tierra, ó de roca de clase bien determinada; otro por la construccion de un metro cúbico de mampostería corriente; otro por un metro cúbico de mampostería de sillares; otro por el trasporte del volúmen de un metro cúbico, y á cierta distancia en carretones, wagones, etc., etc.; y con arreglo á estas estipulaciones, se paga el trabajo ejecutado. Así es como se han hecho la mayor parte de los ferrocarriles alemanes y franceses.

CAPÍTULO V.

OBRAS DE TERRASERIA.

Seria imposible la economía y comodidad en la explotacion de un ferrocarril, si recorriendo simplemente las ondulaciones y sinuosidades del terreno, tuviera grandes inclinaciones y curvas de muy corto radio. Los primeros trabajos de construccion se contraen á hacer desaparecer, ó disminuir en lo posible, esas desigualdades por medio de terraplenes y cortaduras; á salvar los obstáculos que oponen los rios, las profundas barrancas, ó las cimas inaccesibles, por medio de puentes, viaductos y subterráneos, ó *tunnels*. Sobre estas obras, que propiamente deben llamarse de *substruccion*, se asienta la que se conoce con el nombre de *superestructura*, de la cual se tratará oportunamente.

Como las obras de substruccion deben soportar

el peso, y servir de base y fundamento á la superestructura, la que á su vez tiene que soportar el peso y la velocidad de los trenes, es necesario que en todas sus partes tengan una solidez perfecta, sin lo cual serian de muy corta duracion.

Las tierras ó rocas que forman la corteza del globo terrestre, poseen distinta cohesion ó tenacidad; y á ésta y á su menor ó mayor alterabilidad, bajo la influencia de los agentes meteorológicos, deben la propiedad de conservar por mas ó menos tiempo la figura que se les da. Cuando simplemente se les aglomera en un punto, las caras laterales de sus macizos toman cierta inclinacion al horizonte, siempre la misma para cada clase de tierra en igualdad de circunstancias, que es lo que se llama su *talud natural*.

La seccion ó perfil trasversal de una obra de terrasería para que sea duradera, dependerá, pues, de las propiedades naturales de los materiales que entren en su formacion. Cuando por economizar tiempo ó dinero, por falta de terreno ó por cualquiera otra circunstancia, no se le pueda dar la seccion que la naturaleza de los materiales requiere, será necesario reforzarla con otros materiales de mejores propiedades naturales.

Las tierras, al ser removidas de la posicion que han guardado durante muchos años, aumentan no-

tablemente de volúmen (1), y pierden una parte de su cohesion, que no vuelven á adquirir sino con el trascurso del tiempo, por la accion constante del peso que soportan, y por la infiltracion de las aguas. Durante este periodo de condensacion, es cuando las obras de terrasería están mas expuestas á perder la forma que tienen y sus dimensiones; corriendo tambien el peligro de ser completamente destruidas por los agentes exteriores.

Entre estos, el mas temible por los daños que ocasiona, es el agua. Cuando las lluvias son abundantes, disuelven ó deslavan las tierras; obstruyen los fosos y empapan la parte sobre la cual descansa la superestructura. Pierde ésta su firmeza, y se hunde irregularmente; los durmientes asientan en falso y ceden al peso de los trenes; los carriles se doblan y tuercen; la via sufre un completo desarreglo, teniendo las ruedas de las locomotivas y wagones que vencer fuertes inclinaciones, y la explotacion es cada dia mas dispendiosa y arriesgada. Lo mismo sucede, cuando el agua queda algun tiempo depositada cerca de algun terraplen. Penetra entonces por absorcion en toda la masa, hasta la parte superior, aumentando su volúmen y destruyendo su cohesion. Estos efectos se presentan

(1) Las tierras ligeras aumentan $\frac{1}{10}$; las medianas $\frac{1}{5}$, y las fuertes $\frac{1}{6}$ de su volúmen.

con mas ó menos rapidez, y son mas ó menos remediables, segun sea la calidad de la tierra. Como quiera, son sumamente perniciosos, y no debe omitirse medio alguno para precaverse de ellos. Son varios estos medios, cuya eficacia ha demostrado la experiencia. Tales son las declinaciones suaves en los taludes y las plantaciones ó los revestimientos para afirmarlos. Es conveniente procurar cómodo curso á las aguas permanentes y pronto desagüe á las pluviales. Bajo el aspecto económico, cualquier dispendio que pueda hacerse para precaver los efectos del agua, es nada, comparado con los gastos que ocasionaria la reparacion de los daños que causase.

