

CAPITULO VI

Dimensiones de los muros

Condiciones de estabilidad y resistencia.—Dificultades de cálculo.—Reglas empíricas.—Transformación de perfiles por las reglas de Boix.—Taludes corrientes.—Espesores de los muros.—Muros con contrafuertes.

Condiciones de estabilidad y resistencia.—Los diferentes tipos de muros que han de construirse en las vías de comunicación, se calculan como macizos de fábrica, sometidos al empuje de tierras de mayor o menor fluidez y deben cumplir con las siguientes condiciones de estabilidad y resistencia:

a) Para que el muro no gire alrededor de su arista exterior, el momento de las fuerzas exteriores con relación a esta arista deberá ser menor que el momento resistente del peso del macizo.

b) Para que el muro no se deslice sobre su cimiento, deberán sus rozamientos y la cohesión de los morteros, contrarrestar las componentes horizontales de los empujes.

c) Los materiales de que se compone el muro y el suelo del terreno en el cimiento, no deben sufrir en ninguno de sus puntos presiones superiores a las que puedan resistir.

Dificultad del cálculo.—Aunque en apariencia muy sencilla, la resolución exacta de este problema es difícilísima.

Es verdad que en todos los tratados de mecánica aplicada se describen las múltiples hipótesis imaginadas desde Coulomb en 1773 hasta el día, para calcular las dimensiones de los muros.

Pero aún no están conformes los sabios Ingenieros que se han especializado en tales cuestiones, respecto a la exactitud de sus teorías y fórmulas consiguientes.

En estos últimos años, nuevos estudios, de Resal muy principalmente (1), evidencian que para contrarestar la escasa confianza que merecían las hipótesis hasta ahora sustentadas, sus propios autores habían exagerado *clandestina y disimuladamente*, el ángulo de deslizamiento de las tierras, aumentando así los espesores de los muros y el coeficiente de seguridad.

Se ha demostrado al mismo tiempo, la importancia que tiene la proporción de arcilla en los terraplenes, que hace variar muy sensiblemente la *cohesión de las tierras* y la influencia de la *humedad variable de los rellenos*, ambos factores esenciales en los empujes, que no se habían tenido suficientemente en cuenta.

En definitiva, los estudios y experimentos más recientes, rectifican errores considerables de concepto y de número y merced a fórmulas y tablas numerosas, se pueden hoy afinar las dimensiones de un muro, cuando se conocen de antemano las condiciones de cohesión y humedad del terraplén que ha de actuar sobre él.

En los muros de muelles y en ciertas obras importantes, deben aplicarse esas nuevas teorías (2).

Reglas empíricas.—Pero en la mayor parte de los muros corrientes para carreteras, ferrocarriles y puentes, *no pueden precisarse de antemano, ni la calidad de los terraplenes ni su grado máximo de humedad, que son variables en cada muro y hasta en cada perfil*, al mismo tiempo que varían las alturas de los muros, las inclinaciones de la ladera y la calidad del cimientó en que ha de apoyarse.

(1) Jean Resal: *Poussée des terres. Stabilité des murs de soutènement*. Tomo I --- París 1903.

Jean Resal: *Poussée des terres. Theorie des terres coherentes. Applications*. --- Tomo II --- París 1910.

Ch. Aubry: *Les murs de soutènement*: Ecole speciale des travaux publics, --- París 1908.

(2) El ilustrado Profesor e Ingeniero argentino, don Julio Castiñeiras, ha publicado recientemente en la Casa Editorial «Calpe» un interesante libro: «Empuje de tierras y muros de sostenimiento» en el que se hace un estudio completo y novísimo del problema.— Contiene fórmulas y tablas originales que facilitan el cálculo de cualquier tipo de muro.

Se fijan entonces las dimensiones medias de estos muros, aplicando fórmulas empíricas y reglas prácticas sancionadas por la experiencia.

