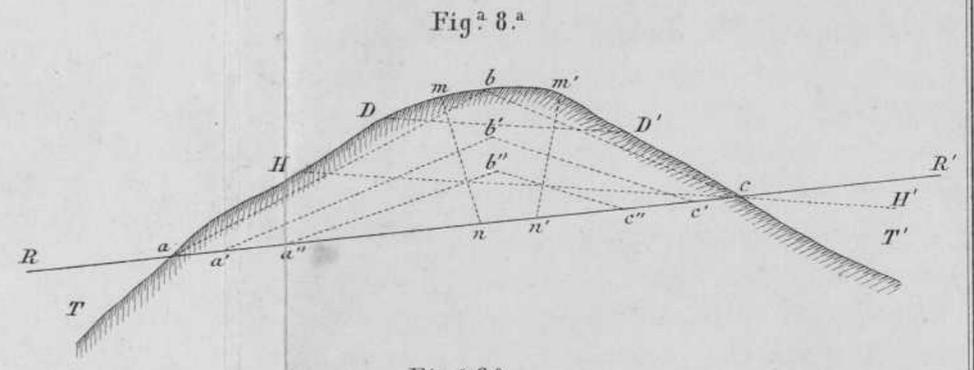


Fig.<sup>a</sup> 8.<sup>a</sup>

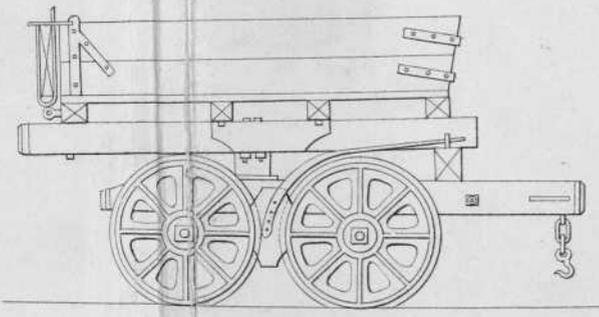


Fig.<sup>a</sup> 12.<sup>a</sup>

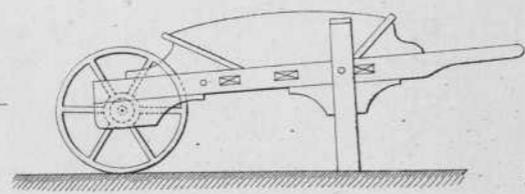


Fig.<sup>a</sup> 13.<sup>a</sup>

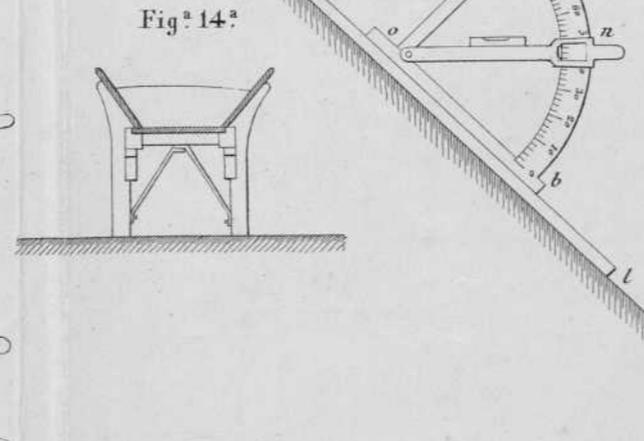


Fig.<sup>a</sup> 14.<sup>a</sup>

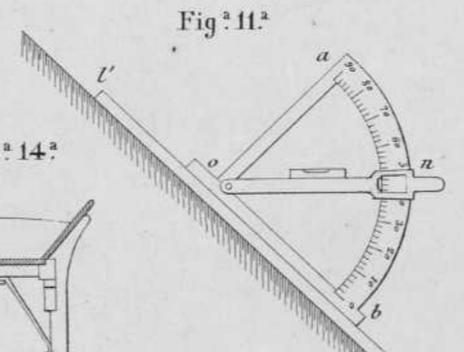


Fig.<sup>a</sup> 11.<sup>a</sup>

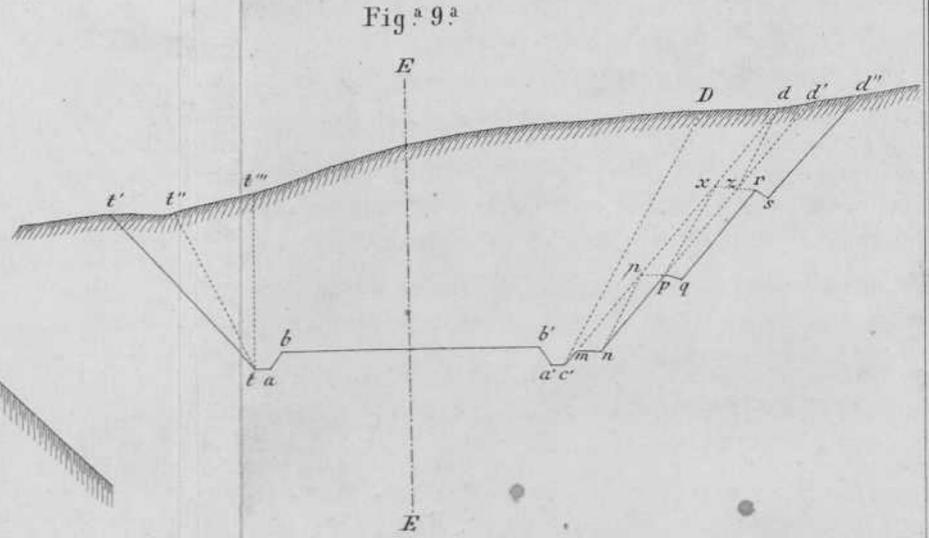


Fig.<sup>a</sup> 9.<sup>a</sup>

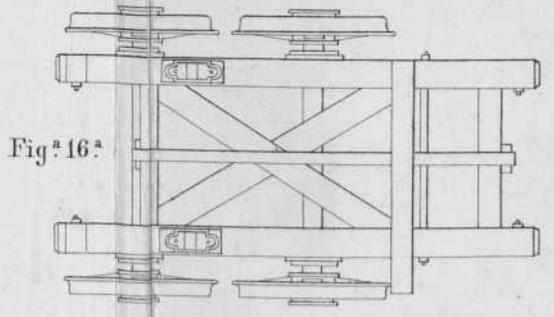


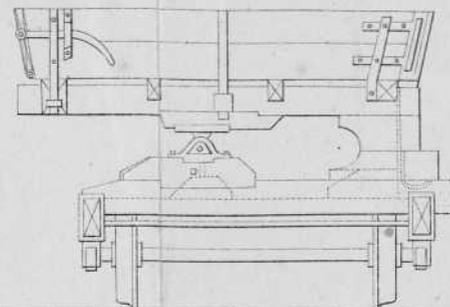
Fig.<sup>a</sup> 16.<sup>a</sup>

5000  
1000  
5000

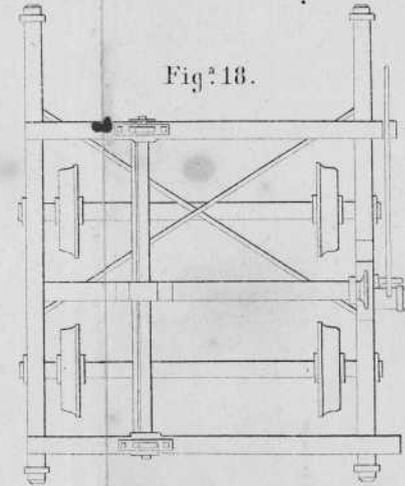
8000  
75  
1000  
45  
500

1500  
52

Fig<sup>a</sup> 17.

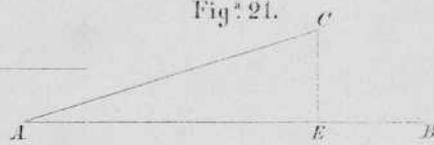


Fig<sup>a</sup> 18.