En la construccion de los caminos ordinarios, generalmente se hace lo posible por que el material que se extrae de las cortaduras, sirva para formar los terraplenes. Lo mismo debe procurarse en los ferrocarriles, pues esa compensacion presenta entre otras ventajas, la de reducir el terreno ocupado. Pero la magnitud de las obras, las enormes distancias á que seria necesario conducir los trasportes, y no pocas veces, la mala calidad del material que sale de las cortaduras, obligan frecuentemente á tomar las tierras de lugares mas próximos al terraplen en construccion. Por este método, es claro que los trabajos se aceleran, pero al adop-

tarlo conviene establecer cierta regularidad en las excavaciones que se practican fuera de la línea, para no dar al terreno un aspecto desagradable á la vista, ó inutilizarlo para el cultivo, dejando que se formen depósitos de agua que luego se convierten en focos de infeccion.

El terreno que ha de ocupar un terraplen, debe dejarse perfectamente limpio de piedras, yerbas, troncos, ramas y en general de cualquier cuerpo, que destruyendo la homogeneidad del macizo, ó pudriéndose, pueda causar depresiones, ó derrumbamientos.

Si la altura del terraplen no ha de pasar de un metro y 50 centímetros, se puede construir haciendo un foso de cada lado, echando las tierras al centro y extendiéndolas por capas de 25 á 30 centímetros de espesor, que se afirman por medio de golpes de pison. Estos golpes, deshacen los terrones y evitan la formacion de cavidades que son muy nocivas. Los fosos laterales, ademas de proporcionar los materiales necesarios para el terraplen, le sirven de defensa y son muy apropiados para hacer por ellos el desagüe.

Para un terraplen mas elevado, las tierras que faltan se conducen en carretones, extendiéndolas igualmente en capas de poco espesor; y el tránsito continuo de caballos y carruajes desbarata los

terrones, rellena las cavidades, comprime el terreno y produce al fin un macizo suficientemente compacto y homogéneo que presenta grande estabilidad. Pero los trasportes en carretones, solo se pueden usar en terraplenes de poca altura; á distancias que no excedan de 150 metros, cuando el tiempo es favorable y el material es de buena calidad. Si no concurren estas circunstancias, es preferible conducir la tierra en wagones tirados por caballos sobre vias provisionales ó por locomotivas, como veremos mas adelante. Entonces el procedimiento queda reducido á formar los dos lados del terraplen alzándolos de una vez á toda su altura, y despues se rellena la parte central. No se debe comenzar á vaciar en el centro para completar despues los costados, como se hace á menudo, porque entonces quedan estos muy flojos y se desprenden fácilmente.

Se ha dicho ya, que al ser removidas las tierras, aumentan de volúmen, y despues van comprimiéndose hasta adquirir un estado invariable de cohesion. Es, pues, importante prever los efectos de esta compresion, al fijar las dimensiones de un terraplen en construccion, para que cuando las tierras hayan hecho su *asiento*, no resulte demasiado bajo. Este asiento ó contraccion, es segun algunos autores, proporcional al cubo de la altura;

pero no es esto cierto en general, pues varía segun la calidad de la tierra. De aquí se infiere que no debe ponerse la superestructura, hasta que el terraplen haya hecho su asiento.

Los acueductos de desagüe, los puentes y otras obras de mampostería sobre las que haya de levantarse un terraplen, deben hacerse con la conveniente anticipacion, á fin de que adquieran la consistencia debida. Y con el objeto de evitar que se cuarteen ó se inclinen á un lado, cediendo al peso ó al empuje de las tierras, conviene elevar éstas con precaucion por ambos lados simultáneamente de las bóvedas, y extenderlas despues por encima, formando capas bien pisoneadas de 25 á 30 centímetros de espesor.

Sea cual fuere el sistema adoptado para construir un terraplen; debe dársele de una vez su ancho total, porque el material que despues de construido se le echa sobre las caras laterales, no adhiere bien y se desprende ó resbala fácilmente.