De cuantas conocemos, las más sencillas y racionales y las que hasta ahora al menos, y en 30 años de constante y frecuente aplicación, nos han dado siempre buen resultado, sin exceso de volumen, son las del Inspector don Elzeario Boix, muy científicamente justificadas en su libro «Estabilidad de las construcciones de mampostería», Madrid—1892.

Transformación de perfiles por las reglas de Boix.—

Boix ha demostrado, que con una gran aproximación, un perfil de muro rectangular (Fig. 138) con sus dos paramentos verticales, tendrá *igual estabilidad y resistencia* que cualquiera de los otros muchos perfiles, obtenidos por la transformación de sus taludes en las formas siguientes:

Talud exterior. — Tomando a partir de la base el *noveno de la altura*, todas las líneas pasando por este punto, dan un talud exterior de igual estabilidad que el talud vertical.

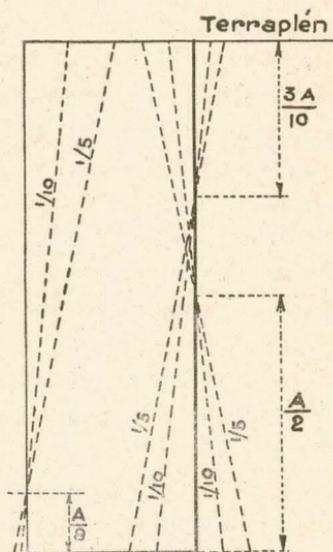


Fig. 138

Talud interior.—Pueden presentarse dos casos: que se quiera construir el muro sin o con desplome.—En el primer caso, todos los taludes interiores de igual estabilidad pasan *por el punto medio* del talud interior del perfil rectangular.

Para los muros con desplome, el punto de paso de los taludes interiores equivalentes, es el situado a los $\frac{3}{10}$ de la altura, a partir de la coronación.

De estos principios se deduce:

a) Que para disminuir el volumen de los muros, se debe aumentar cuanto se pueda el talud exterior.

b) Que también se reduce el volumen, aunque en menor proporción, empleando muros en desplome.

c) Que el talud interior no influye en el volumen de la fábrica, pero en cambio aumenta el de los cimientos.

Taludes corrientes.—Durante muchos años, se ha empleado en las carreteras y en muchos ferrocarriles españoles un perfil único de muro con talud exterior de $1/10$, espesor de 0,60 m. en la coronación y talud interior de $1/5$ que se dividía en retallos o escalones de 0,20 y 0,40 m. (Fig. 139).

Si se transforma este perfil en otro con taludes verticales, se comprueba que para alturas de 5, 10 y 20 m., sus espesores medios serán respectivamente de 0,309 — 0,249 y 0,219 que son a todas luces deficientes y así se explican los numerosos hundimientos de muros ocurridos y la necesidad de reforzarlos, a posteriori, con contrafuertes exteriores.

Hoy día, los taludes generalmente empleados en los muros de sostenimiento de carreteras son los de $1/5$ para el exterior y vertical para el interior.

Este talud interior suele chafanarse a 45° en su parte superior, dejando para ancho constante de coronación el mínimo que se considera necesario (de 0,50 a 1 m.).

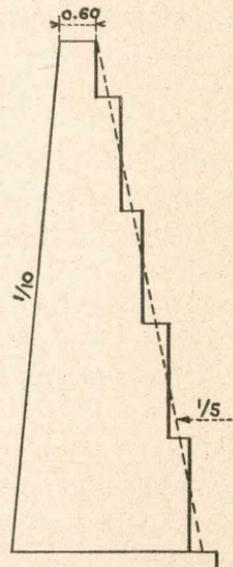


Fig. 139

En ferrocarriles, ha empezado a generalizarse el empleo de los muros en desplome y suele adoptarse el talud interior negativo de $1/10$:

En muros de gran altura, se han construido también muros con *taludes curvos*.

