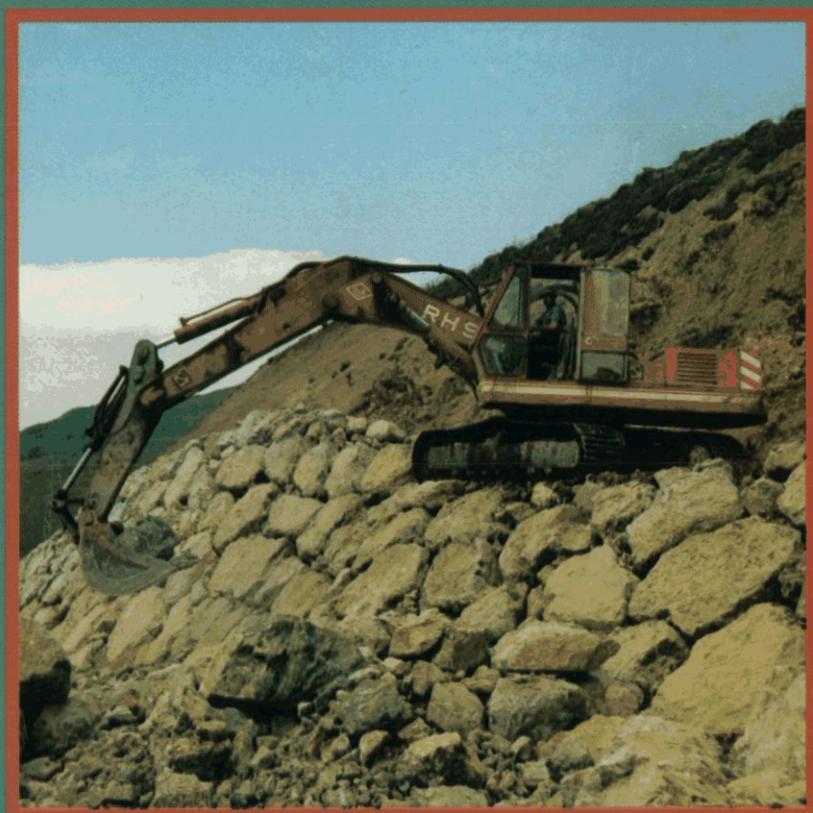


Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras



serie monografías

Recomendaciones para el diseño
y construcción de muros de escollera
en obras de carreteras



Ministerio de Fomento
Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes
Dirección General de Carreteras

1998

ESPAÑA. Dirección General de Carreteras

Recomendaciones para el diseño y construcción de muros
de escollera en obras de carreteras / Dirección General de
Carreteras. - Madrid : Ministerio de Fomento. Centro de
Publicaciones, 1998

55 p. : il. ; 30 cm. - (Serie monografías)

CARRETERAS-Proyecto y construcción
GEOTECNIA DE CARRETERAS

625.711

624.131



Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento ©

I.S.B.N.: 84-498-0355-1
NIPO: 161-98-062-6
Depósito Legal: M-28206-1998
Imprime: Impresos Izquierdo

Diseño cubierta: Carmen G. Ayala

Impreso en papel ecológico

PREÁMBULO.....	5
1. LOS MUROS DE ESCOLLERA EN LAS OBRAS DE CARRETERAS	7
1.1. Introducción	7
1.2. Ámbitos de aplicación de los muros de escollera	10
1.3. Los muros de escollera en obras de carretera	12
2. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA ESCOLLERA	15
2.1. Planteamiento del problema	15
2.2. Ensayos realizados	16
2.2.1. Descripción del equipo de ensayo	16
2.2.2. Resultado de los ensayos	18
3. EL DISEÑO DE MUROS DE ESCOLLERA	21
3.1. Análisis teórico del muro. Hipótesis utilizadas	21
3.1.1. Suelos granulares	21
3.1.1.1. Estudio de la estabilidad del Muro	22
3.1.2. Suelos Cohesivos	24
4. ÁBACOS PARA EL CÁLCULO DE LOS MUROS DE ESCOLLERA. SUELOS GRANULARES	27
4.1. Descripción de la tipología estudiada	27
4.2. Elaboración de los Ábacos de Cálculo	28
4.3. Muros de contención	28
4.3.1. Esquema general	28
4.3.2. Ábacos para el cálculo de de muros de contención.....	29
4.4. Muros de sostenimiento	35
4.4.1. Esquema general	35
4.4.2. Ábacos para el cálculo de muros de sostenimiento.....	36
5. ELEMENTOS Y RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LOS MUROS DE ESCOLLERA	41
5.1. Características de la roca utilizada	41
5.2. Cimentación	42
5.3. Colocación de los bloques de la escollera	42
5.4. Material del trasdós del muro	42
5.5. Características y rendimientos de la maquinaria para la construcción de muros de escollera	43

6. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MUROS DE CARRETERAS	47
6.1. Planteamiento	47
6.2. Gráfico resumen del coste de los diferentes tipos de muros	48
 ANEJO DE CÁLCULOS	 49
 BIBLIOGRAFÍA	 53
 SIMBOLOGÍA	 55

Preámbulo

El considerable aumento del precio de los materiales de construcción y mano de obra y por otra parte la facilidad de obtención de bloques de escollera y su puesta en obra con el empleo de máquinas excavadoras, ha hecho que se vuelva a tener en cuenta la construcción de este tipo de muro, sobre todo en aquellas obras de carreteras que se desarrollan en zonas montañosas donde prolifera este tipo de material.

Además de tener en cuenta el criterio económico anteriormente expuesto, la Dirección General de Carreteras ha valorado muy positivamente otras ventajas, tales como la facilidad de drenaje, la funcionalidad y estética, así como la disminución del impacto ambiental al conseguir una buena integración en el paisaje .

Al objeto de fomentar la construcción de este tipo de estructuras en las obras de carreteras, el Servicio de Geotecnia de la Subdirección General Adjunta de Tecnología ha elaborado el presente documento con el apoyo técnico del Departamento de Transportes, Tecnología de Proyectos y Procesos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.

Esta publicación que se engloba bajo el título de "Recomendaciones" tiene por objeto servir de base tanto al consultor como al constructor en la redacción de proyectos y ejecución de las obras de los muros de escollera empleados en carreteras.

El Ingeniero Jefe del Servicio de Geotecnia
JESÚS SANTAMARÍA ARIAS

Madrid, Mayo 1998

I. Los muros de escollera en las obras de carreteras

1.1. Introducción

Dentro de la construcción de las obras públicas, y en especial en las de carreteras, se deben de realizar a menudo estructuras de contención con el fin de retener masas de tierra que se encuentran a diferentes alturas, o de reducir con dichas estructuras su talud natural. Esto ha supuesto un reto a los ingenieros y responsables de las mismas, sobre todo en aquellas regiones montañosas donde la realización de obras de infraestructura obliga a numerosas e importantes obras de este tipo.

Hasta la primera mitad de este siglo, los muros de contención se realizaban con todo tipo de mampostería y eran ejecutados por maestros canteros de manera artesanal. Estos muros aún causan admiración hoy en día.

Con la introducción del hormigón como material de construcción, se inicia la ejecución de muros de hormigón en masa, o de gravedad, que evolucionan posteriormente a muros estructurales de hormigón armado y, más recientemente, a muros prefabricados, muros jardinera, etc.



*Muro de mampostería concertada.
Variante del embalse de la Cohilla (Cantabria).*

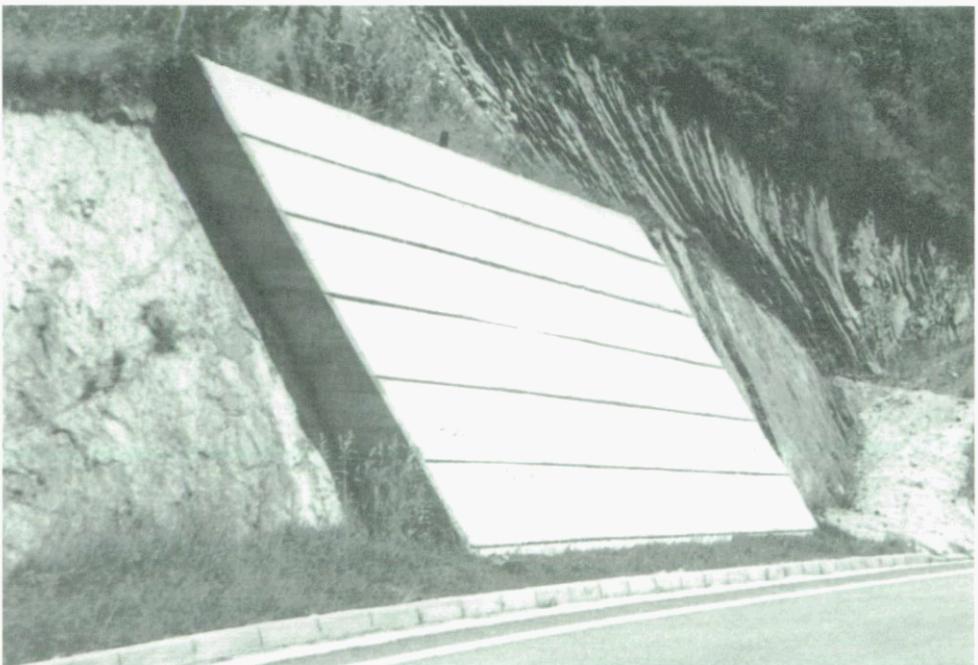


*Muro de mampostería seca.
Carretera de Dobres (Cantabria).*

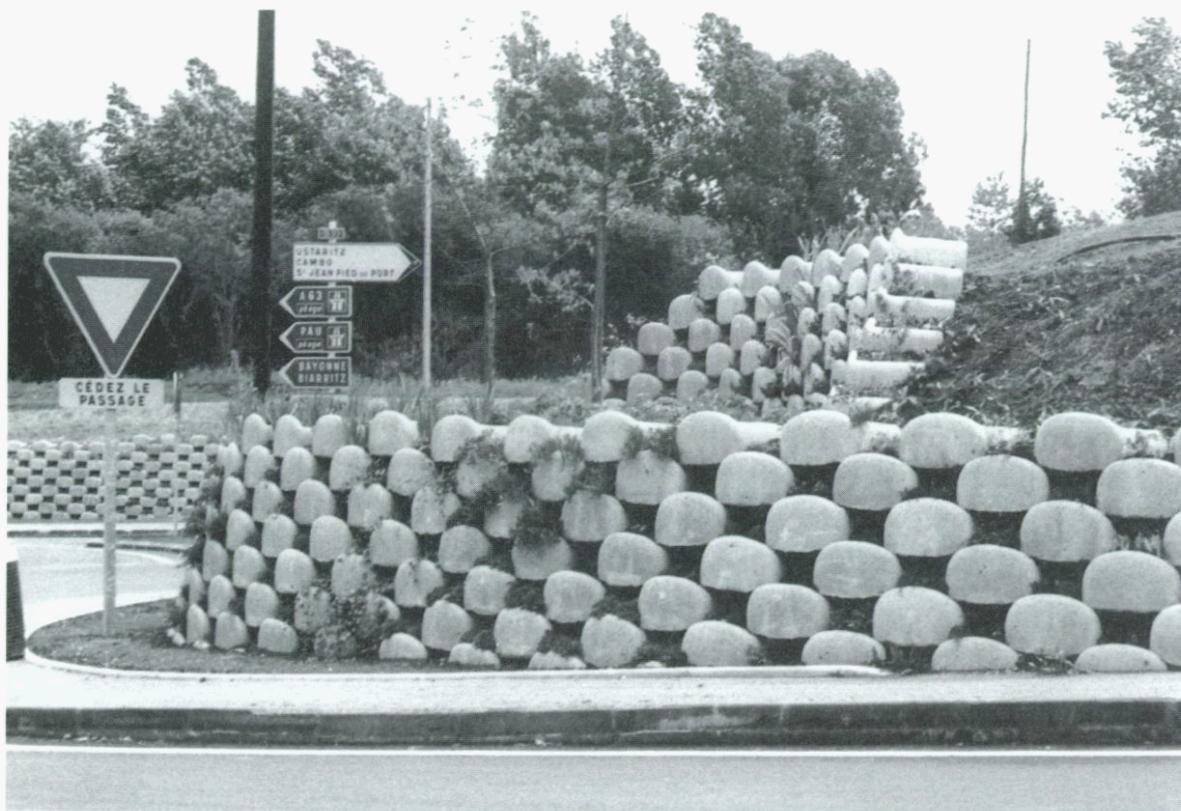
El paulatino encarecimiento de los materiales de construcción y mano de obra, unido a una cierta facilidad de obtención de bloques de escollera, así como la posibilidad de una cuidada colocación en obra utilizando máquinas excavadoras, ha vuelto a introducir en nuestras obras públicas el empleo de la piedra, esta vez en

forma de dichos bloques como elemento básico en la construcción de muros de contención.

La escollera empleada son generalmente de bloques de roca, procedentes de voladuras y de peso superior a los 5 kN (500 kg), de formas prismáticas uniformes.



*Muro de hormigón armado.
Carretera a Fuente De (Cantabria).*



Muro jardinera.
Anglet (Francia).



Muro de escollera.
Carretera a Bárcena Mayor (Cantabria).

1.2. Ámbitos de aplicación de los muros de escollera

El empleo de bloques de escollera se inicia en las obras marítimas como elemento resistente en las obras de abrigo. Posteriormente se utiliza en el encauzamiento de ríos, para evitar que las orillas de estos sean arrasadas por las aguas, dándoles a la vez una cierta resistencia estructural. Esto supone un avance en la

manipulación y colocación de escollera como paramento, consiguiéndose superficies adecuadas para estos encauzamientos.