El ancho del terraplen en la parte superior, se fija de modo que los durmientes, cuya longitud ha de ser proporcionada al ancho de la via férrea, encuentren suficiente superficie de *bálast* sobre que descansar. Una ancha superficie superior presenta ademas la ventaja, de que en el caso de un accidente, como un descarrilamiento, el tren no está

tan á riesgo de rodar hácia abajo, lo que aumenta extraordinariamente el deterioro y las desgracias que se experimentan en semejantes casos. Para los ferrocarriles de una sola via *(Lám. I, fig.* 1*)*, el espacio comprendido entre los carriles, y ademas, 1 metro y 75 centímetros ó 2 metros, de cada lado, forman un buen ancho de terraplen. Si hay que poner dos vias, debe contarse un espacio cuando menos de 2 metros entre ellas. La inclinacion de los taludes varía necesariamente segun la calidad del material de que se forma el terraplen, ó el que le sirve de revestimiento. La mas usada es la que se mide por una y media de base, y una de altura.

El revestimiento mas sencillo y económico, consiste en extender sobre los taludes, la capa de 15 á 20 centímetros de espesor que al tiempo de limpiar el lugar para comenzar el terraplen, se ha arrancado de la superficie del terreno y se ha reservado, poniéndola á un lado. Las raices y semillas que esta tierra contiene, no tardan en germinar; y arraigándose, afirman el talud.

Cuando por la suave declinacion que se ha dado al talud, puede esperarse con fundamento, que resista por sí solo algun tiempo, se le siembra una mezcla de diversas semillas de plantas que germinen prontamente; como zacate, alfalfa, avena,

etc., ó se plantan estacas de árboles que fácilmente prendan. Mas, si por razon de su naturaleza, de su declinacion, ó de su situacion, el talud no quedase suficientemente defendido con las plantas referidas, ú otras semejantes, y exigiese una proteccion inmediata; el revestimiento deberá hacerse de céspedes, de madera, de piedra colocada en seco, ó de mampostería; siendo conveniente esperar que el terraplen haya hecho casi todo su asiento, para poner el revestimiento; sobre todo cuando se usa la piedra ó la mampostería.

Cuando hay absoluta necesidad de construir un terraplen con tierras barrosas, debe procurarse levantarlo en la buena estacion, empleando el barro bien seco y pisoneándolo para desbaratar todos los terrones; y despues de haber formado la parte interior dando á sus taludes una declinacion á 45°, se defiende de las aguas, echándole encima una camisa ó capa de buena tierra de 50 á 60 centímetros de espesor en la parte superior, y bajando de allí para los costados con la declinacion de uno y medio de base por uno de altura. Si se escasea la tierra de buena clase, se construye con ella una banqueta al pié del talud, de la altura que sea posible; y esto solo basta muchas veces, para contener el movimiento de las tierras barrosas. De este modo nos fué dable consolidar con muy

buen éxito, aunque bajo las peores circunstancias (en la estacion de lluvias), el gran terraplen del Molino, en el camino de Veracruz á San Juan, de 2,000 metros de longitud y 7 de altura media, que se habia derrumbado por la abundancia de aguas, antes de que tomásemos la direccion de las obras.

En lo dicho hasta aquí, se ha supuesto que el terreno en que se trabaja es seco, y bastante firme para no ceder bajo la triple presion del terraplen, de la superestructura, y de los trenes que recorren los ferrocarriles con gran velocidad, sacudiendo violentamente toda la masa, ó por lo menos haciéndola vibrar fuertemente. Algunas otras precauciones son necesarias cuando hay que atravesar una ciénaga, un pantano ó algun terreno seco y firme en la apariencia, pero que por su constitucion interior, puede comprimirse ó deslizarse repentinamente, bajo el peso de una carga de alguna consideracion.

Si la ciénaga ó pantano proviene del estancamiento de las aguas de algun manantial, ó de derrames conocidos, cuya direccion pueda cambiarse; se variará desde luego su curso, y dejando secar por algun tiempo el terreno, se podrá levantar despues el terraplen, dándole una altura tal, que no puedan cubrirlo las aguas, aun cuando volviesen á llenar la antigua ciénaga.

Si no pudiese desaguarse, pero presentase á poca profundidad un fondo firme de buena clase, se haria el terraplen como antes se ha dicho, vaciando las tierras por los costados hasta elevarlos á toda su altura, y rellenando despues el centro. Para formar estos terraplenes en el agua, debe emplearse la mejor clase de material de que pueda disponerse.