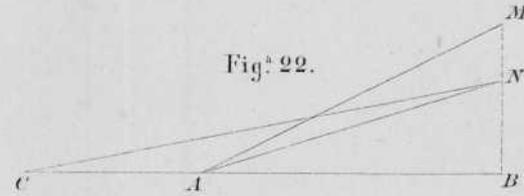


Fig<sup>a</sup> 19.

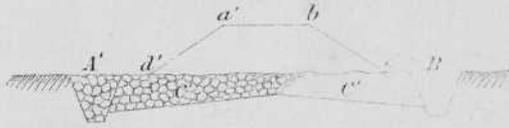
Fig<sup>a</sup> 21.



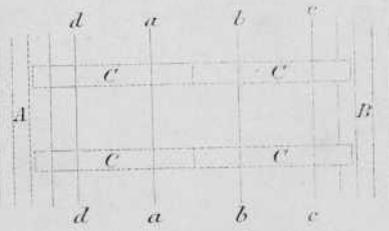
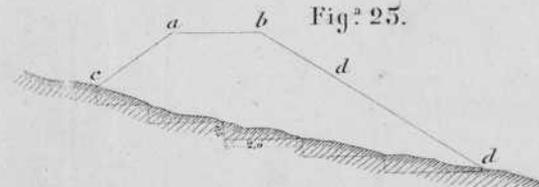
Fig<sup>a</sup> 22.



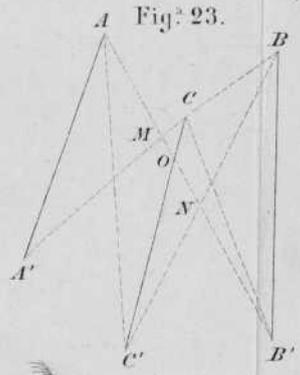
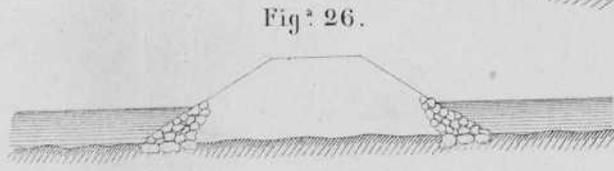
Fig<sup>a</sup> 24.



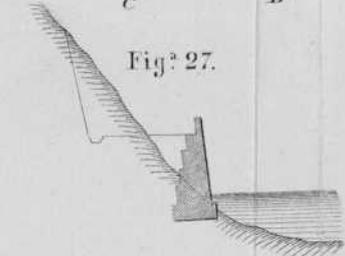
Fig<sup>a</sup> 25.



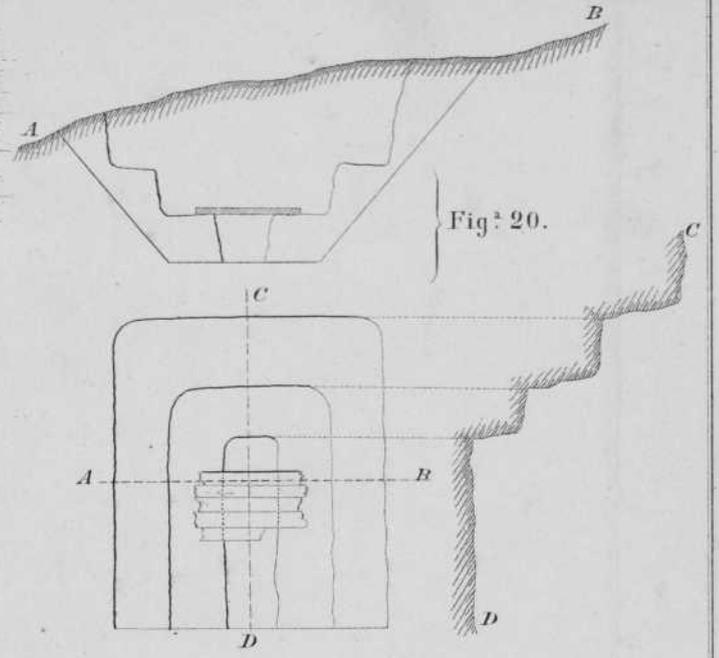
Fig<sup>a</sup> 26.



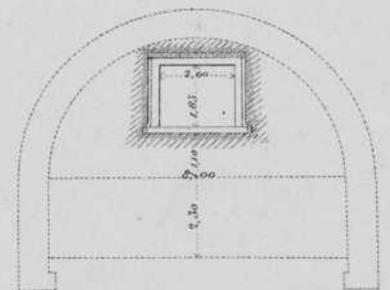
Fig<sup>a</sup> 27.



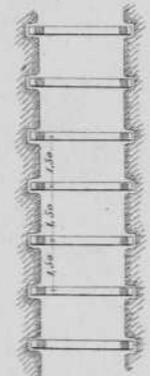
Fig<sup>a</sup> 20.



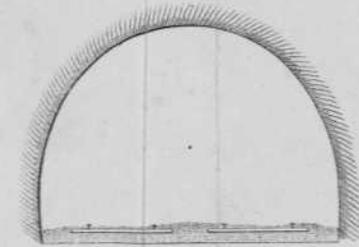
Fig<sup>a</sup> 32.



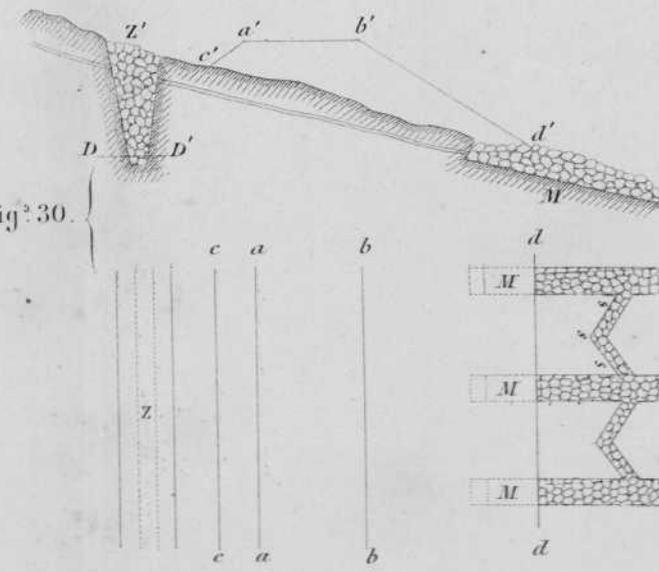
Fig<sup>a</sup> 33.



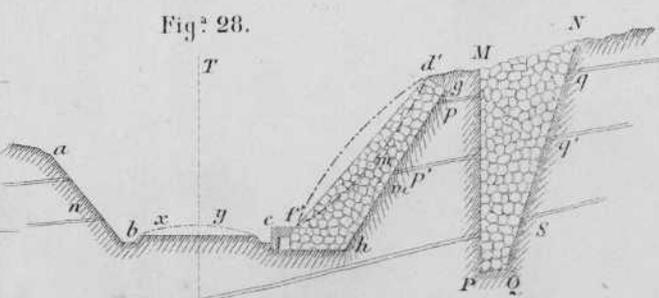
Fig<sup>a</sup> 31.



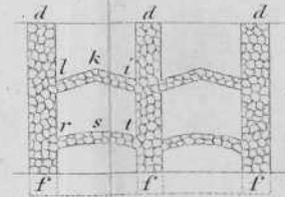
Fig<sup>a</sup> 30.



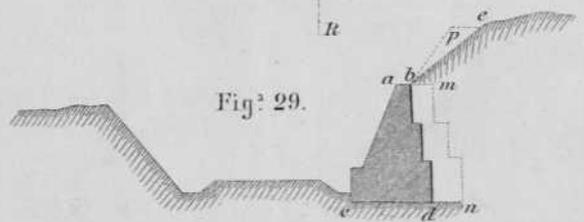
Fig<sup>a</sup> 28.