En la figura 140 representamos las secciones de unos muros del ferrocarril de Rodez a Milhan, que comprobados por el señor Boix (pág. 166 de su libro) ofrecen excelentes condiciones de resistencia y reducción de volumen.

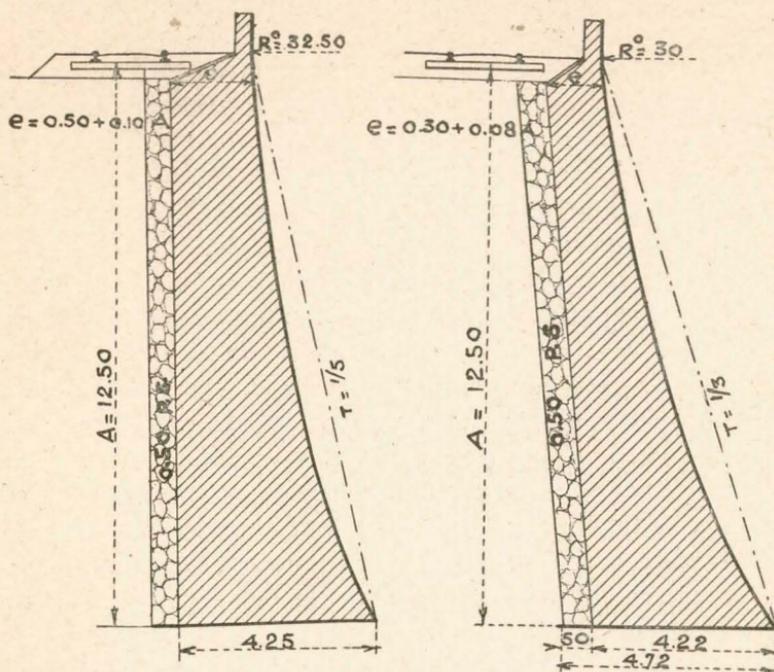


Fig. 140 — Muros del ferrocarril de Rodez a Milhan

La economía sin embargo, no es sensible con relación a un muro en desplome de taludes planos, y en cambio el aumento de mano de obra en esos grandes paramentos curvos puede compensar la pequeña reducción de fábrica, por lo que no suele recurrirse a estos paramentos curvos, sino en casos excepcionales.

Espesores de los muros.—Los espesores de los muros deben variar con los pesos específicos de las fábricas y de los terraplenes y con la fluidez de estos.

Serán mayores para los muros en seco que los construídos con mortero y podrán reducirse algo cuando el mortero sea hidráulico, pues se aumenta con ello la resistencia y la cohesión del macizo.

Los muros de ladrillo cuya fábrica pesa 1.800 necesitarán mayor espesor que los de mampostería con 2.400 de peso espe-

cífico; un terraplén de arcilla producirá mayor empuje que un pedraplén.

Pero salvo los casos en que de antemano se conocen los datos de fábricas y rellenos, en las vías de comunicación en las que los muros tienen que diseminarse a lo largo de grandes longitudes, es preciso partir de cifras medias para fijar de antemano los perfiles de los muros.

Se admiten pues:

coeficiente de estabilidad: 2

peso específico de la fábrica: 2.200

» » del terraplén: 1.600

ángulo de rozamiento de las tierras: 40°

Con estos datos el perfil rectangular del muro tiene, según las fórmulas de Boix, un espesor medio de 0,325.

En la práctica se toma $1/3$ como espesor del muro al $1/9$ de su altura, y se trazan los taludes con arreglo a las conveniencias de cada obra, el interior, por el punto de altura media, o de $3/10$ si se quiere en desplome, el exterior por el $1/9$ de la altura.

Para tener en cuenta las sobrecargas que circulan sobre las vías de comunicación, se considera que la altura natural del muro, debe aumentarse para el cálculo con 1 m., si se trata de un ferrocarril, y 0,50 m. si son muros para carretera.