Pero las solicitaciones a que se ve sometida una escollera, tanto en una obra marítima como en una fluvial, no son extrapolables a su comportamiento como estructura de contención. En esta, las acciones a las que únicamente aparecen son el empuje de tierras y la posible presencia de agua freática.



*Muro de escollera.
Ría de Pontevedra.*



*Muro de escollera en encauzamiento de río.
Arrigorriaga (Vizcaya).*

En obras marítimas, la acción ejercidas por el oleaje sobre la escollera implica una relación directa entre el peso de la escollera, la trabazón entre los bloques y su estabilidad.

En obras fluviales lo que se pretende es, fundamentalmente, el encauzamiento de un río, creando una nueva superficie del cauce lo más lisa posible, que condicio-

na a la escollera tanto en su peso, que soporte las acciones del agua, como en una adecuada paramentación, que implique un fluir rápido y sin obstáculos del río.

También se emplea la escollera en presas de materiales sueltos y en la realización de grandes pedraplenes, pero debido a la forma aleatoria de su colocación, tampoco es posible extrapolar esta experiencia a los muros de escollera.



*Construcción de un muro de contención.
Parque de la Naturaleza de Cabárceno (Cantabria).*



*Empleo de muros de escollera en edificación.
Centro comercial en Niza (Francia).*

Al proyectar un muro de "mampostería de escollera", se está ante la dificultad de utilizar plenamente de los conocimientos de las tecnologías citadas, de manera tal que el dimensionamiento sea correcto y rentable.

Debido a todo ello era necesario realizar un trabajo específico para determinar los parámetros del comportamiento estructural de la escollera en su aplicación a muros de contención. Dicho trabajo una vez realizado y obtenidas sus conclusiones se ponen de relieve en esta publicación.

1.3. Los muros de escollera en obras de carretera.

A finales de los años setenta, y haciendo uso de las técnicas constructivas que empleaban la escollera en la canalización de ríos, se empiezan a construir los primeros muros de escollera en obras de carretera, principalmente en el norte de España, (Cantabria y Asturias).

Gracias al alto grado de especialización de los maquinistas de las excavadoras que realizan estos trabajos, su acabado alcanza unos niveles similares a los antiguos muros de mampostería, realizados colocando los mampuestos a mano.

Son diversas las ventajas que ofrecen esta tipología de muros frente a los tradicionales de hormigón:

- a) Economía respecto a los muros tradicionales de hormigón, alcanzando ahorros importantes, superiores al 30%.
- b) Supresión del empuje del agua, dadas sus características perfectamente drenantes.
- c) Facilidad de adaptarse a movimientos diferenciales del terreno, admitiendo distorsiones sin sufrir daño estructural.
- d) Disminución del Impacto Ambiental, al ser posible enmascarar el muro con vegetación.
- e) Armonización de la escollera con el paisaje dada la utilización de un producto natural.

En esta monografía se da una visión de las posibilidades de los muros de escollera en obras de carretera, tanto en su función de sostenimiento como de contención.



*Ejecución de un muro de contención.
Carretera N-611 Reinoso (Cantabria)*



Variante de Pedreña (Cantabria).

2. Parámetros geomecánicos de la escollera

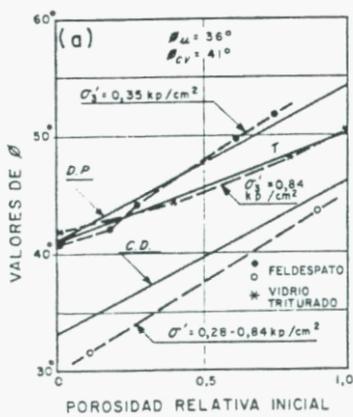
2.1. Planteamiento del problema

Con el fin de estimar los parámetros que rigen el comportamiento de la escollera en los muros, se realizaron una serie de ensayos encaminados a determinar el ángulo de rozamiento interno aparente que defina el comportamiento real de la escollera, al someterlas a esfuerzos cortantes.

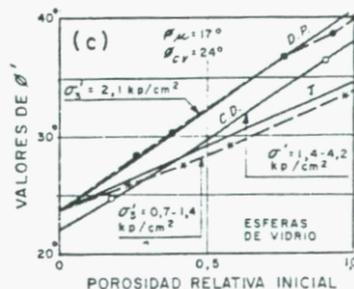
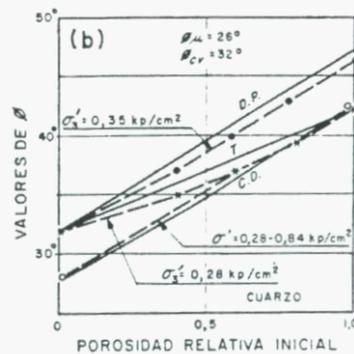
En un muro de contención o de sostenimiento, cada bloque de escollera se encuentra sometido a una serie de fuerzas procedentes de: el empuje de las tierras, los bloques contiguos de escollera y sobrecargas exteriores.

El desplazamiento del bloque se producirá cuando la suma de fuerzas horizontales desestabilizadoras, supere a la fuerza generada por el rozamiento. Esta fuerza de rozamiento aparente, será la suma de dos componentes, una de rozamiento puro entre las superficies en contacto, y otra que surge de la trabazón existente entre los bloques de la escollera.

La existencia de estos dos sumandos es un hecho establecido y aplicado en otros materiales similares. Por ejemplo, en obras marítimas se habla de "fricción" y "trabazón". En suelos y materiales granulares, el ángulo de rozamiento interno es función de la densidad de compactación.

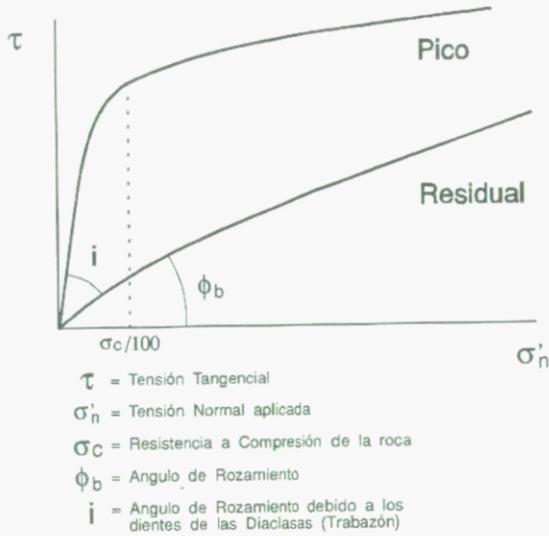


- Teoría
- - Experimentación
- D.P. = Deformación plana
- C.D. = Corte directo
- * T. = Triaxial



Relación entre los valores del ángulo de rozamiento de pico efectivo medidos en deformaciones plana, compresión o extensión cilíndrica y corte directo para presiones de consolidación bajas (Rowe, 1969). ("Geotecnia y Cimientos II". Jiménez Salas).

En diaclasas rugosas de macizos rocosos, son clásicos los estudios de Patton (1.966) y Barton (1.976), que definen el ángulo de rozamiento aparente como suma de un rozamiento básico y de otra componente, función de las características de textura de la junta. En estos estudios de Barton se plantea, mediante un criterio semiempírico, que para el caso de diaclasas huecas la relación tensión tangencial - tensión normal aplicada alcanza unos valores pico y residual.



Relación Tensión Tangencial - Tensión Normal en diaclasas rugosas de macizos rocosos. Barton (1976)

El nivel de tensiones que se genera en los muros de escollera de altura inferior a 25 metros, no supera el punto, siendo el cálculo del ángulo, suma del rozamiento existente entre las superficies de contacto y la trabazón obtenida con la colocación cuidadosa de los bloques de escollera, el objetivo de los ensayos ejecutados.

En los siguientes apartados se hace una descripción de la máquina de ensayo y se comentan los resultados obtenidos.

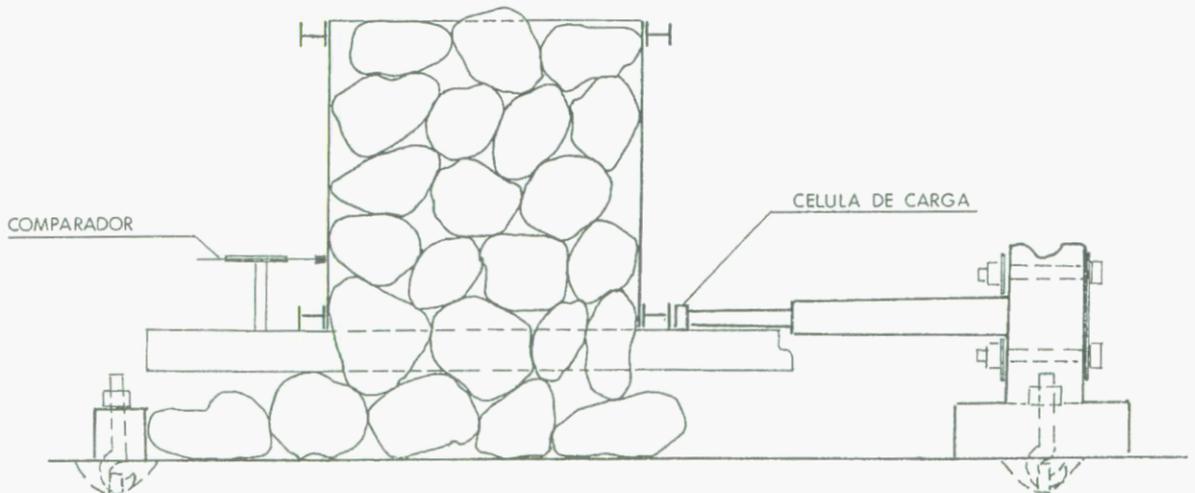
2.2. Ensayos realizados

2.2.1. Descripción del equipo de ensayo

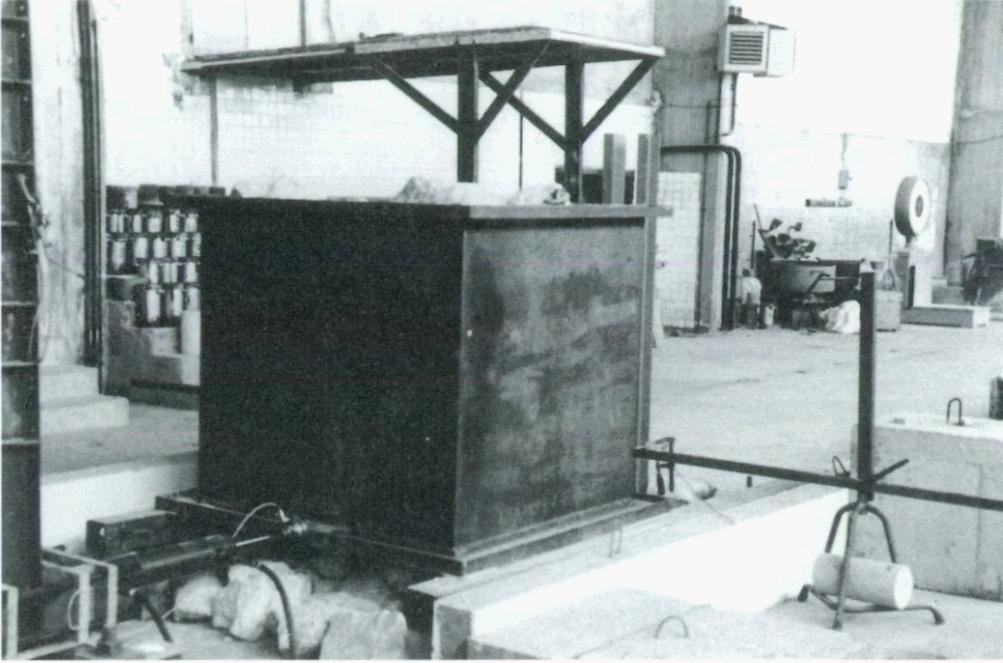
El aparato diseñado para realizar estos ensayos, consta de una estructura metálica formada por un cajón sin fondo que desliza por unos raíles, en el cual se ubica la escollera. El empuje horizontal lo recibe de un gato hidráulico, intentando, de esta manera, reproducir un ensayo de corte directo a gran escala.

La escala utilizada ha sido 1:3.

La fuerza a la que el gato hidráulico somete el cajón, hace que deslice la escollera que alberga en su interior sobre la capa de fondo, pudiendo ser esta de escollera o terreno según el tipo de ensayo a realizar. Esta capa, que sir-



Esquema del aparato de ensayo



Vista general del aparato de ensayos con el lecho de piedras y el gato hidráulico de empuje

ve de substrato, está confinada de tal modo, que no se producen movimientos en ella.

En la unión gato - cajón, existe una célula de carga, construida especialmente para estos ensayos, que cuantifica la fuerza a que se ve sometido el cajón.

La carga normal se debe al peso de la escollera colocada en el cajón.

En la parte frontal del cajón se sitúan dos comparadores (uno en cada esquina) que miden los desplazamientos.

Tanto la célula de carga como los comparadores, se conectan electrónicamente a un ordenador, obteniéndose en cada instante la carga aplicada y el desplazamiento producido. De este modo se conoce no sólo el parámetro del rozamiento global, sino también las leyes tensión - deformación, así como los desplazamientos necesarios para movilizar la resistencia máxima de la escollera.