Proyeccion sobre TR

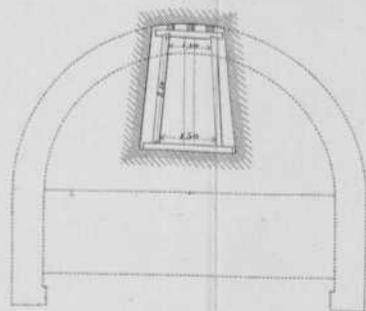


Fig<sup>a</sup> 29.

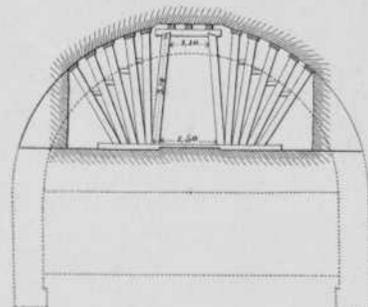




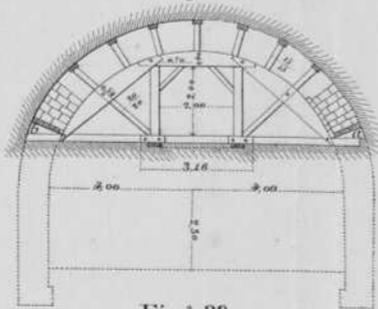
Figª 34.



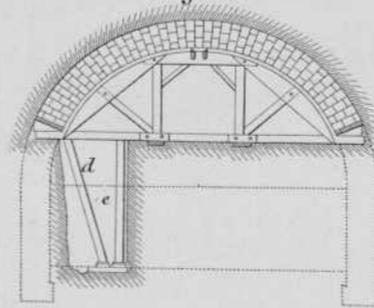
Figª 36.



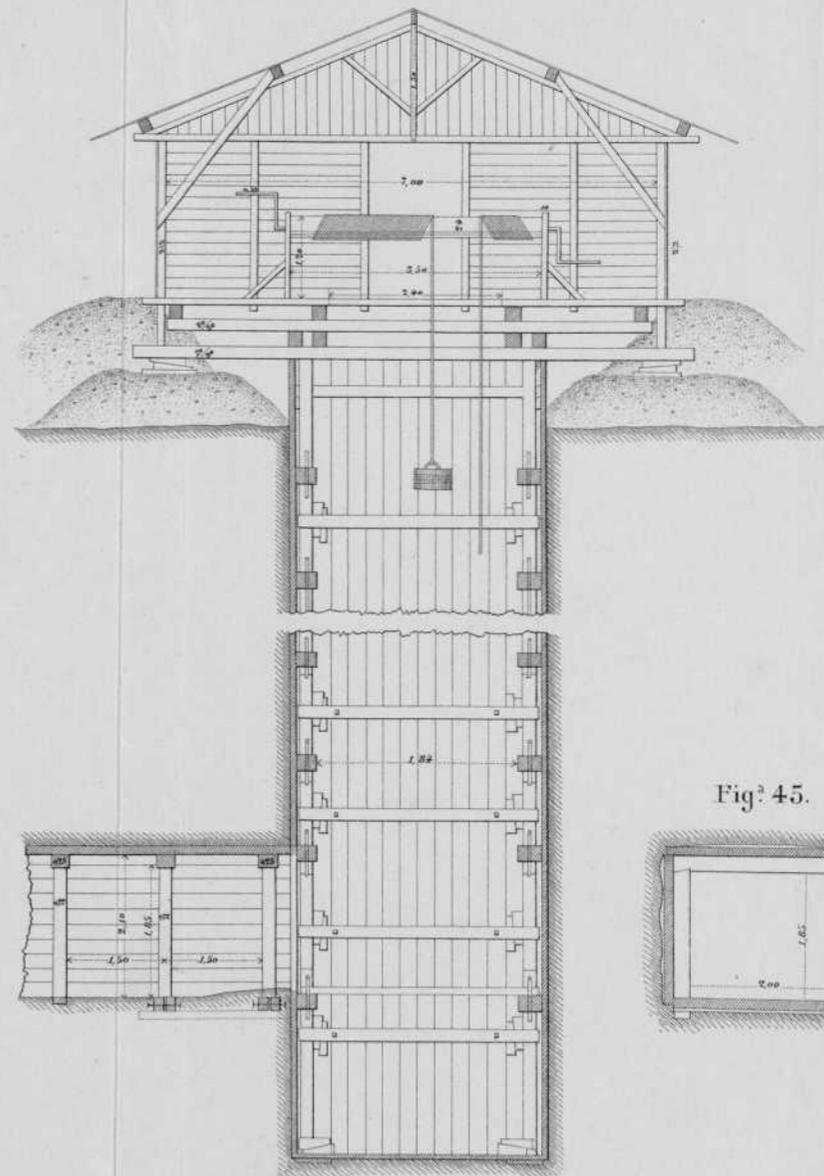
Figª 38.



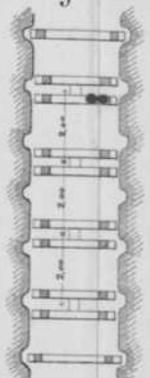
Figª 40.



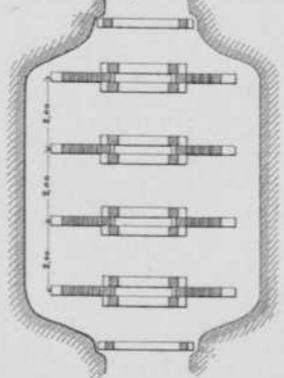
Figª 44.



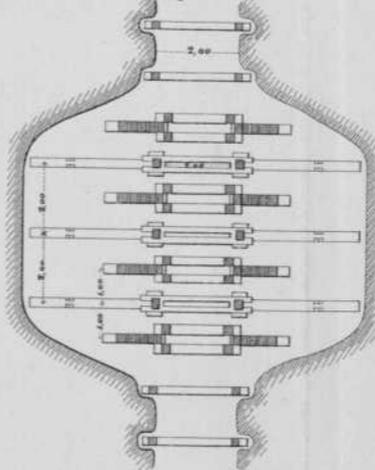
Figª 35.



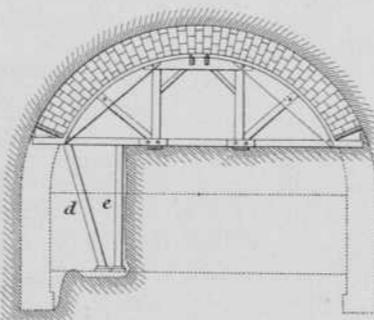
Figª 37.



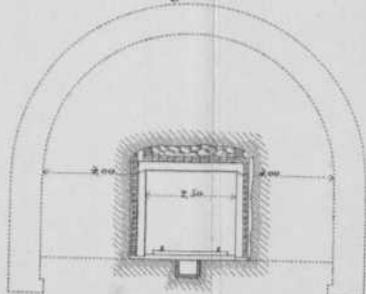
Figª 39.



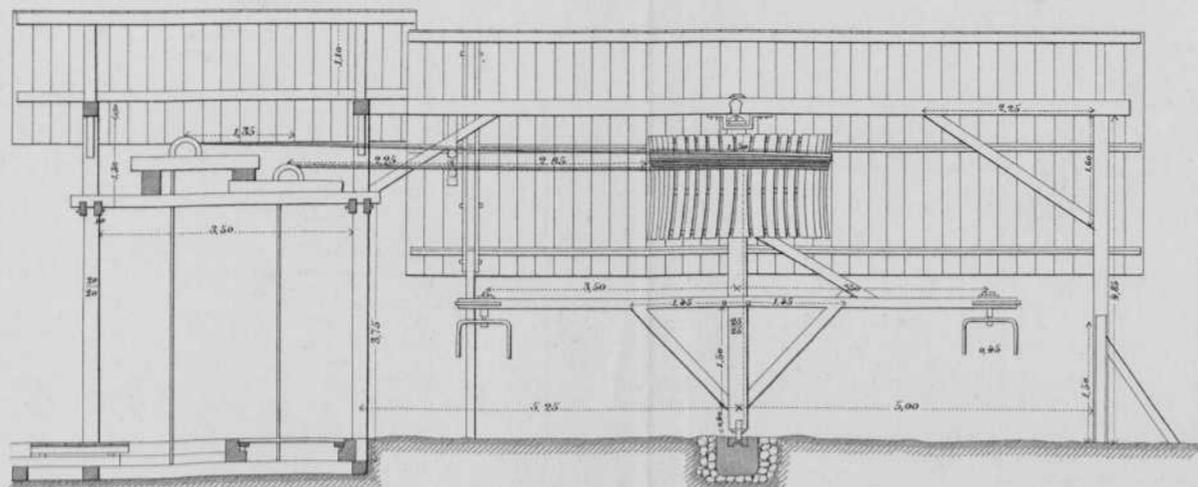
Figª 41.