Cuando los morteros son hidráulicos, estos aumentos pueden reducirse a 0,50 y 0,25 m.

En laderas muy inclinadas, si el terreno es flojo, debe tomarse como altura de cálculo de muro, la altura exterior.

Si como es el caso más frecuente, el terreno es firme, la cimentación poco profunda y el terraplén contiene mucha piedra y poca arcilla, se toma la altura interior.

Para *muros en desplome* y muros en ala el perfil rectangular tipo, seguirá siendo el de espesor de $1/3$.

Los *muros de pie*, cuando las tierras solo alcanzan el borde interior de la coronación, necesitan un espesor medio de 0,40 y de 0,45 m. cuando el terraplén cubre la coronación.

Los *muros de contención y revestimiento*, se construyen con espesores en armonía con la cohesión de los taludes que han de defender y como pueden variar entre extensos límites, no pueden establecerse reglas.

Para los *muros en seco*, Boix recomienda: $E = 2/5 A$.

Si el material que se emplea es el ladrillo, los espesores deben aumentarse en $1/10$.

Cuando el relleno es de pedraplén, pueden reducirse los espesores, de 10 a 20 % según la calidad del pedraplén y su ejecución.

Con estas reglas prácticas hemos construido casi todos nuestros muros, sin haber sufrido nunca el menor contratiempo.

Son innumerables las tablas y reglas empíricas preconizadas por muchos Ingenieros y las establecidas por las Compañías de ferrocarriles.

Para no producir confusión, nos limitaremos a reproducir las que hemos adoptado en 1914 para la construcción del ferrocarril de Tánger a Fez (Compañía franco-española), Fig. 141.

Es una línea de vía ancha (1,50 entre ejes de carriles) y se ha supuesto que podrán circular locomotoras de 100 toneladas.

Por esta razón, los espesores de estos tipos de muros de sostenimiento, resultan en general, algo más crecidos que los que se obtienen por las reglas de Boix.

Verdad es que en cambio, cuando los muros de sostenimiento van adosados a pedraplenes, reducimos los espesores.

Podrían obtenerse mayores reducciones de fábrica, aumentando el desplome. Pero preferimos no excedernos del talud interior negativo de $1/10$, pues de esta manera, el muro es estable, aunque le faltara el terraplén.

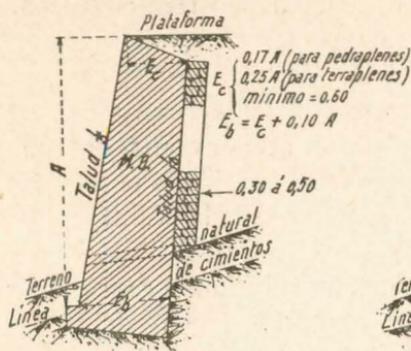
Por ser en general muy arcillosos los terrenos de aquella línea, hemos dado importancia a los drenages con piedra en seco, entre el muro y el terraplén, desaguándolos por mechinales situados de 2 a 5 metros, según las alturas de los muros.

Muros con contrafuertes.—Aunque no se han generalizado, reseñaremos dos tipos empleados en Francia.

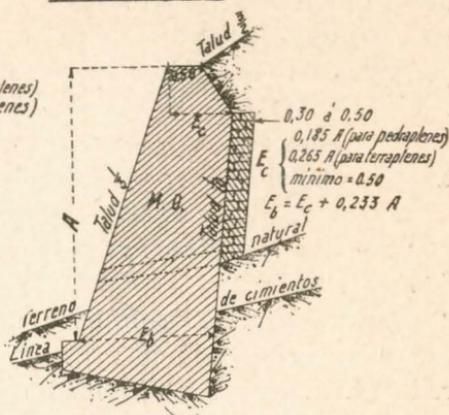
El primero, (Fig. 142), lo ha preconizado el Ingeniero Jefe, Harel de la Noe, que lo empleó en varios ferrocarriles de Cotes-du-Nord (1).