Se considera en el planteamiento de los ensayos que dichos parámetros podrían estar correlacionados con el



Control electrónico de desplazamiento y tensiones

material de la escollera (o el del terreno), el tamaño de la misma, su modo de colocación y el nivel de tensiones normales.

Dado este planteamiento, los ensayos se realizaron variando el tamaño, modo de colocación y niveles de carga vertical de la escollera.

2.2.2. Resultado de los ensayos

A partir de las leyes esfuerzo-desplazamiento que se generan en los ensayos, se obtiene el parámetro de rozamiento aparente escollera-escollera, así como el rozamiento máximo.

Para la evaluación del ángulo de rozamiento, se supone que la distribución de tensiones normales y tangenciales sobre el plano de rotura es uniforme.



Del estudio de los resultados se desprenden las siguientes conclusiones :

PRIMERA. La gráfica esfuerzo-desplazamiento, del tipo de escollera ensayada, posee dos zonas: una primera en la cual el esfuerzo crece rápidamente con el desplazamiento, y otra segunda en la cual el esfuerzo permanece aproximadamente constante.

SEGUNDA. El coeficiente de rozamiento que pueda esperarse de la escollera del tipo ensayado, cumple siempre: $\text{tg } \phi_E > 1,3$ siendo su valor próximo a 2.

TERCERA. El desplazamiento necesario para lograr la máxima resistencia varía con las condiciones del ensayo.

Se realizaron diez ensayos, variando, según el cuadro adjunto, el tamaño de la escollera y su forma de colocación.

Se consideran tres tamaños de escollera, denominándoles de la siguiente forma:

Los tamaños denominados grande y mediano se colocaron de dos formas diferentes, atendiendo a su densidad aparente:

- Muy buena** densidad aparente 1900 kg/m³
- Buena** densidad aparente 1700 kg/m³

La variación de la sobrecarga vertical se consigue mediante el llenado total o parcial del cajón del ensayo.

Tamaño de Escollera :	Tamaño Ensayo	Tamaño Real
Grande	0,8 - 1,1 kN (80 - 100 kg)	2,160 - 2,700 kN (2.160 - 2.700 kg)
Mediano	0,3 - 0,5 kN (30 - 50 kg)	8,10 - 1,350 kN (810 - 1.350 kg)
Pequeño	0,05 - 0,1 kN (5 - 10 kg)	1,35 - 2,70 kN (135 - 270 kg)

N.º Ensayo	Tamaño de piedra	Peso de las piedras kN (kg)	$tg\phi_E$ obtenido	Colocación de la escollera
1	balasto	22,00 (2.200)	1,65	por vertido
2	medio	11,60 (1.160)	2,14	regular
3	medio	22,34 (2.234)	2,25	regular
4	medio	12,92 (1.292)	2,24	buena
5	medio	28,42 (2.842)	1,41	buena
6	medio	14,96 (1.496)	2,5	muy buena
7	grande	20,85 (2.085)	1,34	regular
8	grande	20,26 (2.026)	1,58	buena
9	grande	16,45 (1.645)	2,06	muy buena
10	grande	25,10 (2.510)	2,11	muy buena

Tabla resumen de los ensayos realizados

3. El diseño de muros de escollera

Se analizan a continuación los fundamentos teóricos utilizados para el cálculo y diseño de los muros de escollera.

3.1. Análisis teórico del muro. Hipótesis utilizadas

La escollera utilizada en la construcción de muros se ha clasificado en función de los resultados obtenidos en los ensayos y tomando como variables su colocación, compacidad y trabazón entre los bloques, en dos grupos cuyas características son:

Tipo	$\text{tg}\phi_E$	γ_E kg/m^3
A	2,0	1900
B	1,5	1700

Son dos los tipos de suelos que se van a estudiar, atendiendo a su cohesión: granulares y cohesivos. Estos suelos son el objeto de sostenimiento del muro, y para cada tipo, las hipótesis y teorías aplicadas son diferentes.

La cimentación se supone idéntica en todos los casos, con vertido de hormigón entre la escollera de la zapata, lo cual origina un reparto de cargas y unos asentamientos más uniformes sobre el terreno.

3.1.1. Suelos granulares

Se utiliza la teoría de Coulomb para estudiar la estabilidad de los muros bajo la acción de suelos granulares. Dicha teoría establece que el empuje unitario acti-

vo producido por un terreno homogéneo no cohesivo sobre el trasdós de un muro, en el caso de trasdós plano y superficie libre plana exenta de sobrecarga, responde a una ley lineal cuya expresión es:

$$e_a = K_a \cdot \gamma_T \cdot Z$$

Siendo Z la profundidad medida desde la coronación del muro, γ_T la densidad del terreno, K_a el coeficiente de empuje activo y e_a el empuje activo unitario por unidad de longitud medida según la vertical.

El empuje activo por unidad de longitud del muro será:

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma_T \cdot H^2$$

El coeficiente del empuje activo viene dado por la expresión:

$$K_a = \left[\frac{\text{sen } \alpha \cdot \cos (\phi - \alpha)}{\sqrt{\cos (\alpha + \delta)} + \sqrt{\frac{\text{sen } (\phi + \delta) \cdot \text{sen } (\phi + \beta)}{\cos (\beta - \alpha)}}} \right]^2$$

denominando:

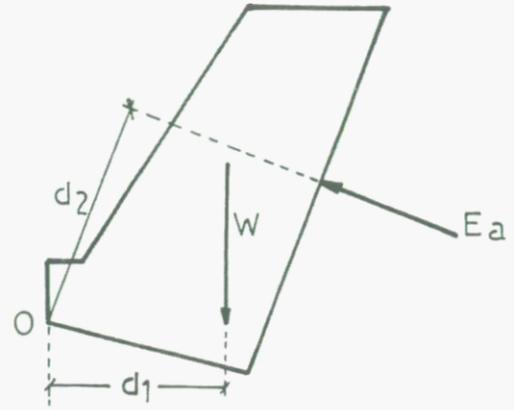
- ϕ = ángulo de rozamiento interno terreno.
- δ = ángulo de rozamiento terreno - trasdós del muro.
- β = ángulo del talud del terreno sobre el muro.
- α = ángulo del trasdós del muro.

En el caso de que sobre el terreno actúe una sobrecarga indefinida de valor P (Toneladas/metro lineal), el valor que adopta el empuje activo unitario es el siguiente :

$$e = K_0 \gamma_T Z + K_0 \frac{p \cos \alpha \cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)}$$

Siendo el empuje activo:

$$E_a = E_{a1} + E_{a2} = \frac{1}{2} K_0 \gamma_T H^2 + K_0 \frac{p \cos \alpha \cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)}$$



* Momento al vuelco: $M_v = E_a \cdot d_2$

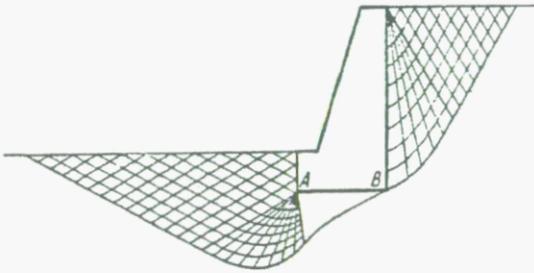
* Momento estabilizador: $M_e = W \cdot d_1$

* Coeficiente de seguridad frente al vuelco:

$$F_v = \frac{M_e}{M_v} = \frac{W \cdot d_1}{E_a \cdot d_2}$$

3.1.1.1. Estudio de la estabilidad del Muro

La estabilidad del muro puede comprobarse considerando su base como una zapata con carga excéntrica e inclinada y con las zonas plásticas que se representan en la figura, debida a Kézdi (1962).



Redes de líneas características en el entorno de un muro, según Kézdi (1962).

(“Geotecnia y Cimientos II” Jiménez Salas)

Pero dada la complejidad de este método, se acepta, bajo la garantía de la experiencia, la aplicación de unos procedimientos semiempíricos más sencillos, consistentes en realizar las siguientes comprobaciones:

- Coeficiente de seguridad al vuelco.
- Coeficiente de seguridad al deslizamiento.
- Ausencia de tracciones en la base.
- Equilibrio interno del muro.

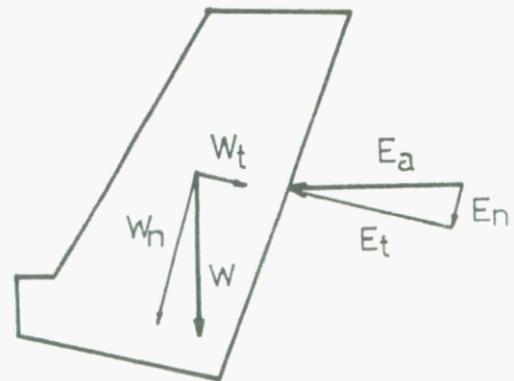
a. Coeficiente de Seguridad al vuelco

Viene dado por el coeficiente entre los momentos estabilizadores, respecto al pie del muro (punto O), y los momentos volcadores. La acción del vuelco se debe a los empujes actuantes sobre el muro, y la acción estabilizadora al peso propio del muro. Esta es la forma característica de trabajo de los muros de gravedad: únicamente con el peso propio se compensan todas las acciones desestabilizadoras.

b. Coeficiente de seguridad al deslizamiento

Se ha comprobado que la sección pésima de deslizamiento coincide en todas las situaciones, con la sección que pasa por la base del muro. El coeficiente de seguridad frente al deslizamiento se calcula mediante el cociente entre la resistencia al corte en el contacto entre base y terreno y la fuerza tangencial en dicha base.

Las fuerzas actuantes se proyectan sobre las direcciones normal y tangencial al plano de la base. Con estos datos se realiza el balance entre esfuerzos favorables y desfavorables.



* Fuerza que produce el deslizamiento:

$$T = E_t - W_t$$

* Fuerza que resiste el deslizamiento:

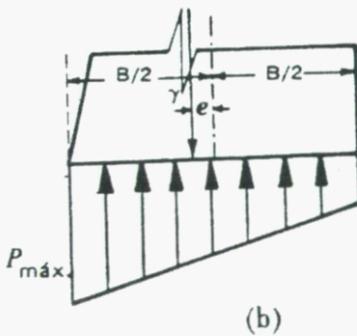
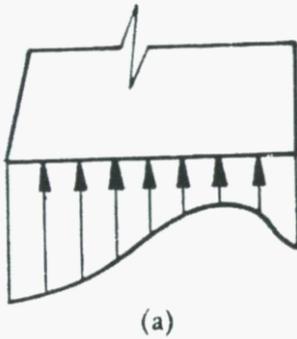
$$R = (E_n + W_n) \operatorname{tg} \phi_{TZ}$$

* Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento:

$$F_d = \frac{R}{T} = \frac{(E_n + W_n) \operatorname{tg} \phi_{TZ}}{E_t - W_t}$$

c. Ausencia de Tracciones en la base

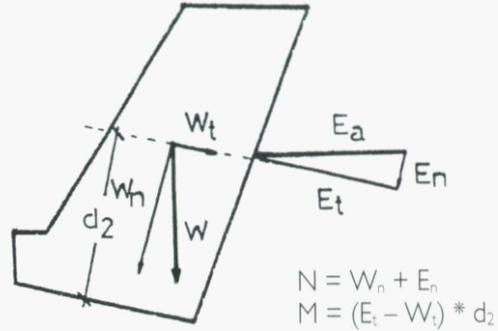
La distribución probable de tensiones en la cimentación rígida de un muro sigue una ley indeterminada. Sin embargo las comprobaciones de los muros se hacen aceptando la simplificación que supone la hipótesis de Winkler de que hay una proporción entre el asiento y la presión entre la base y el terreno. Al considerar la cimentación del muro prácticamente rígida, la ley de presiones estará representada por una recta.



Distribución de tensiones en la cimentación de un muro.
 a) Distribución probable.
 b) Simplificación supuesta.
 ("Geotecnia y Cimientos II", Jiménez Salas)

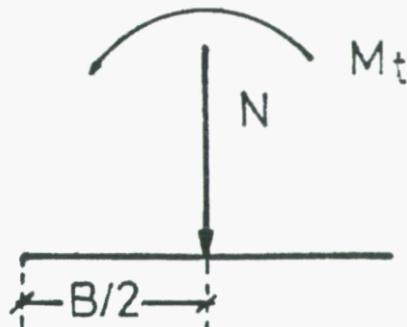
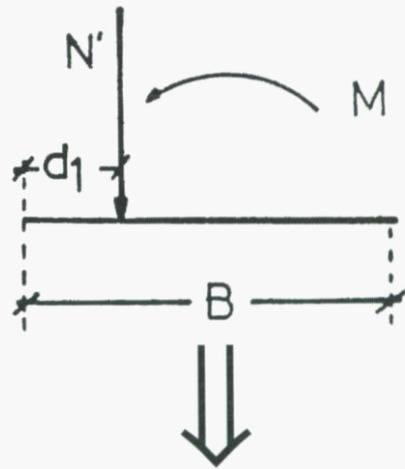
Se acepta comúnmente que la resultante debe pasar por el núcleo central, asegurando la ausencia de tracciones en la base.

Sobre ésta actuarán :



La distribución tensional en el plano de la base vendrá dada por la expresión:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_t Y}{I}$$



Siendo:

$$M_r = \text{Momento Resultante} = M + N * \left(\frac{B}{2} - d_i \right)$$

N = Fuerza Normal sobre la base de la cimentación.