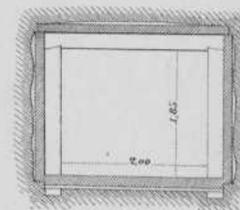
Figª 42.



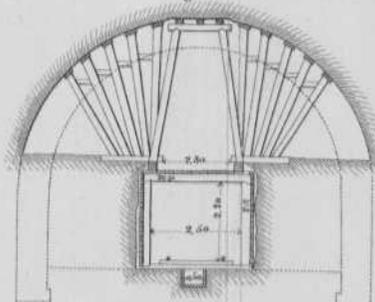
Figª 46.



Figª 45.

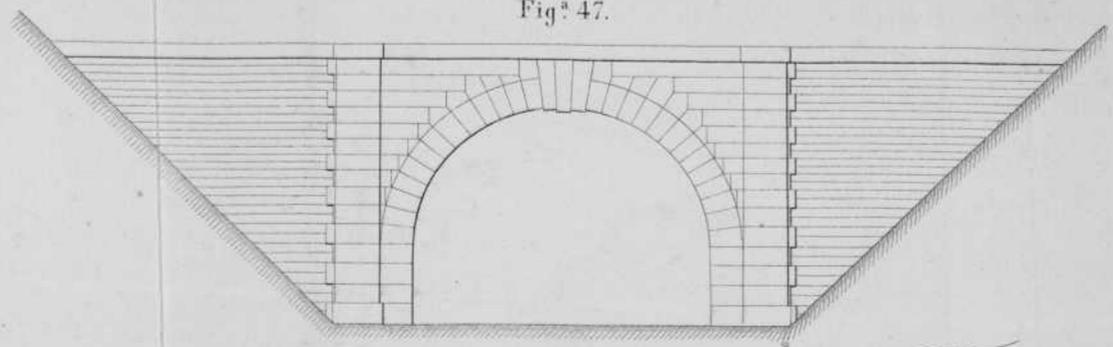


Figª 43.

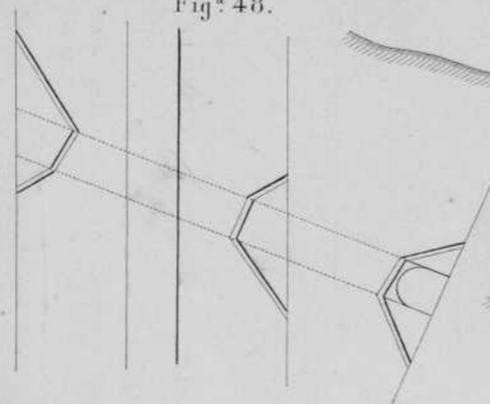




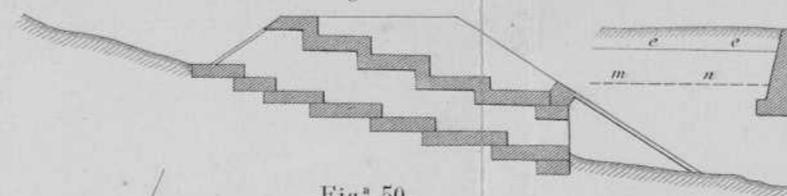
Fig<sup>o</sup> 47.



Fig<sup>o</sup> 48.



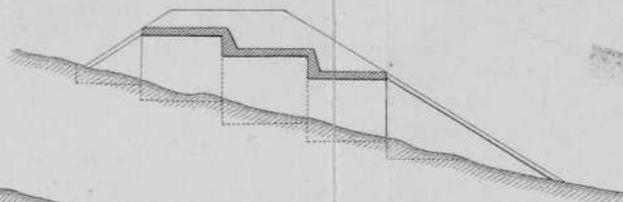
Fig<sup>o</sup> 49.



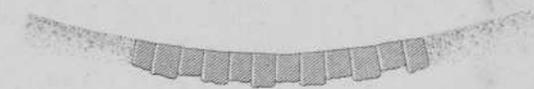
Fig<sup>o</sup> 51.



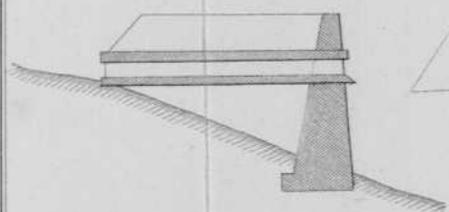
Fig<sup>o</sup> 50.



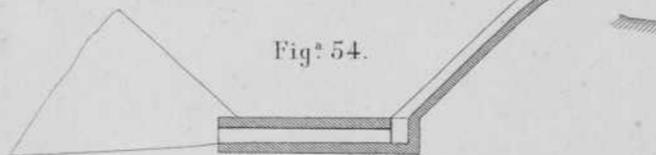
Fig<sup>o</sup> 52.



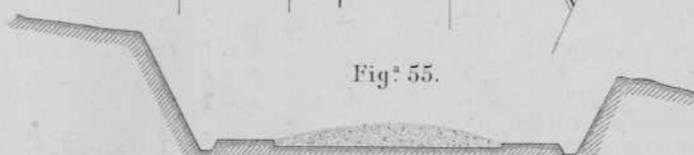
Fig<sup>o</sup> 53.



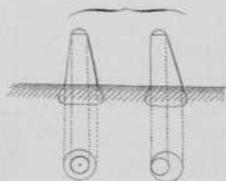
Fig<sup>o</sup> 54.



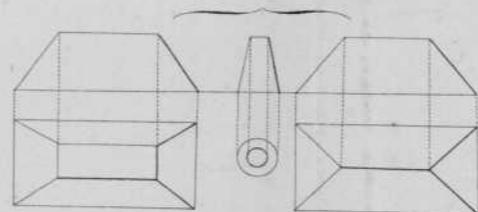
Fig<sup>o</sup> 55.



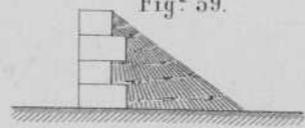
Fig<sup>o</sup> 57.



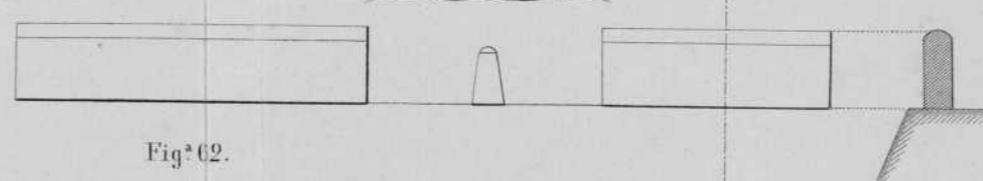
Fig<sup>o</sup> 58.



Fig<sup>o</sup> 59.

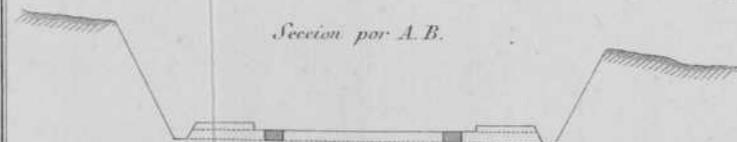


Fig<sup>o</sup> 60.

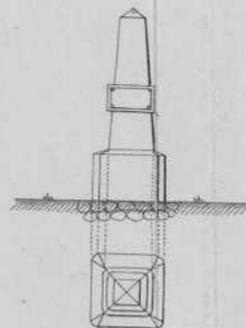


Fig<sup>o</sup> 56.