(1) Ch. Aubry--Les murs de soutènement--Ecole speciale des Travaux Publics--
Año 1908--Pág. 149.

MUROS DE SOSTENIMIENTO

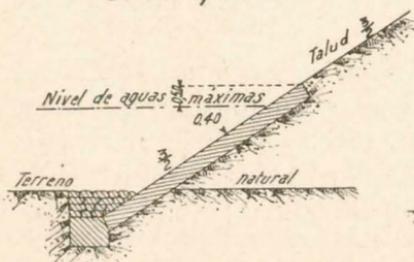


MUROS DE PIE

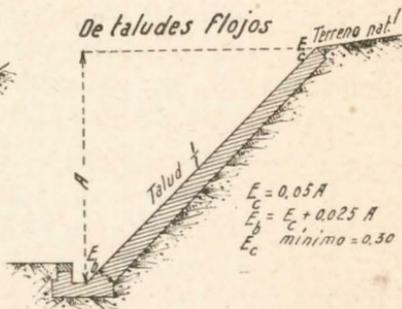


MUROS DE REVESTIMIENTO

De terraplenes



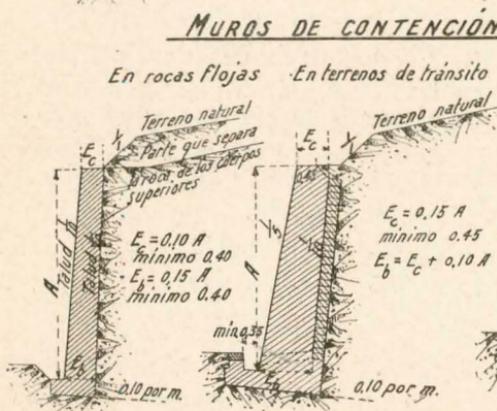
De taludes flojos



MUROS DE CONTENCION

En rocas flojas

En terrenos de tránsito



En terrenos flojos

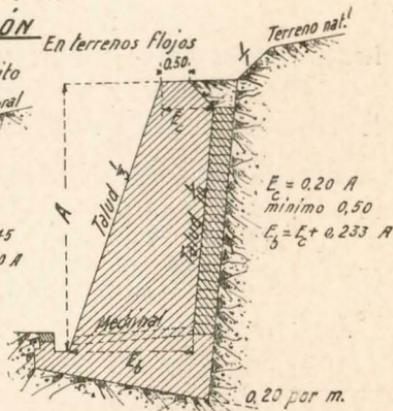


Fig. 141.— Tipos de muro en el ferrocarril de Tanager a Fez.

La parte inferior de estos muros constituye un muro de contrafuertes exteriores.—El peso del terraplén actúa sobre las bóvedas horizontales.

La parte superior resulta en cambio un muro de contrafuertes interiores; estos necesitan *armarse* para que el empuje de bovedillas no los rompa por sus extremos exteriores.