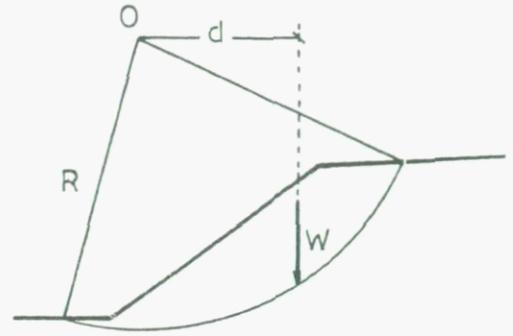
B = Ancho de la base de la cimentación.

A = Area de la base.

Y = Distancia al núcleo central de la sección estudiada.

I = Inercia de la base.

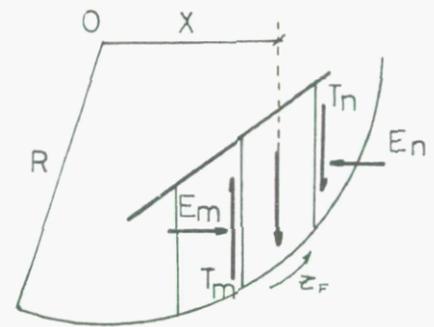
σ = Tensiones normales.



En los muros estudiados se ha comprobado la ausencia de tracciones en la base.

d. Equilibrio Interno del Muro

En todos los casos estudiados se ha obtenido que los círculos de deslizamiento pésimos afectan a la estabilidad global del muro, no produciéndose, salvo situaciones especiales de cargas actuando en el muro, que deberán estudiarse aparte, roturas parciales del mismo, gracias a la trabazón existente entre los bloques de escollera dada por la $\tan \phi$ mayor que 1,5.



Por lo tanto, el estudio de la estabilidad del muro se simplifica al de un muro de gravedad con las características resistentes y friccionales de la escollera y el terreno adyacente.

se eliminan correctamente las fuerzas F, horizontales, en general mucho más importantes que las T, verticales.

Se toman momentos de todas las fuerzas que actúan sobre dicho bloque respecto al centro del círculo, resultando:

3.1.2. Suelos Cohesivos

Para el estudio de los muros, cuyo material del trasdós sea cohesivo, se utiliza el método de Bishop, mediante la utilización de un programa de ordenador desarrollado por Enrique Castillo (1.975) y modificado por Rafael Arroyo (1.986).

$$\sum (W * x) = \sum \left(\frac{\tau_f}{F} * l * R \right)$$

Siendo:

F: coeficiente de seguridad.

l: longitud de la base de la figura.

R: radio del círculo de rotura.

El citado programa analiza la estabilidad de taludes heterogéneos, previa introducción de la geometría y características mecánicas de los distintos materiales que la componen, a partir del estudio de diferentes círculos posibles de rotura (distintos radios y coordenadas de sus centros), ya que el método de Bishop supone que la superficie de deslizamiento es circular:

Pero la definición del círculo pésimo es un proceso iterativo y laborioso, lo que hace que no sea un buen método operativo en la búsqueda de este círculo en función de distintas geometrías y materiales, resultando, sin embargo, una eficaz herramienta para el estudio de casos concretos.

El método consiste en dividir el bloque deslizante en fajas verticales, estableciendo el equilibrio vertical de las fuerzas que actúan sobre cada rebanada. De esta forma

Asimismo la utilización de este sistema de cálculo permite realizar estudios de muros mixtos (hormigón-escollera), o de secciones no uniformes.

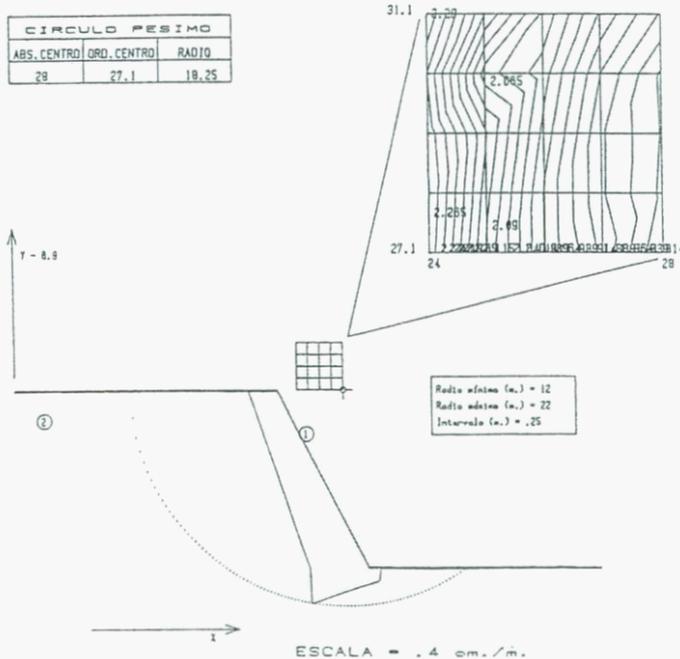


Muro mixto de Hormigón armado y Escollera.
San Vicente de la Barquera (Cantabria)

TERRENO	1	2					
Naturaleza	ARENOSA	ARENOSA					
Densidad Natural	1.9	2					
Parametros Resistentes Utilizados en el cálculo	$C' = 0$ $\phi' = 63$	$C' = 0$ $\phi' = 35$					

LAS LEYES RESISTENTES ESTAN REFERIDAS A LOS EJES GENERALES EN (t/m²)

COEFICIENTE DE SEGURIDAD = 1.789

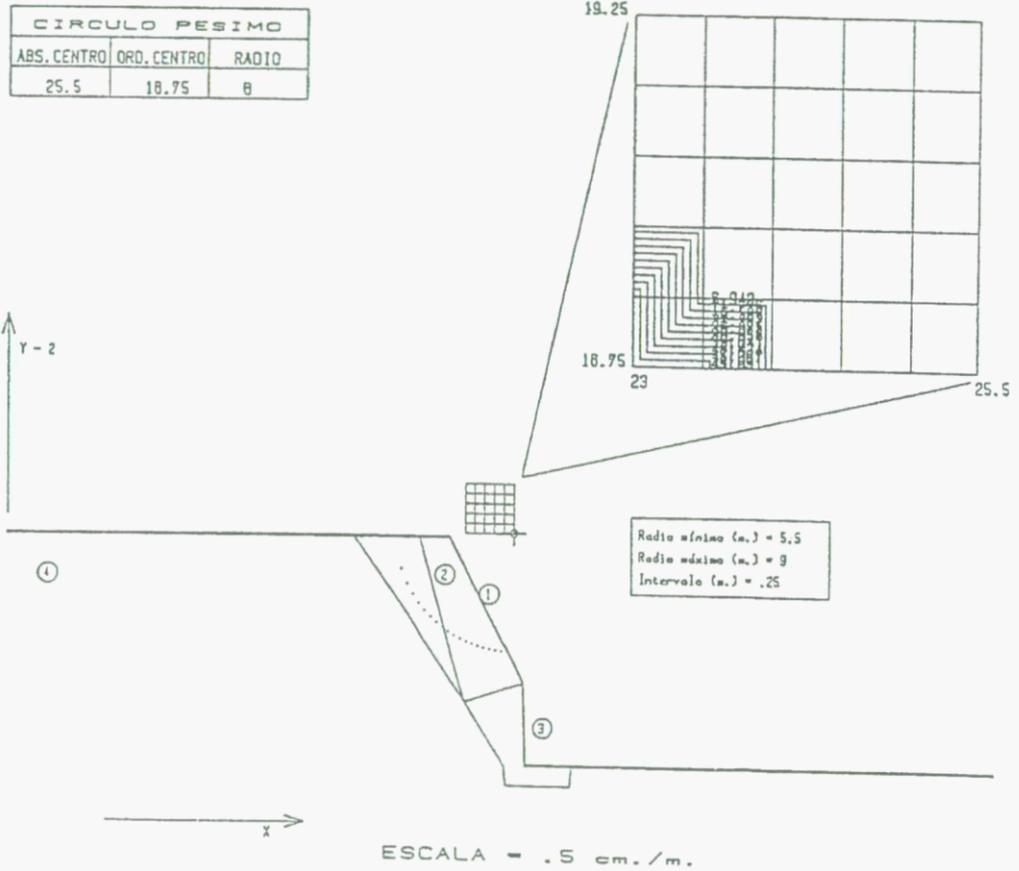


Definición del círculo pésimo mediante la aplicación del método de Bishop

TERRENO	1	2	3	4			
Naturaleza	ARENOSA	ARENOSA	COHESIVA	COHESIVA			
Densidad Natural	1.9	1.9	2.5	2.3			
Parametros Resistentes Utilizados en el cálculo	$C' = 0$ $\phi = 63$	$C' = 0$ $\phi = 35$	$C = 2000$	$C = 2000$			

LAS LEYES RESISTENTES ESTAN REFERIDAS A LOS EJES GENERALES EN (t/m^2)

COEFICIENTE DE SEGURIDAD = 2.16



Definición del círculo pésimo de un muro mixto mediante la aplicación del método de Bishop

4. Ábacos para el cálculo de los muros de escollera. Suelos granulares

4.1. Descripción de la tipología estudiada

Para el cálculo del trasdós del muro de los ábacos de diseño, se ha clasificado el terreno en tres categorías, de acuerdo a los siguientes parámetros de rozamiento interno y densidad:

Tipo	ϕ_T	γ_T kg/m ³
I	35°	1900
II	25°	1900
III	15°	1900

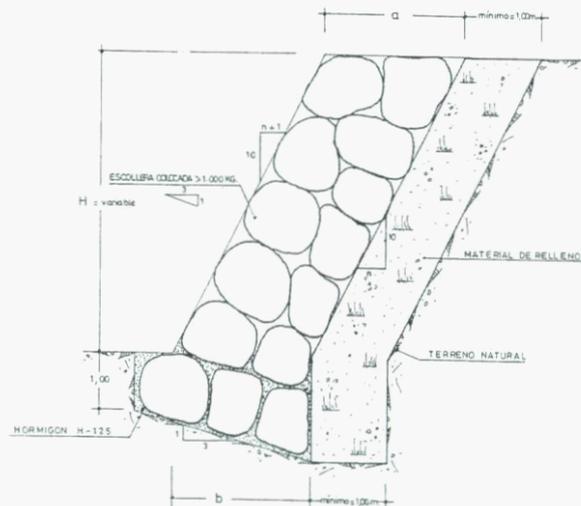
Únicamente se consideran los dos primeros tipos para su utilización en **muros de sostenimiento de carreteras**, pues dadas las malas características geotécnicas del tercero, no se considera un material adecuado para utilizar como relleno en el trasdós de un muro.

Dado el sistema constructivo y la trabazón alcanzada entre la escollera y el terreno de cimentación, se considera en todos los casos un coeficiente de rozamiento zapata-terreno de 35°. Esto supone que siempre se moviliza el ángulo de rozamiento interno del terreno, que se toma de 35°, no aconsejándose la construcción de muros sobre terrenos de menor consistencia.

Para la colección de muros estudiados, variando las alturas y tipo de terreno del trasdós, se obtuvieron valores máximos de las tensiones transmitidas del muro al terreno, de 0,34 MPa (3,4 kg/cm²) por lo que, salvo casos concretos que requieran un estudio más detallado, el terreno de la cimentación se considera con un rozamiento interno de 35° y una tensión admisible de 0,34 MPa (3,4 kg/cm²) como mínimo.

En todos los casos se considera el valor del ángulo de rozamiento terreno-muro δ igual a $2/3 \phi_T$.

Se toma, para los taludes del trasdós y el intradós, los siguientes binomios:



Tipología estudiada

Se adoptan, para las características de la escollera, los valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos, clasificándola en los dos tipos siguientes:

Escollera	γ_E kg/m ³	$tg\phi_E$
I	1900	2,0
II	1700	1,5

El terreno se clasifica en tres grupos, cuyas características son:

Terreno	γ_T kg/m ³	ϕ_T
I	1900	35°
II	1900	25°
III	1900	15°

En el análisis de muros de contención, se han utilizado los tres tipos de terreno y únicamente los dos primeros para los muros de sostenimiento, al considerar que el tercero es inadecuado para tal fin.

En el caso de muros de contención, se supone que el terreno tiene un talud indefinido con un valor igual a su ángulo de rozamiento interno. En cambio, en el caso de muros de sostenimiento, el terreno es horizontal, con una sobrecarga indefinida de 30 kN/ml (3000 kg/ml), con la que se pretende englobar el peso propio del firme y el efecto del tren de cargas de la instrucción.

4.2. Elaboración de los Ábacos de Cálculo

La confección de los ábacos de cálculo se ha realizado tomando como base para el cálculo de los muros, los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento, pues en todos los casos estudiados son los valores más restrictivos de la estabilidad.

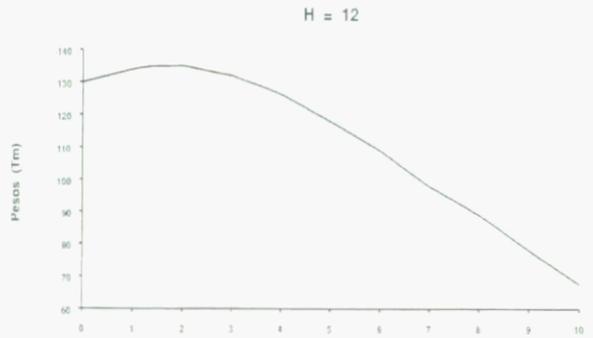
Para cada tipo de muro, contención o sostenimiento, se obtienen los ábacos correspondientes a los coeficientes de seguridad siguientes:

$$F = 1,5 ; 2 ; 2,5$$

La altura de muro varía desde 1 metro hasta 12 metros, con unas pendientes del trasdós e intradós dadas por los valores siguientes de n : 0, 2, 4, 6, 8 y 10.