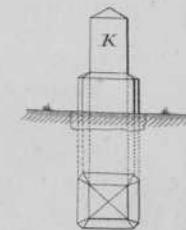
Sección por A.B.



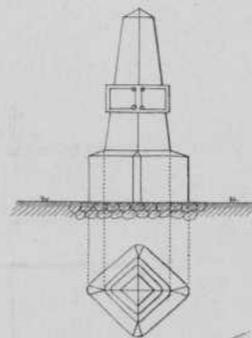
Fig<sup>o</sup> 62.



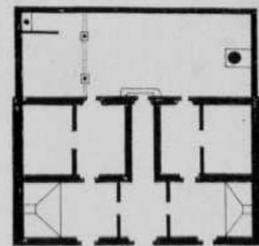
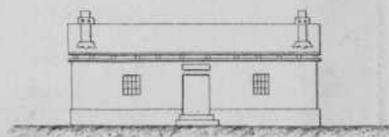
Fig<sup>o</sup> 61.



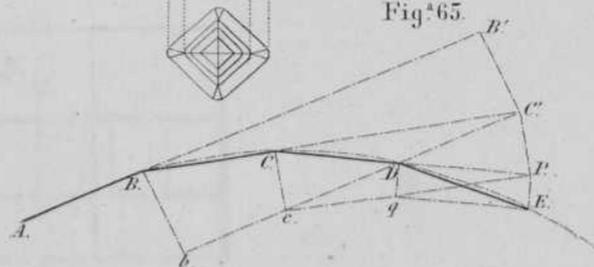
Fig<sup>o</sup> 63.



Fig<sup>o</sup> 64.



Fig<sup>o</sup> 65.



Fig<sup>o</sup> 66.

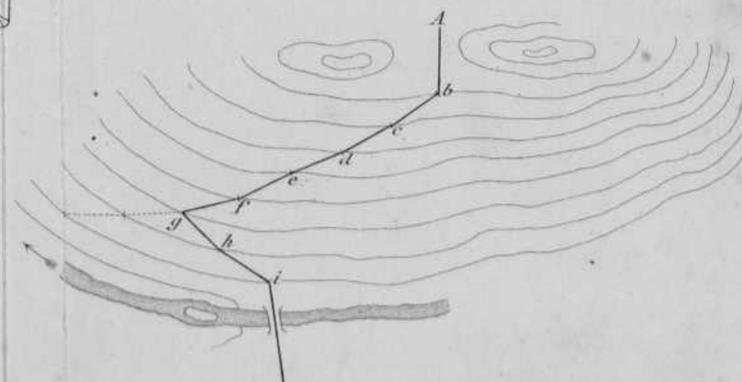




Fig.º 67.

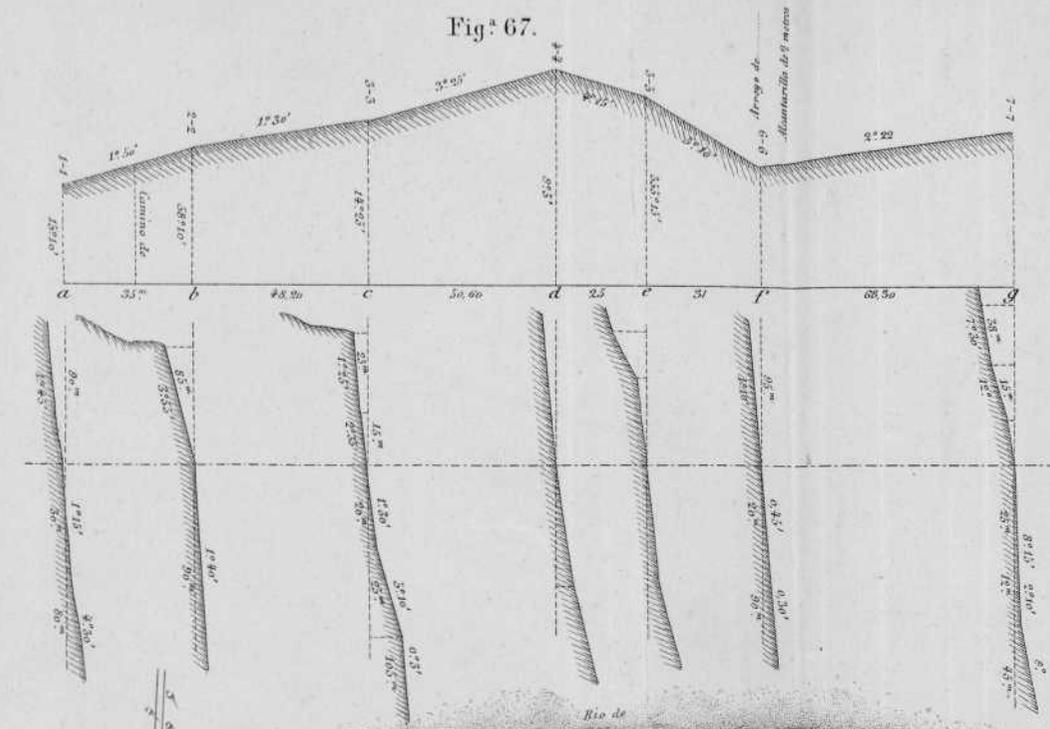


Fig.º 68.

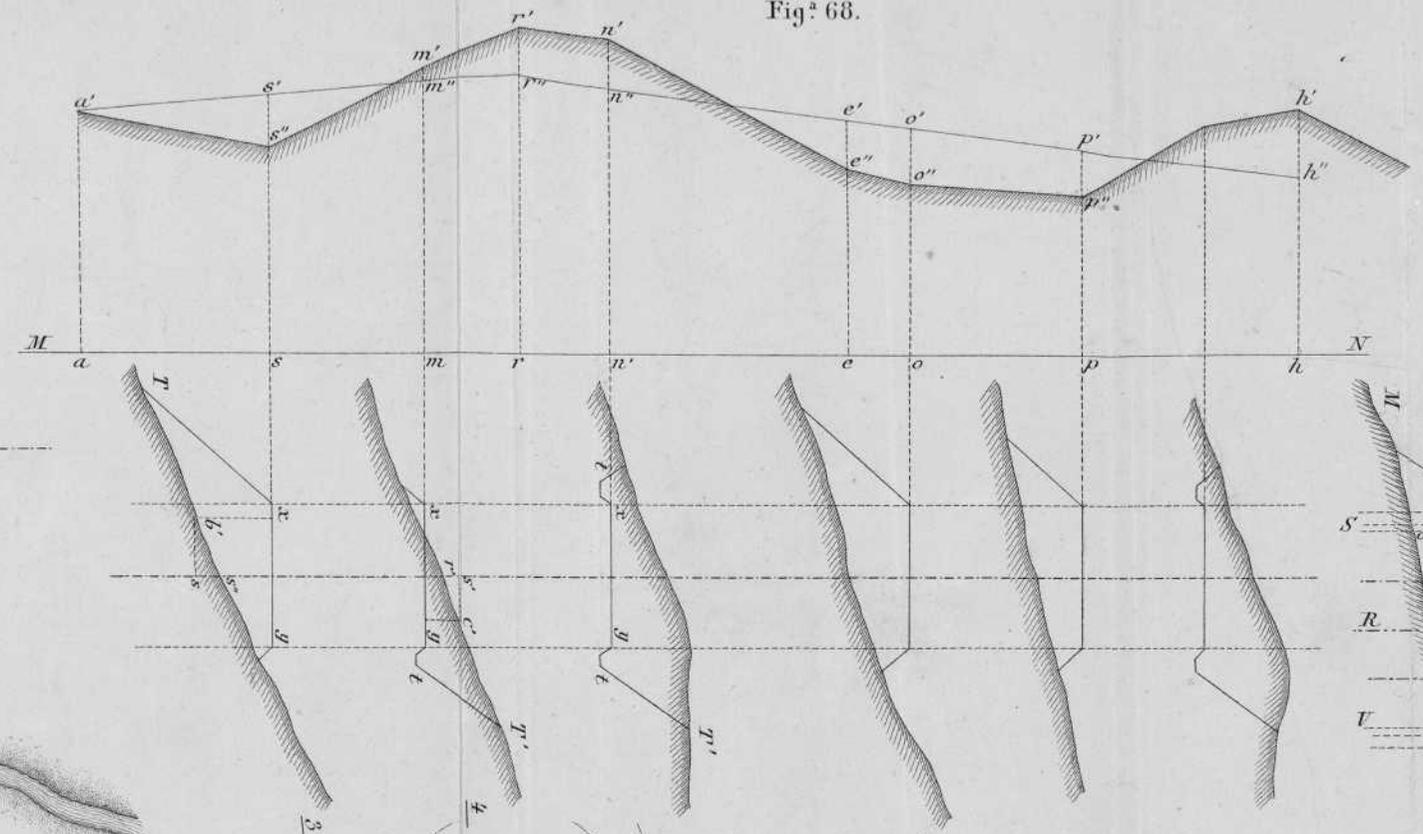


Fig.º 71.