Muchas veces se encuentran terrenos pantanosos, en los que la exuberante vegetacion y constante destruccion de las plantas acuátiles, ha formado una costra superficial de algun espesor y de bastante resistencia. Tales son las *chinampas* de las cercanías de México. Sobre esta costra puede muy bien construirse un terraplen, con tal que sea de poca altura, y tenga una ancha base, para dejar al terreno la mayor parte de su resistencia, de manera que pueda soportar el peso de la superestructura y de los trenes, repartiéndose éste sobre una superficie bastante grande.

Entre las obras de terrasería; las ejecutadas en el camino de fierro de Liverpool á Manchester, en el lugar llamado Chat-Moss, han adquirido gran celebridad; no tanto por las dificultades que á primera vista presentaba el terreno, como por la admirable sencillez del método inventado para superarlas, por el ilustre Jorge Stephenson.

Era necesario atravesar una formacion de hornaguera, extendida en una área de 12 millas cuadradas, y tan poco resistente, que no podian transitarla ni los animales. El fondo firme de arcilla arenosa, se encontraba á una profundidad que variaba entre 10 y 34 piés. Mr. Lescount describe en estos términos el método empleado por J. Stephenson. "Donde se necesitaba un terraplen que "por el método ordinario hubiera costado enormes "cantidades, pues que debia apoyarse en el suelo "firme situado á una gran profundidad; Stephen-"son imaginó servirse de la misma hornaguera. "Se abrieron fosos á distancia de cinco yardas, y "cuando la hornaguera que quedaba entre ellos, se "habia secado perfectamente, se empleaba para "hacer el terraplen. El éxito fué tan satisfactorio, "que solo se invirtieron cantidades de material "cuatro veces mayores á las que habrian sido ne-"cesarias para hacer el terraplen en un terreno fir-"me ordinario."

"Donde el camino debia pasar á nivel del ter-"reno, se abrieron fosos de cada lado en la línea "central; los que cruzados de trecho en trecho por "otros fosos trasversales, secaron la costra superior "de la hornaguera, que así adquirió suficiente con-"sistencia. En este estado, se colocaban una ó dos "camas de zarzos de 4 piés de ancho y 9 de lar-

"go, cubiertas con brezo, ó esparto; y sobre esto "se extendia el bálast, y se colocaba el resto de la "superestructura. Donde era necesario, se ponian "soleras longitudinales, ó durmientes atravesados "para soportar los rieles; y todo se secó perfecta-"mente."

"Para hacer las cortaduras, se abrieron fosos "longitudinales de 2 piés de profundidad de cada "lado de la línea del ferrocarril proyectado; y cuan-"do por este medio, se conseguia secar la parte "superior de la hornaguera, hasta una profundidad "de 12 á 15 pulgadas, se quitaba como es uso en "las excavaciones comunes; se daba entonces ma-"yor profundidad á los fosos; se extraia la parte "nuevamente desecada; y así sucesivamente, hasta "obtener la profundidad que requeria el ferrocar-"ril; la cual fué de 9 piés en algunas partes, mien-"tras que en los terraplenes llegó hasta 12 piés "la altura. La única circunstancia que favoreció "estas operaciones, fué que el terreno de la hor-"naguera se hallaba mas alto que el que lo rodea-"ba, y esto contribuía alguna cosa al desecamien-"to. Pero si se tiene en cuenta que la naturaleza "del terreno era tal, que una barra de hierro se "sumia en él por su propio peso; será necesario "confesar que la idea de hacer pasar un ferrocarril "al traves, por dentro y por encima de semejante

" material, no le hubiera ocurrido á ningun hombre
" de talento comun."

Cuando no es posible dar al terreno la suficiente resistencia por medio del desecamiento, se establecen una ó varias plataformas, ó camas de faginas, ó de troncos de árbol de 15 á 20 centímetros de grueso, colocadas trasversalmente, y alternando con capas de buen material. Antes de poner el bálast se cubre todo el banco con zarzos ó tablas para repartir bien la presion; y con este mismo objeto, pueden colocarse soleras longitudinales debajo de los durmientes ó atravesaños de los carriles.