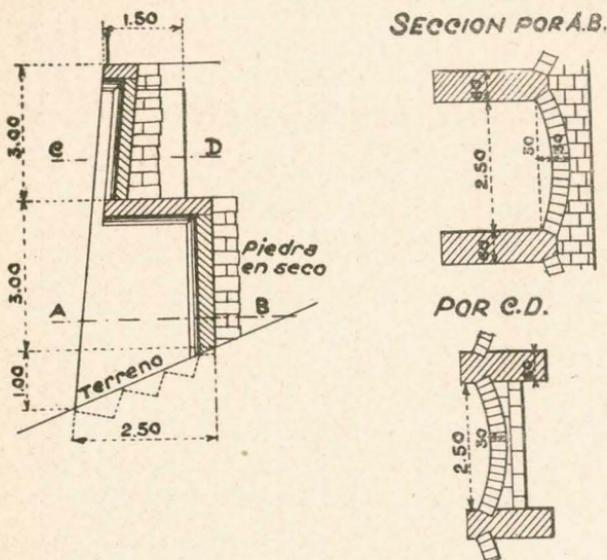


Fig. 142 — Muros en el ferrocarril de Cotes du Nord

El segundo tipo (Fig. 143), empleado en algunos muros de los muelles de París, por el Inspector de Puentes y Calzadas, M. Hetier (1) es un muro de contrafuertes interiores enlazados con bóvedas horizontales a diversas alturas. Se rellenan los huecos entre las bóvedas con tierras bien apisonadas, que por su peso contribuyen a la estabilidad del muro.

Ambas disposiciones son ingeniosas y ahorran fábrica, pero aumentan la mano de obra, que es lo que más ha encarecido desde la guerra.

La economía que permiten, no puede ser ya sensible.

(1) Annales des Ponts et Chaussées—Mayo 1885.

Son además susceptibles de agrietarse por efecto de asientos irregulares, lo que solo se evita armando todas sus partes.

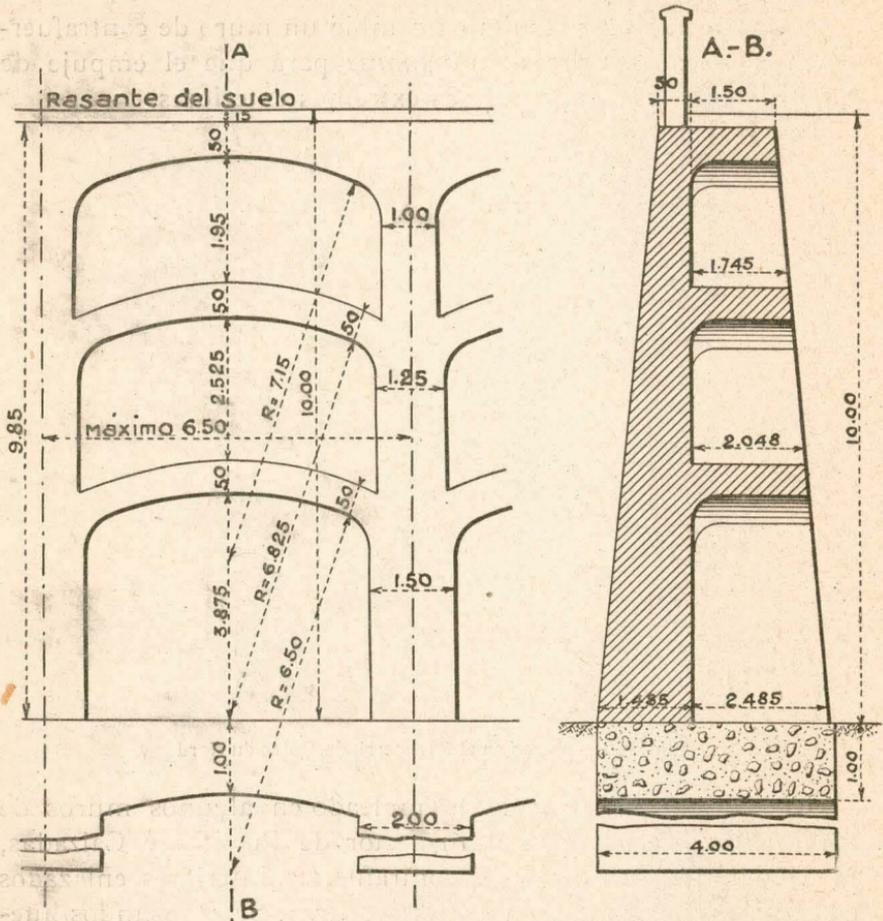


Fig. 143 — Muros tipo Hetier en Muelles de Paris

Pero entonces es preferible, proyectar y construir francamente los muros como obras de hormigón armado. Los estudiaremos en el capítulo siguiente.