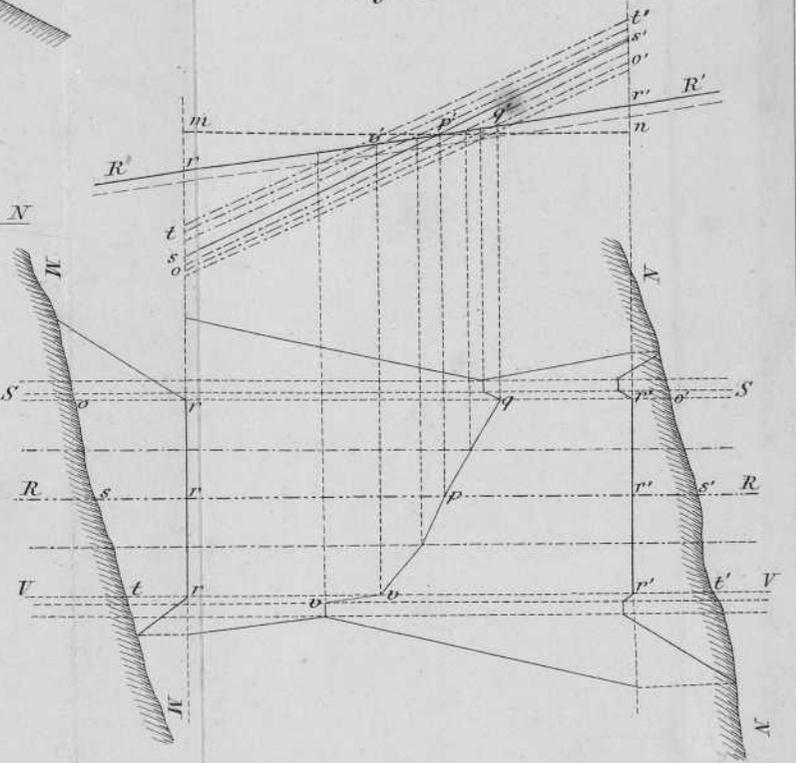


Fig.º 69.

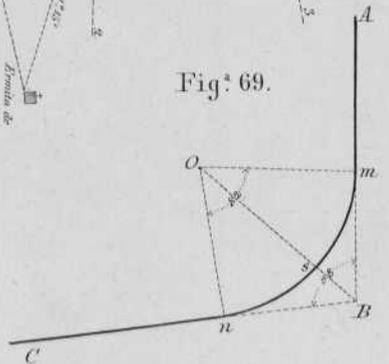


Fig.º 70.

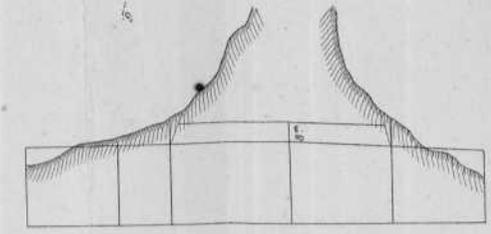
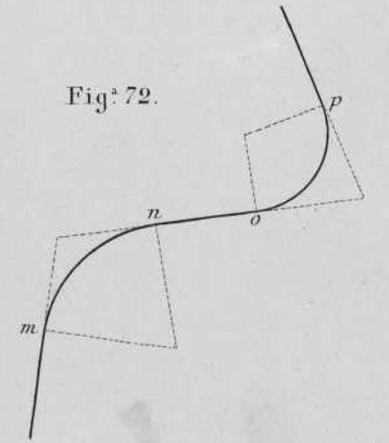
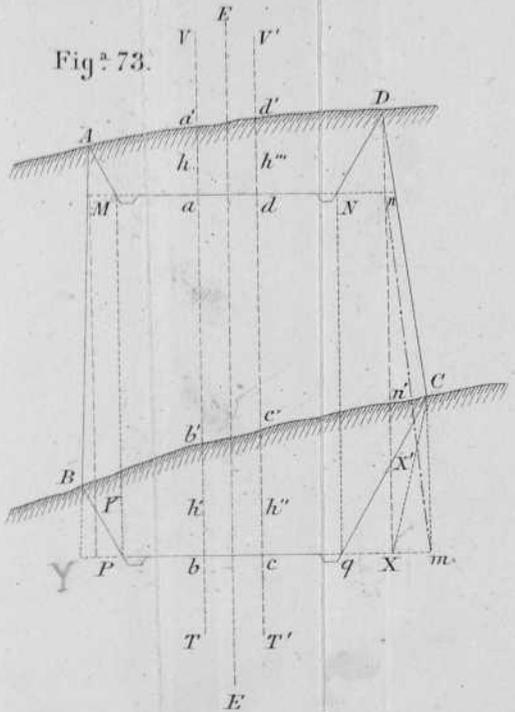


Fig.º 72.

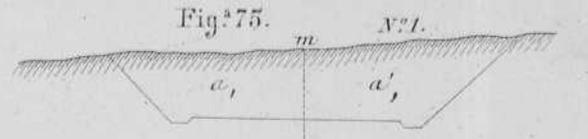




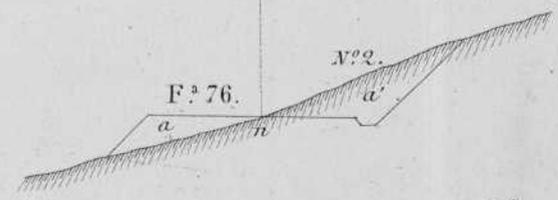
Fig<sup>a</sup> 73.



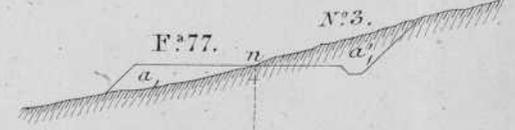
Fig<sup>a</sup> 75.



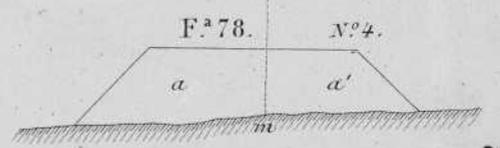
F<sup>a</sup> 76.



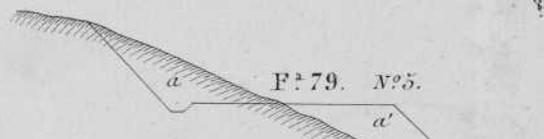
F<sup>a</sup> 77.



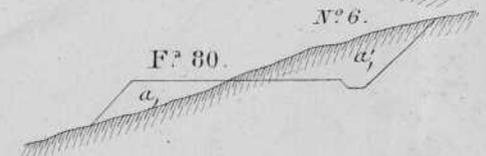
F<sup>a</sup> 78.



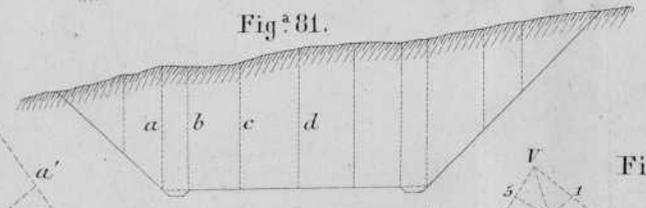
F<sup>a</sup> 79.