Se observa que cuanto mejor, geotécnicamente hablando, es el terreno situado en el trasdós, mayor pendiente y menor ancho en coronación posee el muro, resultando el coeficiente de seguridad al vuelco más restrictivo, siendo para terrenos peores el coeficiente de seguridad al deslizamiento el que cumple esta condición.

Otro dato interesante, que se refleja en los ábacos, es la variación del peso del muro en función de la pendiente del mismo.



Variación del peso del muro con la pendiente para una altura de 12 metros

Conforme se va inclinando el muro, su peso aumenta ligeramente hasta un valor de $n = 2$, a partir del cual, el peso del muro disminuye, alcanzando un valor mínimo para $n = 10$. Puesto que en este tipo de muros, el efecto estabilizador proviene del peso propio del mismo, su anchura será mayor cuanto más verticales sean.

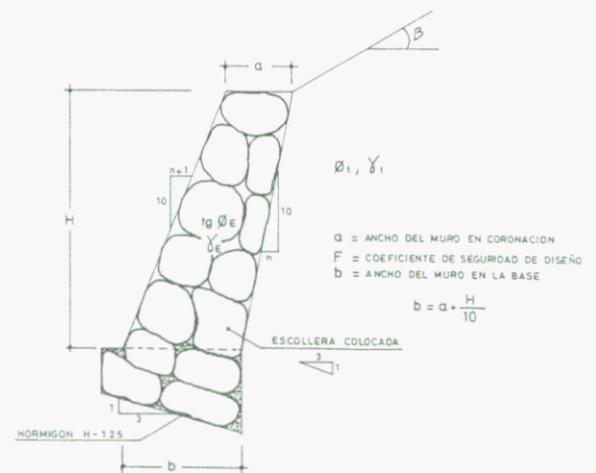
Pero es debido a la variación apuntada, que los anchos correspondientes a valores bajos de n sean parecidos. E incluso, en casos en los que el terreno no posea características adecuadas, y con un valor de n próximo a 0, aparezcan anchos menores que para otros valores de n .

Se han confeccionado los ábacos de cálculo mediante la utilización de un programa de ordenador, atendiendo a estas hipótesis, cuyo listado figura en el anejo de cálculos.

4.3. Muros de contención

4.3.1. Esquema general

El esquema general de los muros de contención estudiados responde a las siguientes características:



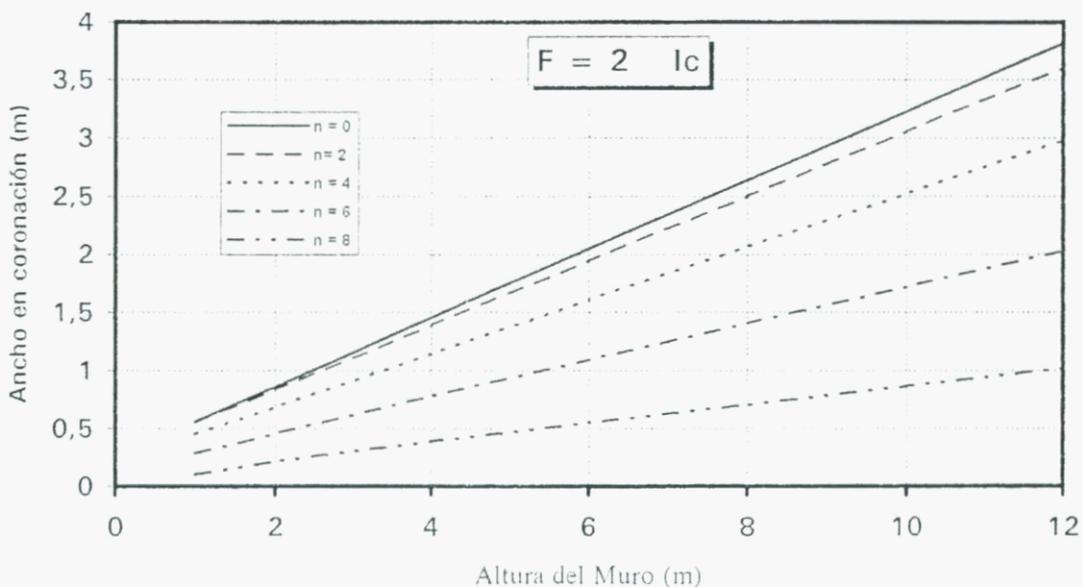
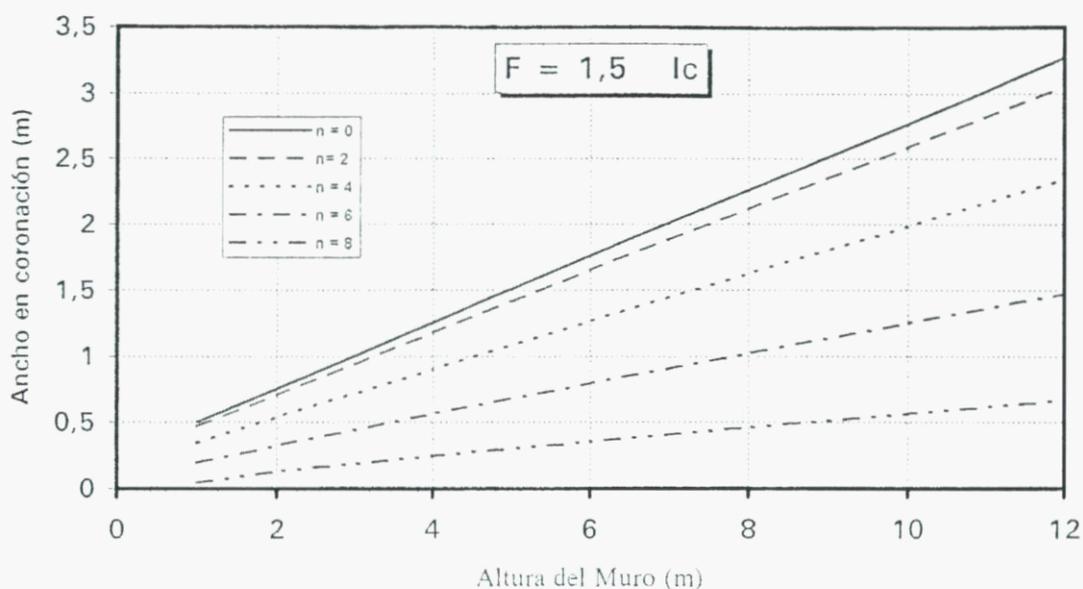
Muros de contención

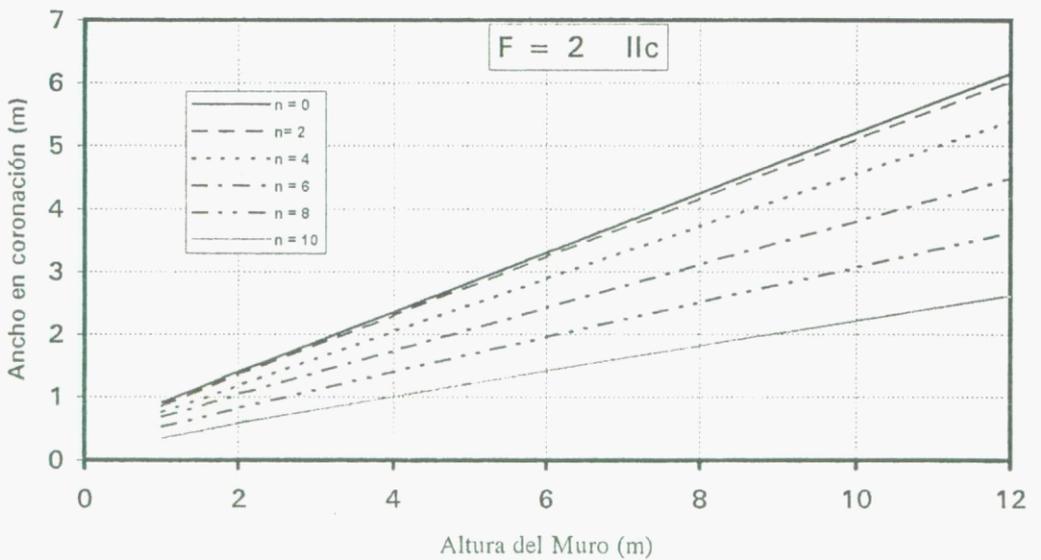
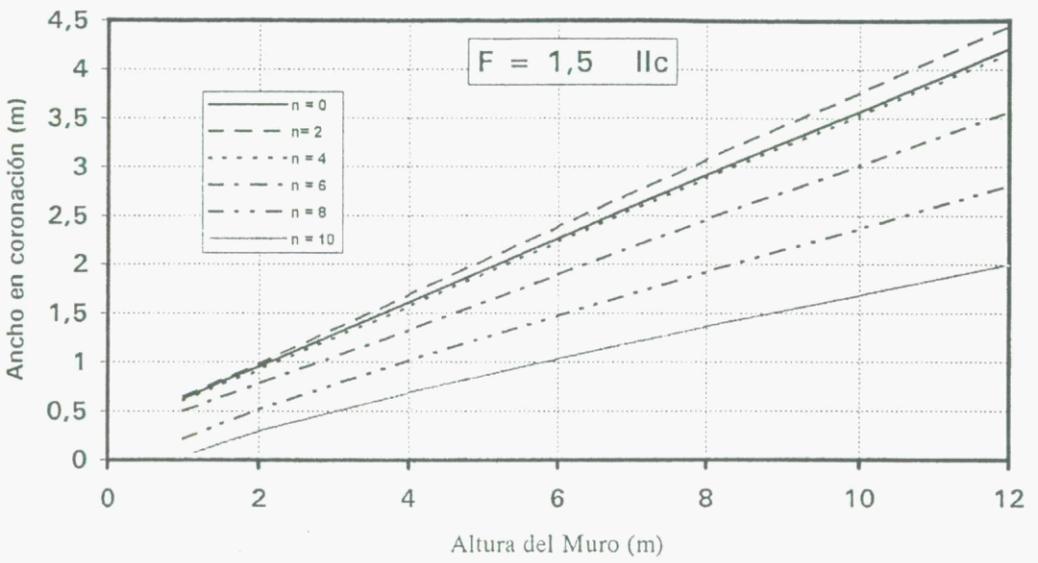
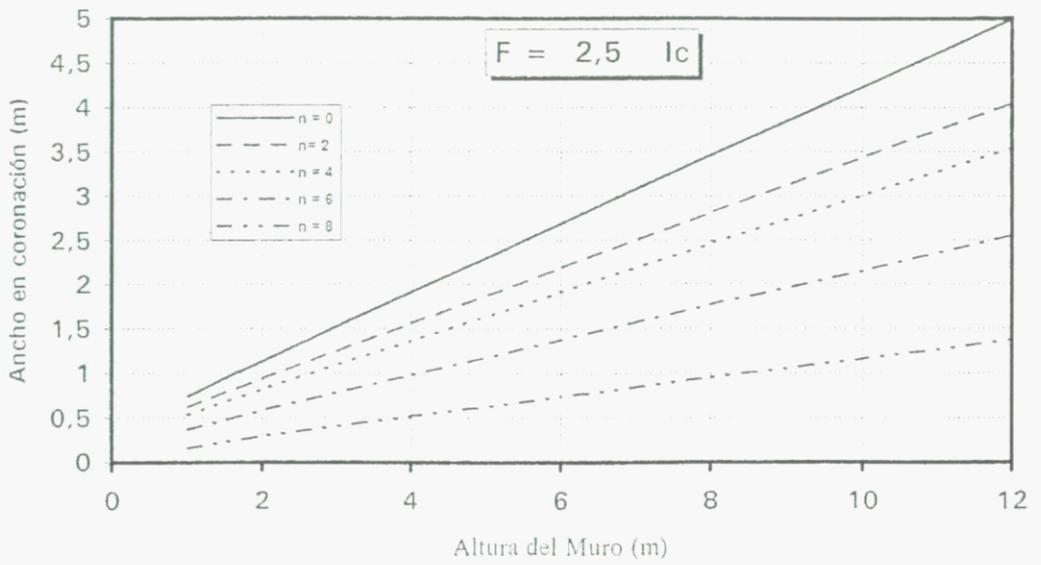
En la elaboración de los ábacos y para su cálculo se han considerado seis tipos diferentes de situaciones, en función de los parámetros de la escollera y del terreno