En Holanda, pais cuyo suelo está por todas partes mas bajo que el nivel del mar, y defendido solamente de las inundaciones del Océano, por un sistema admirable de diques y canales, ha habido necesidad de establecer muchos terraplenes de ferrocarriles, en ciénagas profundas; y esto se ha hecho formando capas alternativas de faginas, piedra suelta y barro fuerte, todo sujetado por estacas y zarzos; el peso del terraplen, formado de arena de mar y de hornaguera, comprimia la masa y la consolidaba: el bálast se componia de conchas marinas.

Cuando hay que construir un gran terraplen en terreno compresible ó compuesto de capas inclinadas, que pueden resbalar unas sobre otras; una de

las precauciones mas sencillas que pueden tomarse, es la de aumentar el ancho de la base del terraplen; de modo que se disminuya la presion por unidad de superficie, tanto como lo exija la naturaleza del terreno. Tambien empleando materiales ligeros, que dejen huecos entre sí, puede obtenerse el mismo resultado. Pero no es esto suficiente algunas veces. He aquí lo que sobre esta materia escribe el Sr. Perdonnet.

" En el camino de Versailles (ribera izquierda
" del Sena), el ingeniero en gefe Mr. Bergeron,
" ha contenido el deslizamiento de una capa de
" barro, sobre la cual se habia construido un gran
" terraplen, por un procedimiento muy ingenioso
" que vamos á describir."

" Las aguas de infiltracion y de manantiales que
" llenaban una capa de arena y de casquijo, situada
" encima de un banco muy grueso de arcilla plás-
" tica, hacian muy resbaladizo y comprimible el
" suelo inferior. No obstante muchas tentativas,
" habia sido imposible terminar el terraplen pro-
" yectado, y el valle de Fleury se atravesaba sobre
" dos hileras de estacas de madera que unian los dos
" estribos del viaducto con el flanco de la colina.
" Despues de siete años de uso, como ya no ofre-
" ciesen las estacas bastante seguridad para el trán-
" sito de los trenes del ferrocarril, fué necesario

"volver al proyecto primitivo, y emplear los me-
"dios convenientes para dar resistencia al suelo
"inferior. Esto se consiguió, haciendo dos hende-
"duras paralelas al eje del camino, que se llenaron
"de piedra suelta, á distancia una de otra de 10 me-
"tros, y extendiéndose en toda la base del terra-
"plen; estas hendeduras ó *pedreras* se excavaban
"verticalmente por medio de blindas y puntales,
"hasta 12 ó 15 metros de profundidad, y se liga-
"ban entre sí por otras pedreras trasversales. En
"algunos puntos la capa de arcilla plástica tenia
"mas de 8 metros de espesor."

"Escurriéronse las aguas por dos pequeños
"acueductos construidos en el fondo y á lo largo
"de todas las hendeduras, hasta un sumidero ge-
"neral, abierto profundamente en la greda absor-
"bente, donde desaparecieron."

"Las pedreras han originado una contraccion
"en la capa impregnada de agua superior al banco
"de arcilla, y todo el macizo se encontró perfec-
"tamente desecado, y obró como muro de apoyo
"para contener el deslizamiento del terreno su-
"perior."

"Por medio de este procedimiento, se pudieron
"reemplazar las estacas del valle de Fleury, por
"el terraplen definitivo de grande altura, sobre el
"cual pasa hoy el camino."

"En el mismo camino, cerca de la estacion de
"Sèvres, un terraplen de arcilla, ejecutado en tiem-
"po húmedo, tenia una tendencia á hundirse cons-
"tantemente. Inútil fué todo el cuidado que se
"tuvo de pisonear las capas de barro, y de dese-
"carlas por medio de capas de arena, para facilitar
"el escurrimiento de las aguas subterráneas. Sú-
"bitos hundimientos se verificaban con frecuencia,
"y varias veces fué necesario desviar el eje del ca-
"mino de fierro. Entonces se emplearon con buen
"éxito, barras de hierro que atravesaban el terra-
"plen poco mas ó menos á dos metros debajo de
"la via férrea, y terminadas en sus extremidades
"por plataformas verticales de encina que sujeta-
"ban las tierras. Estas barras hacian el mismo
"efecto que las que se ponen en los edificios, para
"ligar entre sí dos paredes verticales paralelas, que
"tienden á separarse. Sin embargo, despues de
"algunos años este terraplen tuvo todavía desliza-
"mientos en la parte inferior, lo cual se ha reme-
"diado definitivamente, poniéndole por un lado
"una pedrera semejante á la del viaducto del valle
"de Fleury, y por el otro, una línea de estacas y de
"tablones (palplanches), bien unidos y clavados
"por medio del martinete, en toda la longitud de
"la parte deslizable."