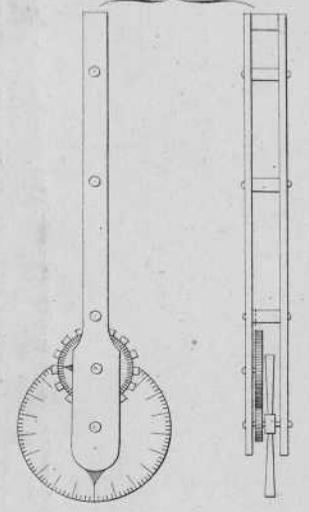
F<sup>a</sup> 80.



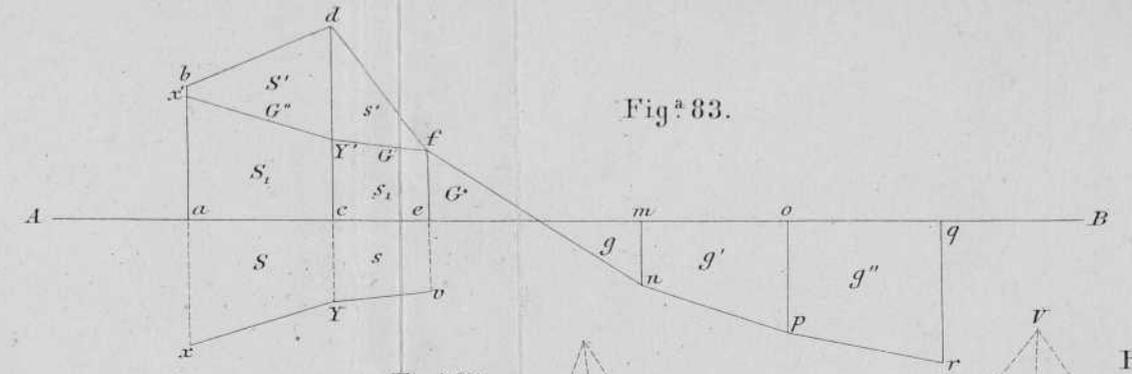
Fig<sup>a</sup> 81.



Fig<sup>a</sup> 82.



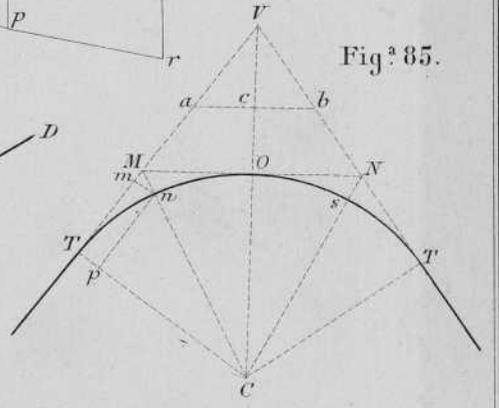
Fig<sup>a</sup> 83.



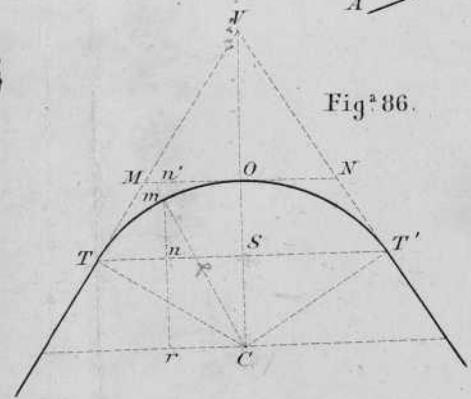
Fig<sup>a</sup> 84.



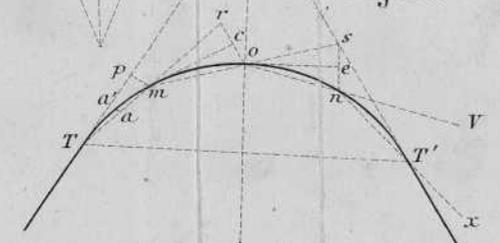
Fig<sup>a</sup> 85.



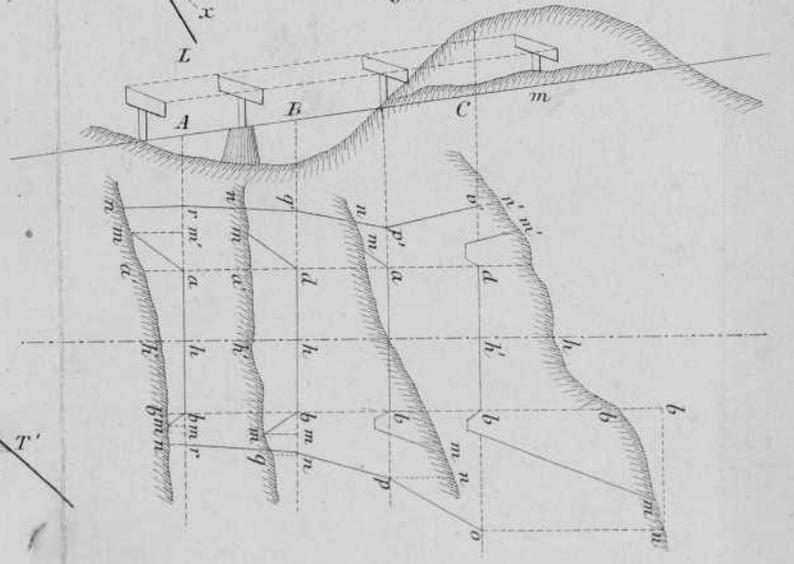
Fig<sup>a</sup> 86.



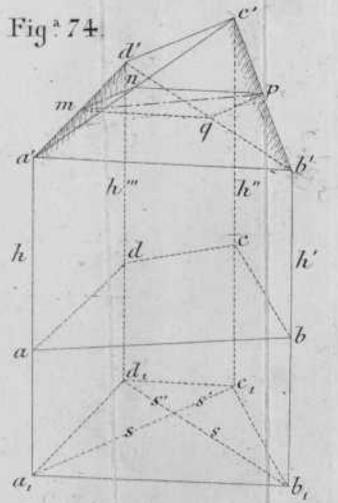
Fig<sup>a</sup> 87.



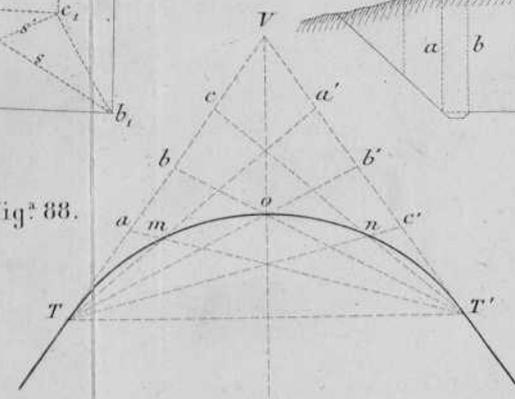
Fig<sup>a</sup> 91.



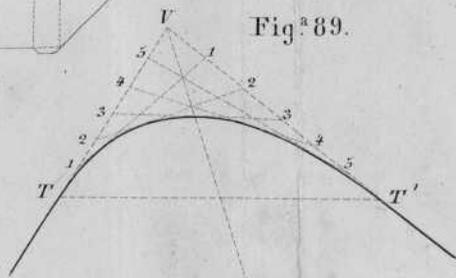
Fig<sup>a</sup> 74.



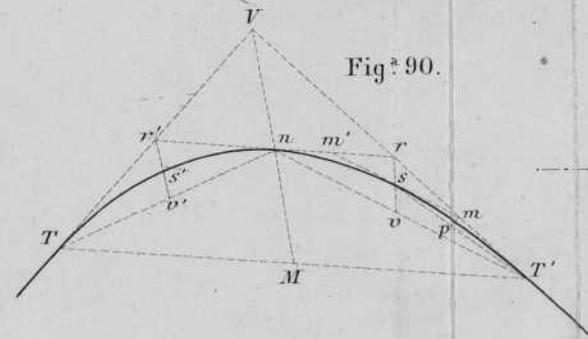
Fig<sup>a</sup> 88.