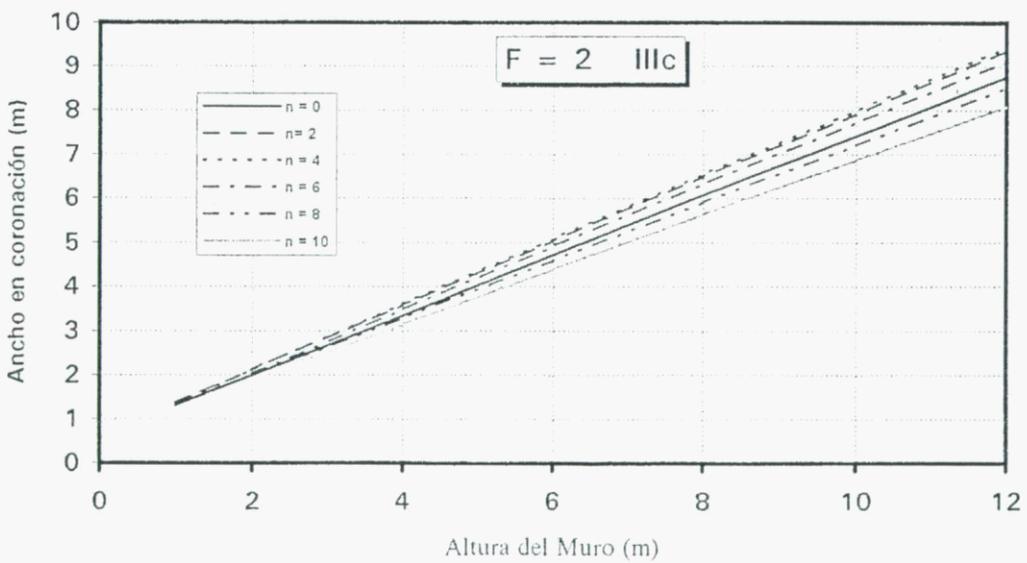
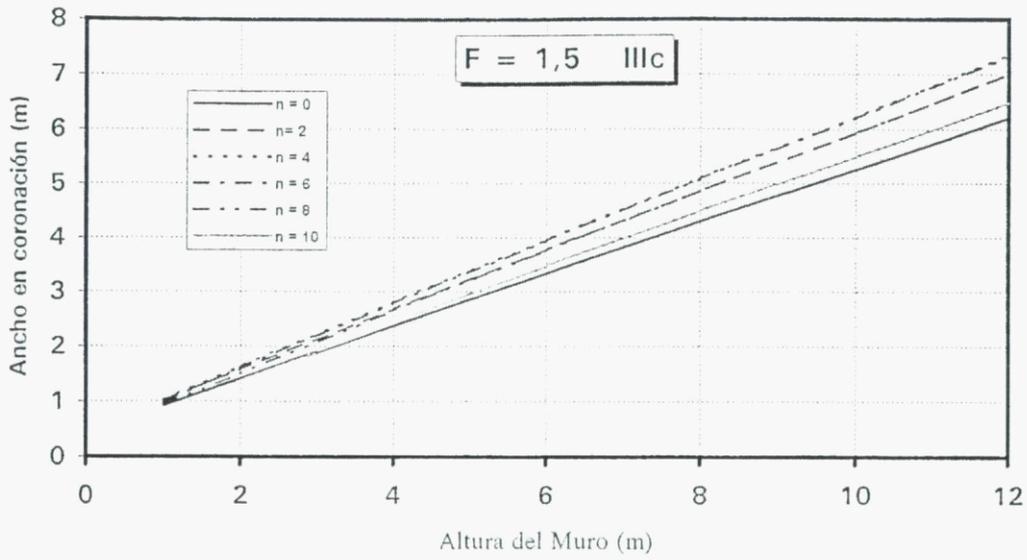
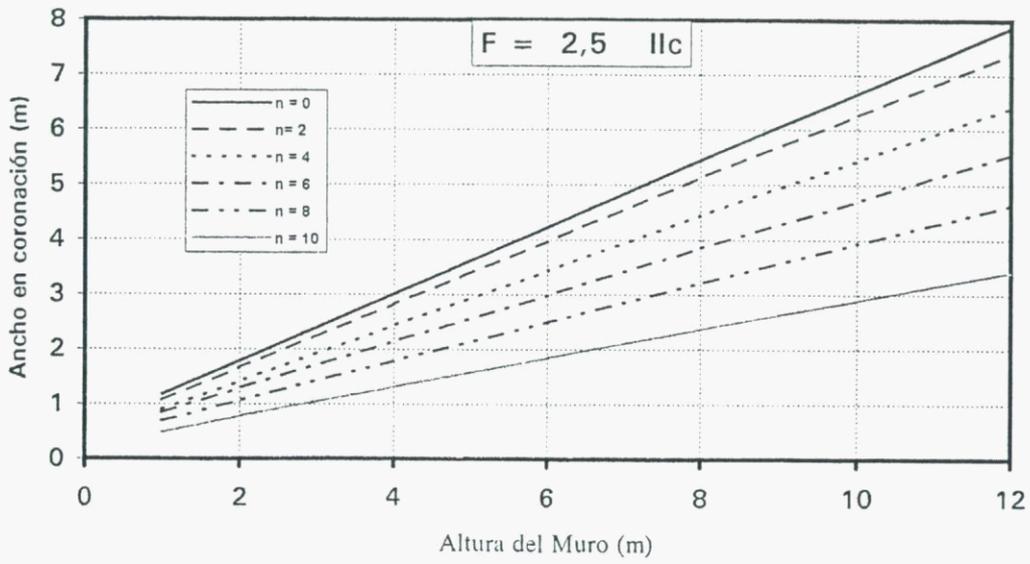
situado en el trasdós del muro, que se adecúan a la siguiente tabla:

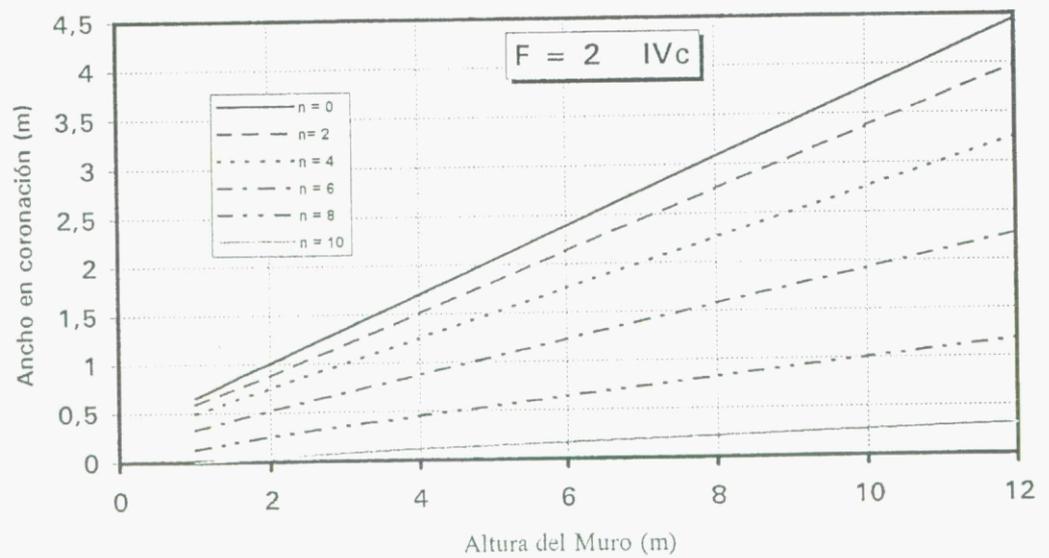
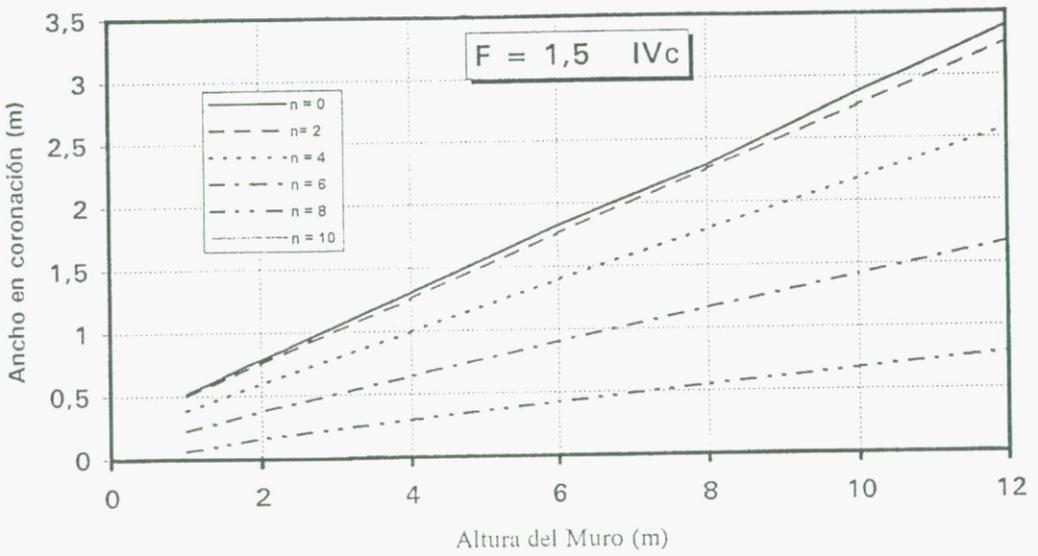
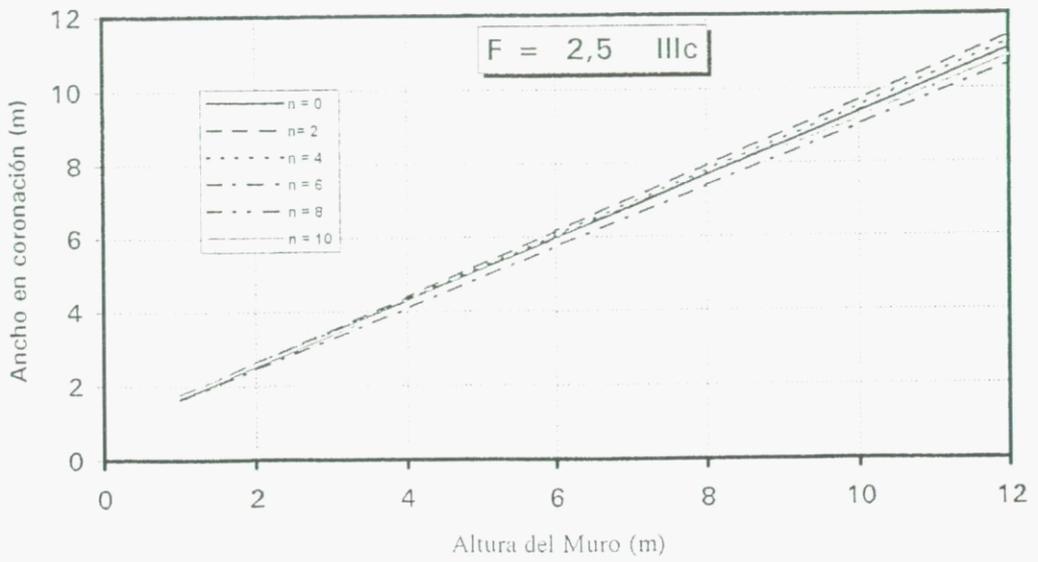
	I _C	II _C	III _C	IV _C	V _C	VI _C
$tg\phi_E$	2	2	2	1,5	1,5	1,5
γ_E (kg/m ³)	1900	1900	1900	1700	1700	1700
ϕ_T	35°	25°	15°	35°	25°	15°
γ_T (kg/m ³)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
β	35°	25°	15°	35°	25°	15°

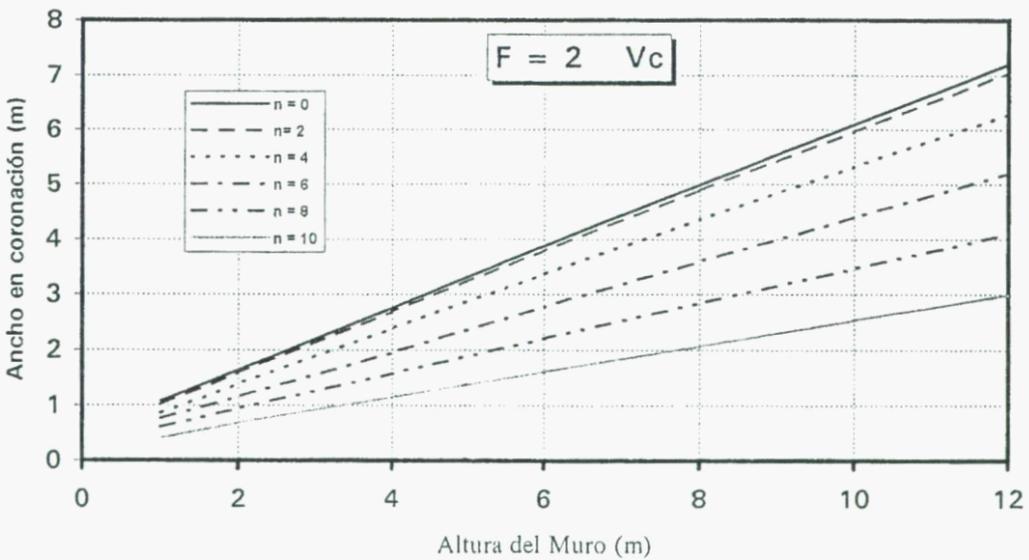
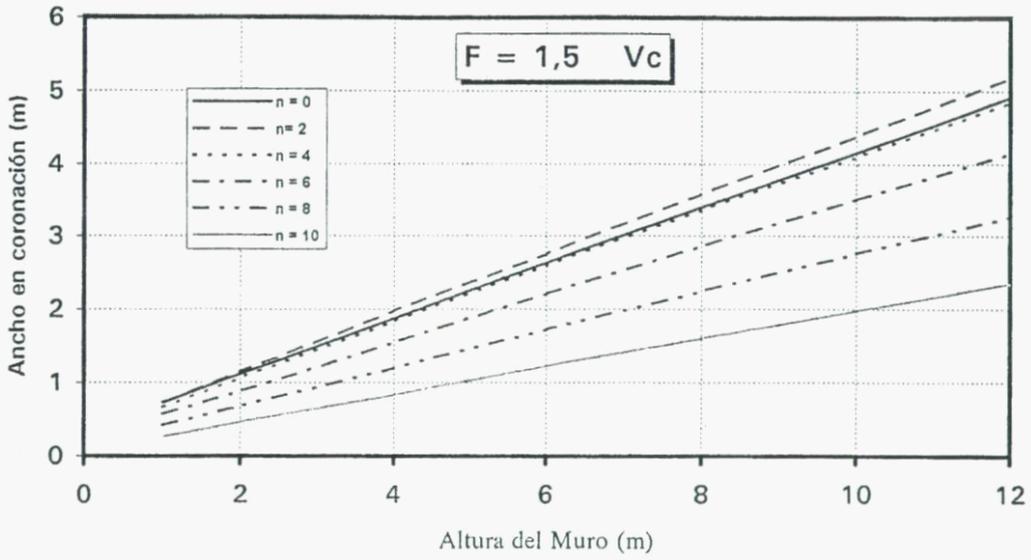
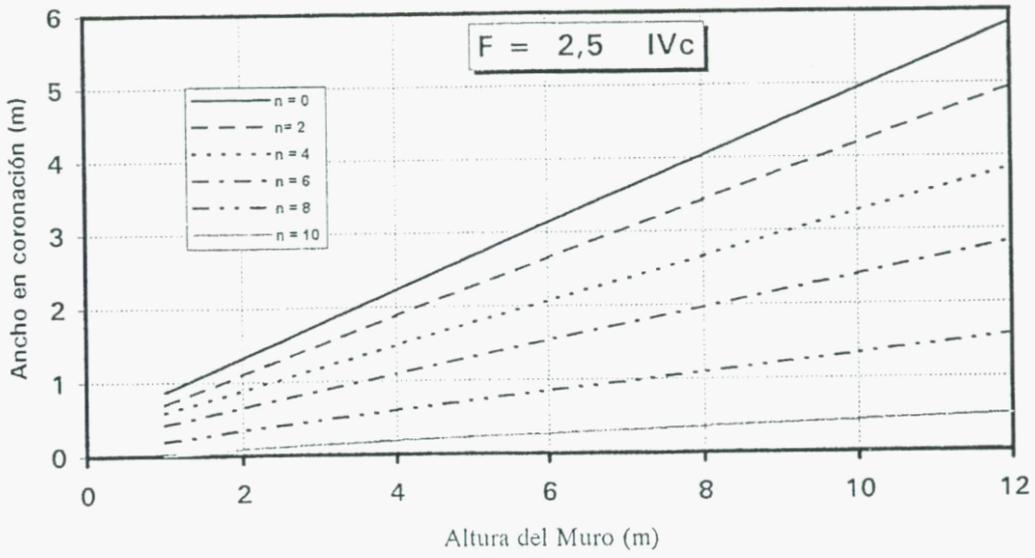
4.3.2. Ábacos para el cálculo de muros de contención