En los ferrocarriles que recorren varias partes

de la costa de Inglaterra, atravesando las anchas desembocaduras de algunos rios, se encuentran terraplenes de 5 á 6 metros de altura, construidos en la misma orilla del mar, sobre bancos de arena movediza de 7 hasta 23 metros de profundidad. Estos terraplenes, están por un lado expuestos á las injurias del mar, y por el otro á la accion de las aguas de los rios. Para construirlos, era necesario esperar el tiempo de la baja marea; pues solo así era posible lograr que quedase descubierta y seca una playa extensa.

Con la mayor celeridad se elevaba entonces un promontorio de arena que se tomaba del lado del mar; sobre este promontorio se colocaba una capa de arcilla bien batida de 39 centímetros de espesor; despues, otra capa de 30 á 131 centímetros de espesor, formada de pedazos pequeños de piedra; y finalmente, se revestia el talud exterior, con piedras labradas bien unidas de 25 por 45 centímetros de superficie en la cara externa, y 40 de tizon. Toda la cima del talud se coronaba con un parapeto de piedra para proteger la via férrea. El revestimiento del lado de tierra, se hacia mucho mas delgado que el del lado del mar. Al talud hácia el mar, se le daba un declive de 2 de base por uno de altura. Al del lado de tierra $1\frac{3}{4}$ por 1.

Con el objeto de evitar que durante el flujo, la resaca destruyese la extremidad del terraplen, se construian diques *submersibles* en los lugares convenientes.

Mas allá de cierta altura, que depende de la calidad del material, los gastos de conservacion de los terraplenes, van aumentando considerablemente en relacion con aquella dimension, á la cual no puede señalársele anticipadamente un límite, ni aun para cada clase de tierra; porque depende de multitud de accidentes meramente locales, como son la diferencia en el valor de los terrenos, la de los materiales y la de la obra de mano; presentándose otras circunstancias que influyen en el costo primitivo del terraplen y su consolidacion. Así es como pueden explicarse esas enormes moles de tierra que se han levantado en algunos ferrocarriles, cuando en otros, en vez de terraplenes de mucha menor altura, se han construido viaductos de madera, hierro ó mampostería. El terraplen de Rentershofen, cerca de Röthenbach en Baviera, es el mas alto que existe; mide 584 metros de largo, 52,^{m}56 de altura máximum, 10 metros de ancho en la parte superior, y 278,^{m}64 de anchura máximum en la base. Su volúmen asciende á 2,200,000 metros cúbicos, y su costo comparativamente pequeño por la baratura de los jornales de los operarios terra-

seros, fué de $ 630,000, ó sea, menos de 18 centavos de peso por cada metro cúbico; siendo de advertir, que ningun método particular se empleó para la organizacion de los trabajos y el trasporte de las tierras, en una obra gigantesca, cuyo estado de conservacion y equilibrio, suscita cuestiones interesantes; lo cual pudo hacerse con grandes ventajas y mayor economía. (1)

Si en lugar de un terraplen, hay necesidad de hacer una cortadura; no debe procederse á su ejecucion, mayormente cuando la obra es de alguna importancia y consideracion, sin estar perfectamente instruido de la composicion del terreno, la clase de materiales que contiene, su disposicion en una sola masa homogénea, ó en capas de diverso espesor y composicion distinta; atendiendo ademas, á su diferente consistencia y permeabilidad, y á su mayor ó menor inclinacion sobre el horizonte. Son necesarios estos datos: 1º para prever las circunstancias en que deberán encontrarse las paredes ó taludes de la cortadura: 2º para poder combinar los medios mas adecuados para la consolidacion y saneamiento de la obra: 3º para calcular desde luego el volúmen y peso de los materiales que indispensablemente habrán de extraerse, y determinar la distancia á que hayan de traspor-

(1) Couche, *Chemins de fer Allemands*. Annales des Mines. 1854.