Fig<sup>a</sup> 89.

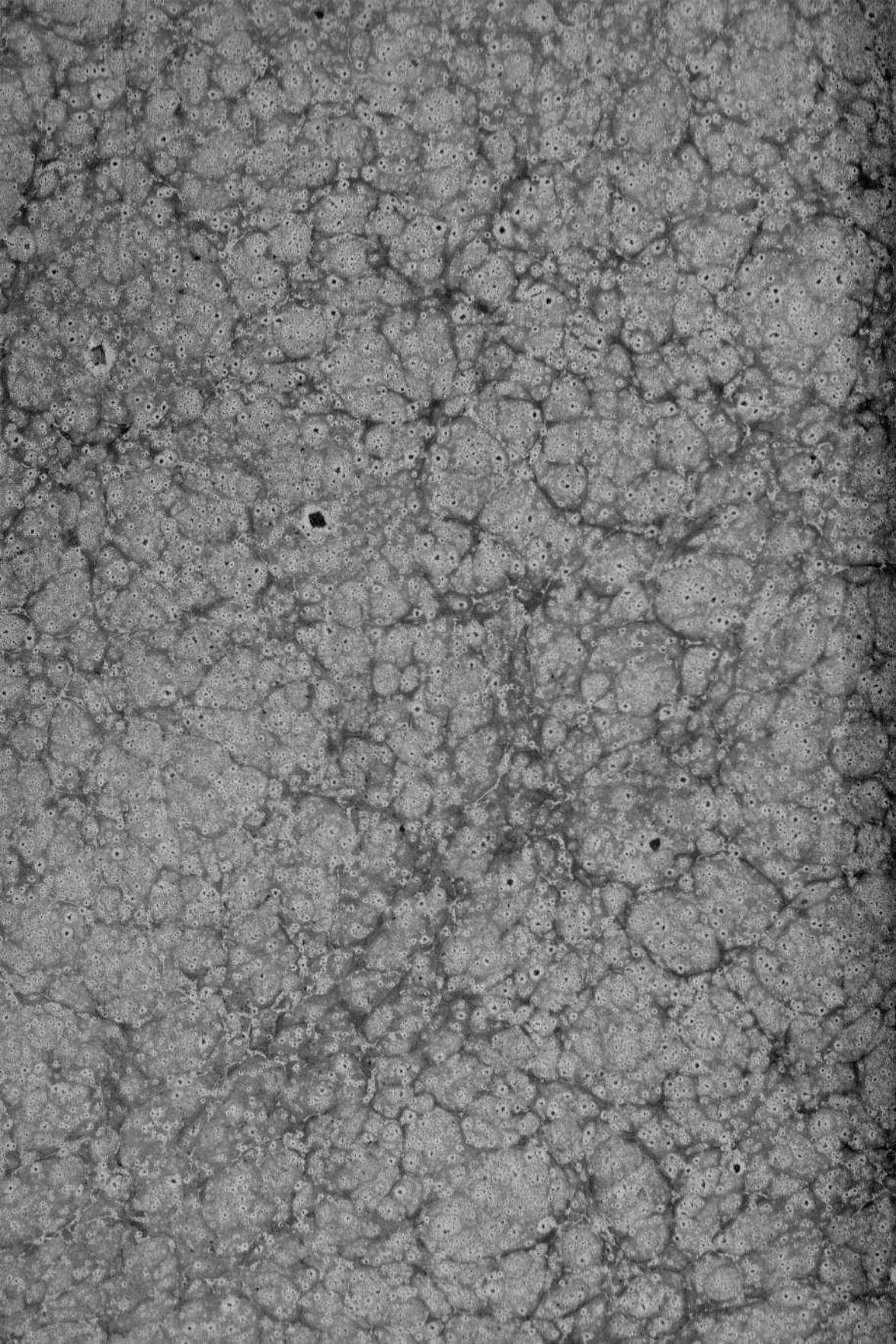


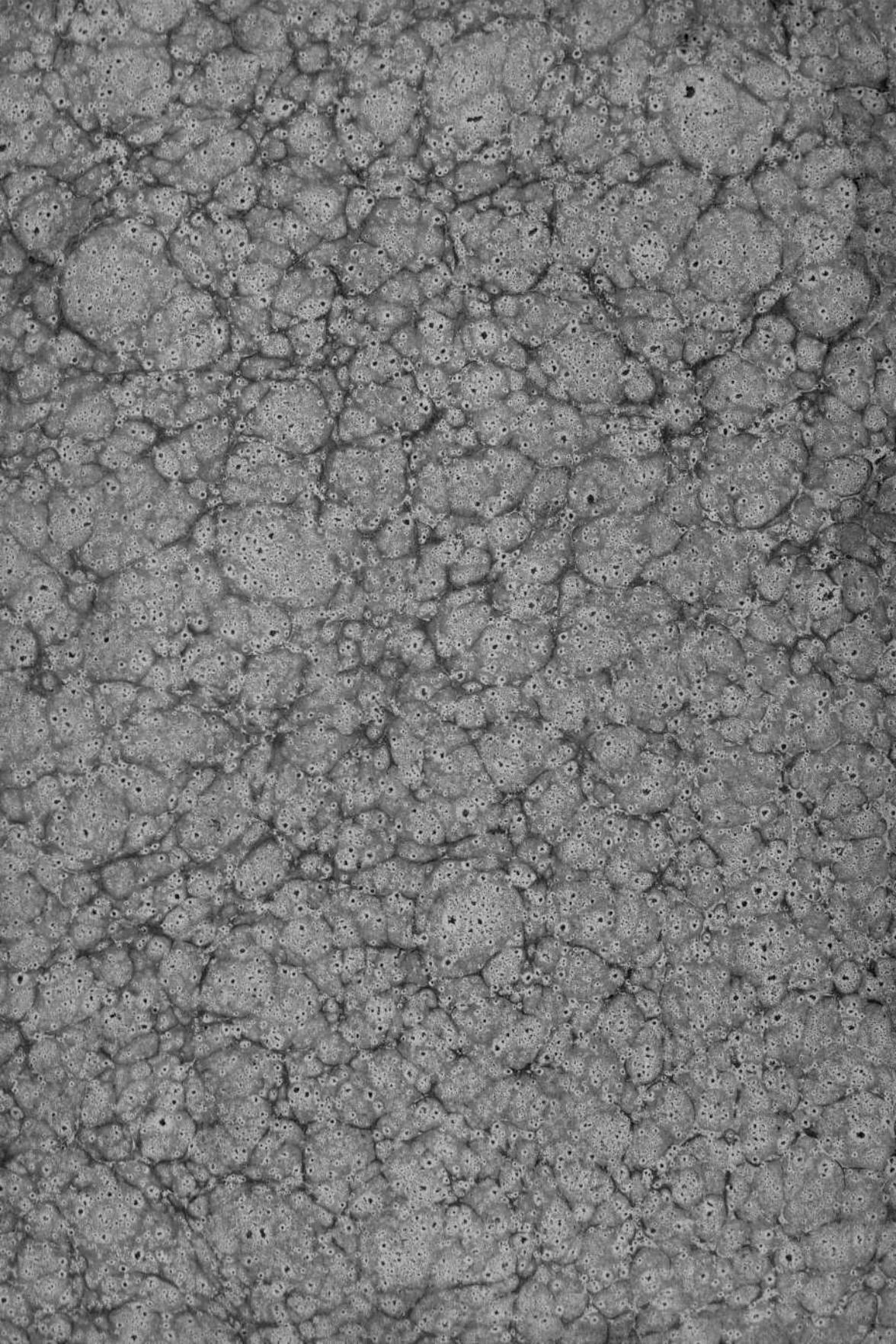
Fig<sup>a</sup> 90.















DE LA VEGA

CARRETERAS  
Y  
CAMINOS DE TIERRA