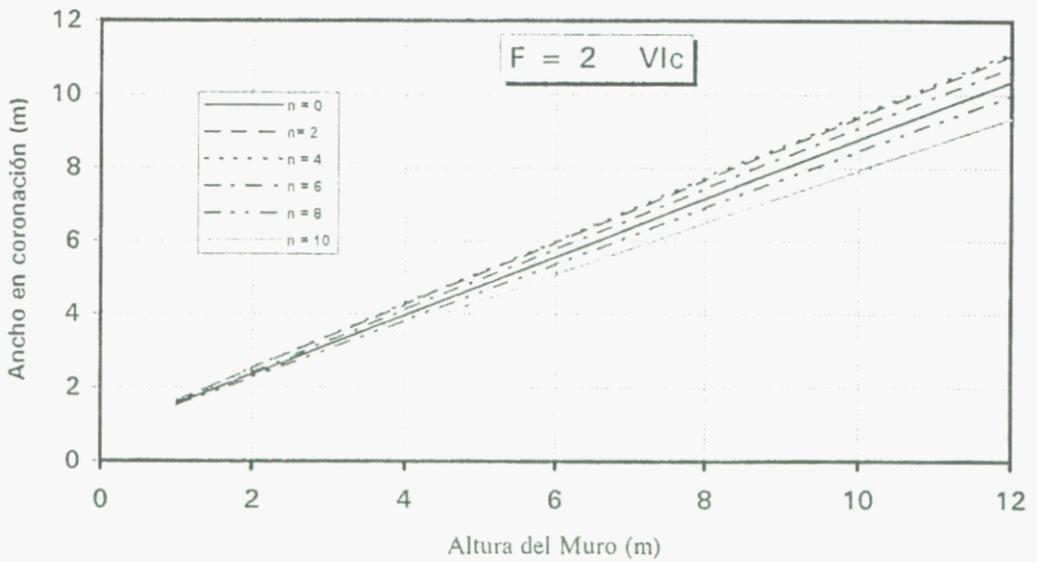
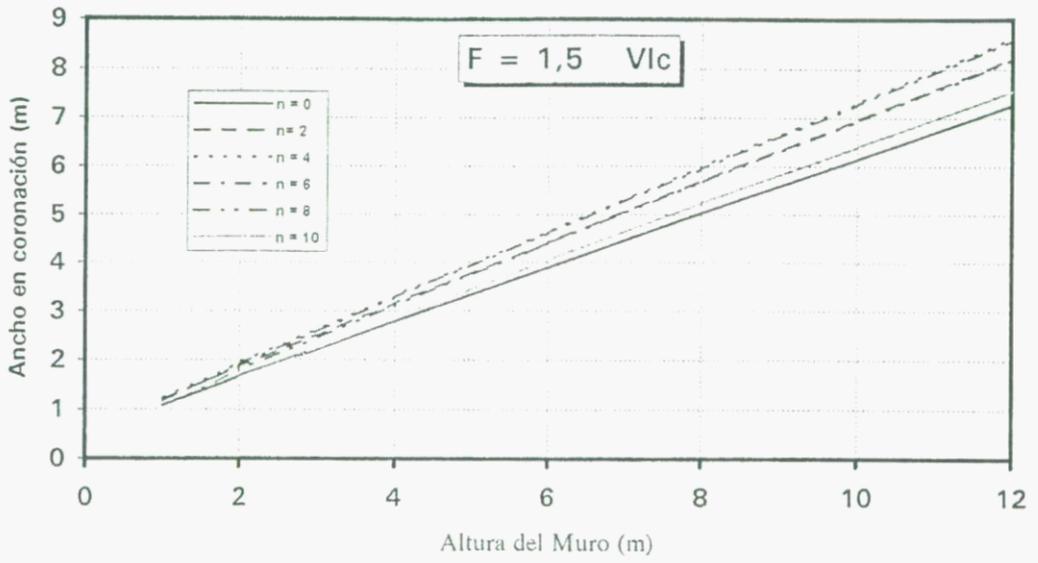
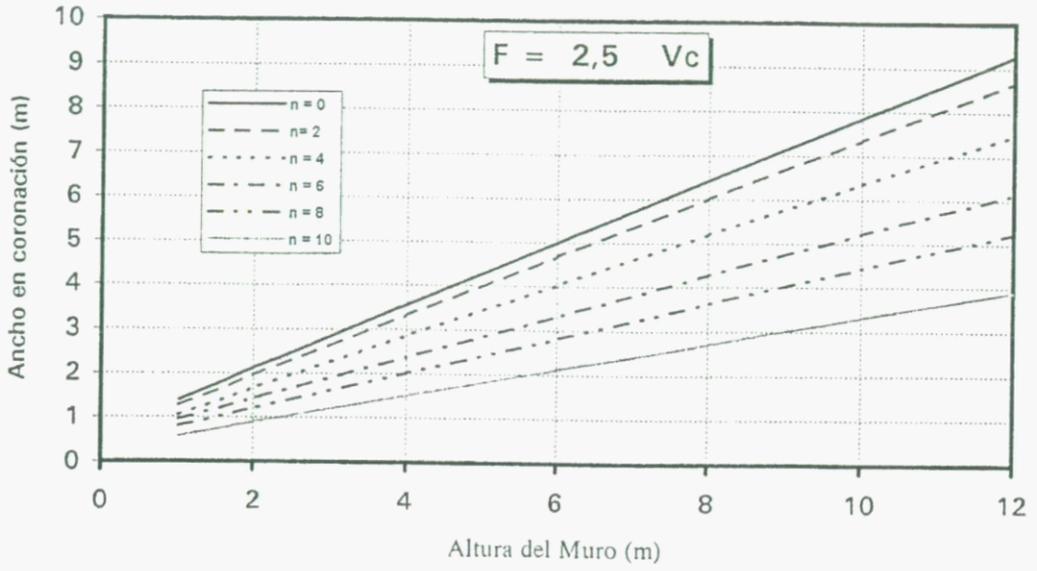




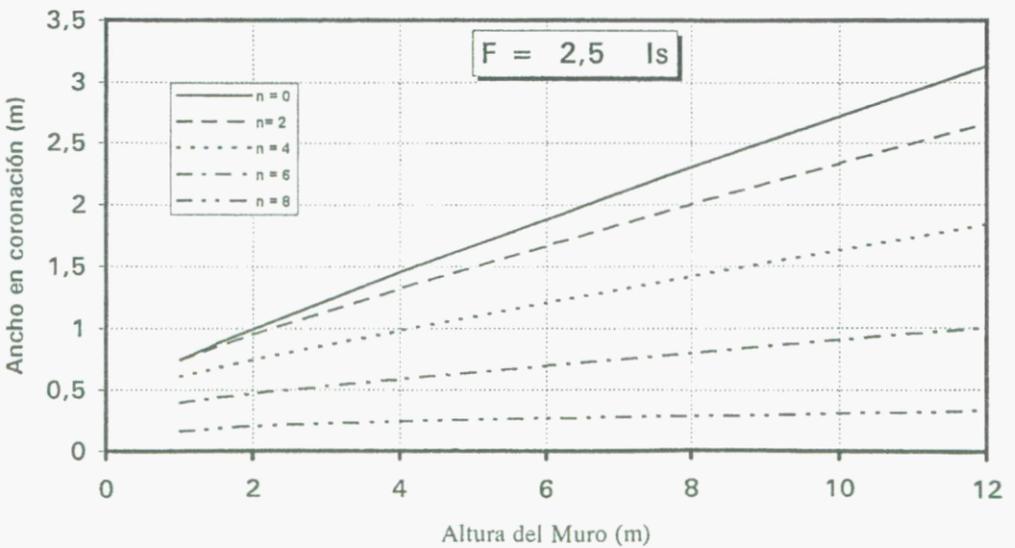
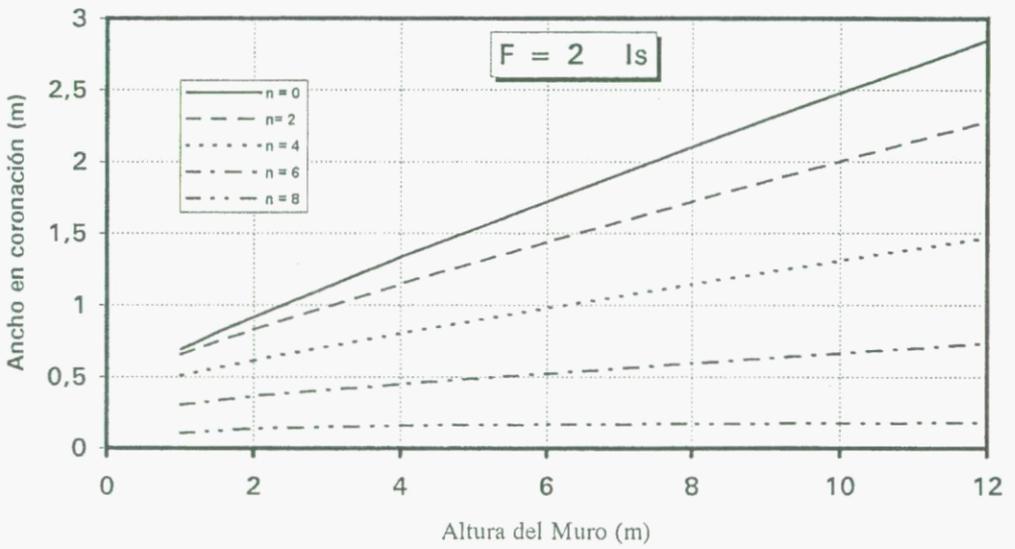
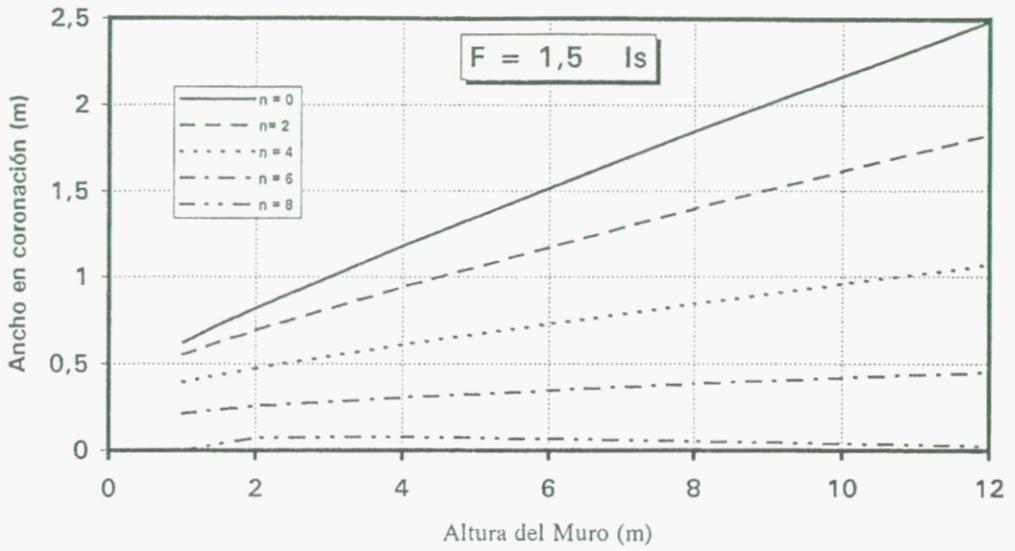


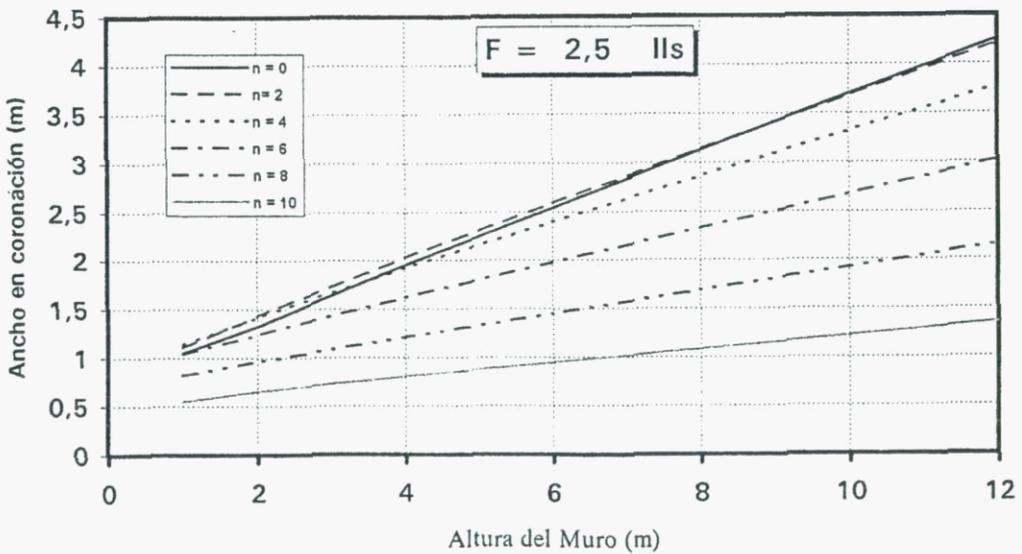
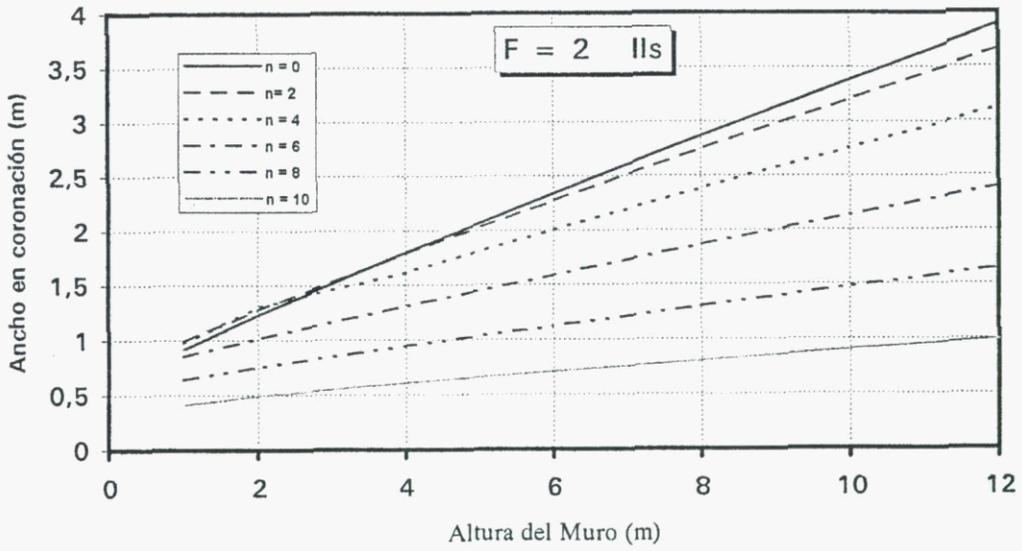
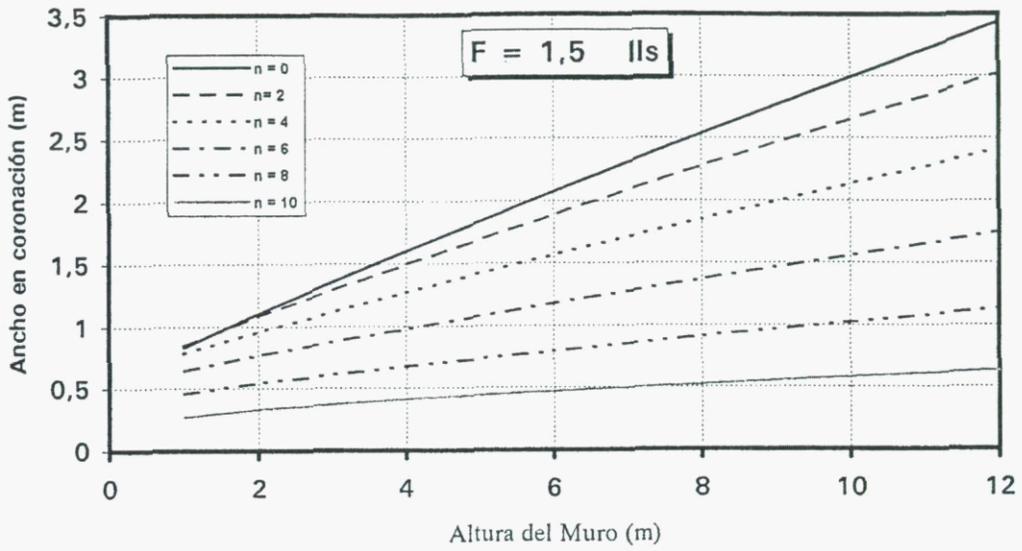


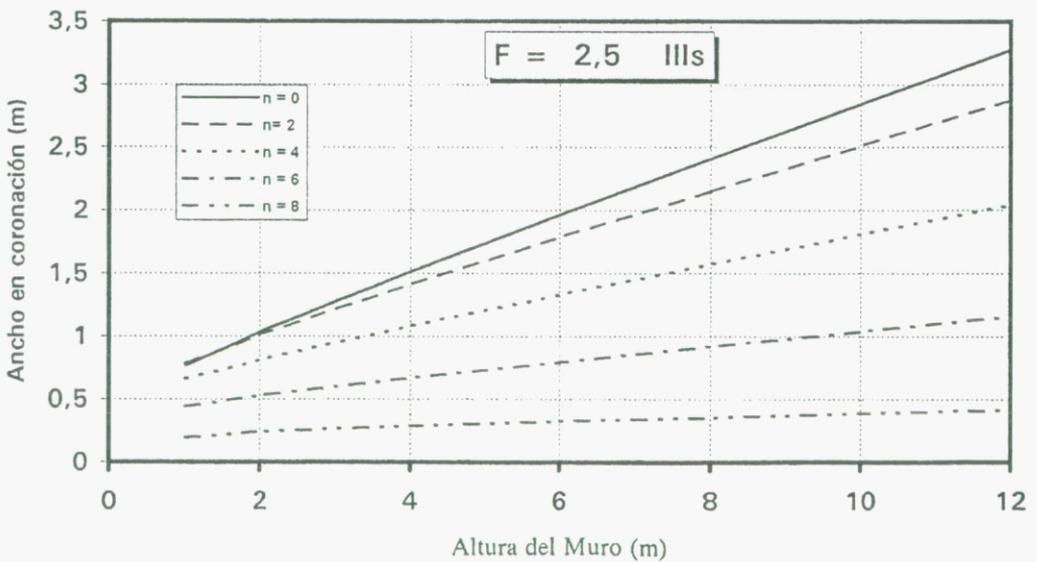
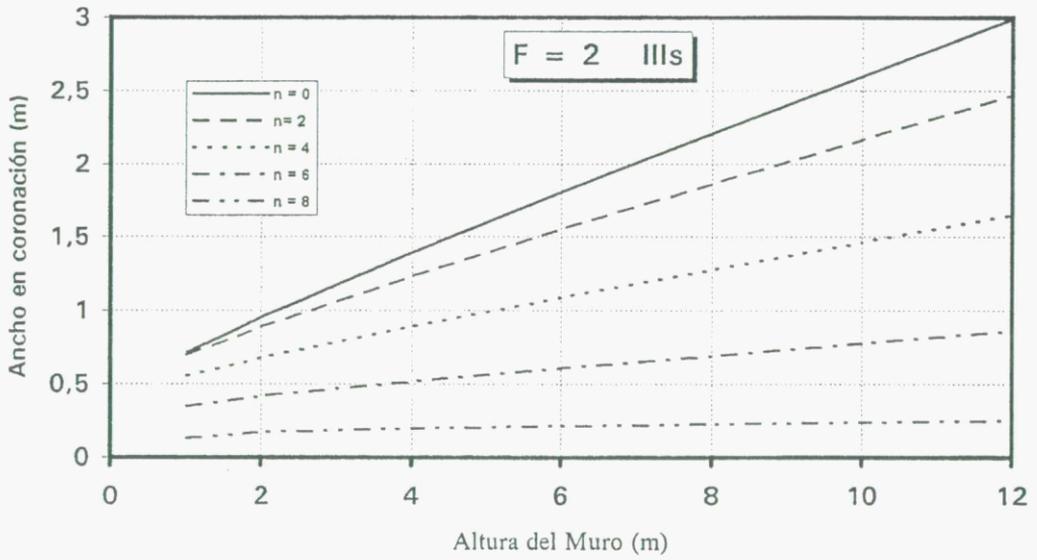
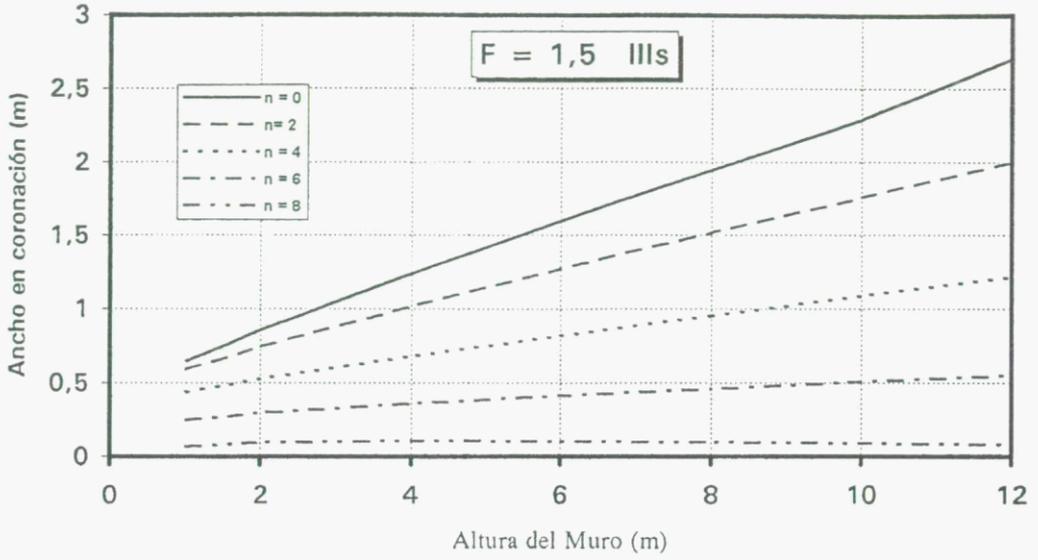


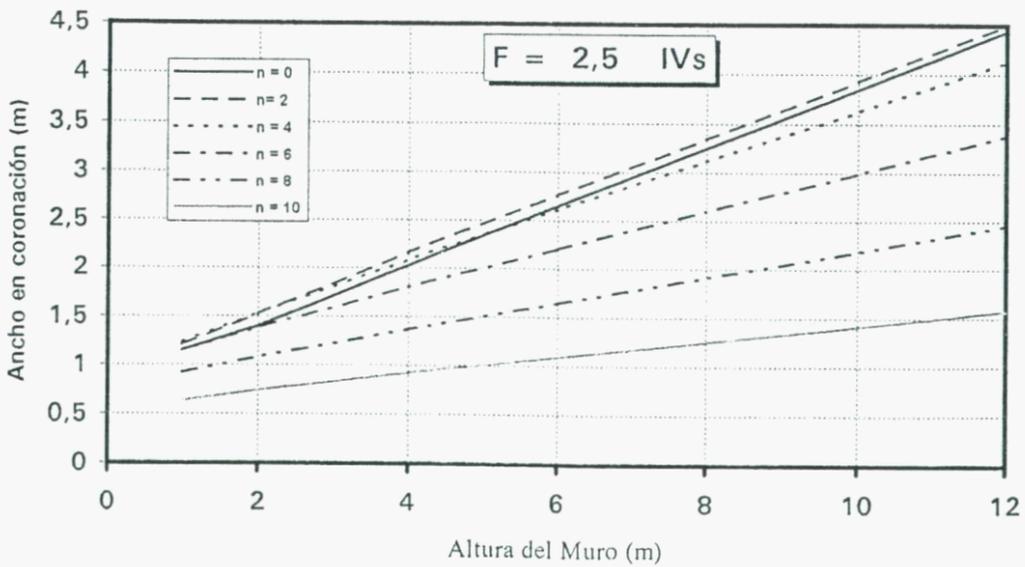
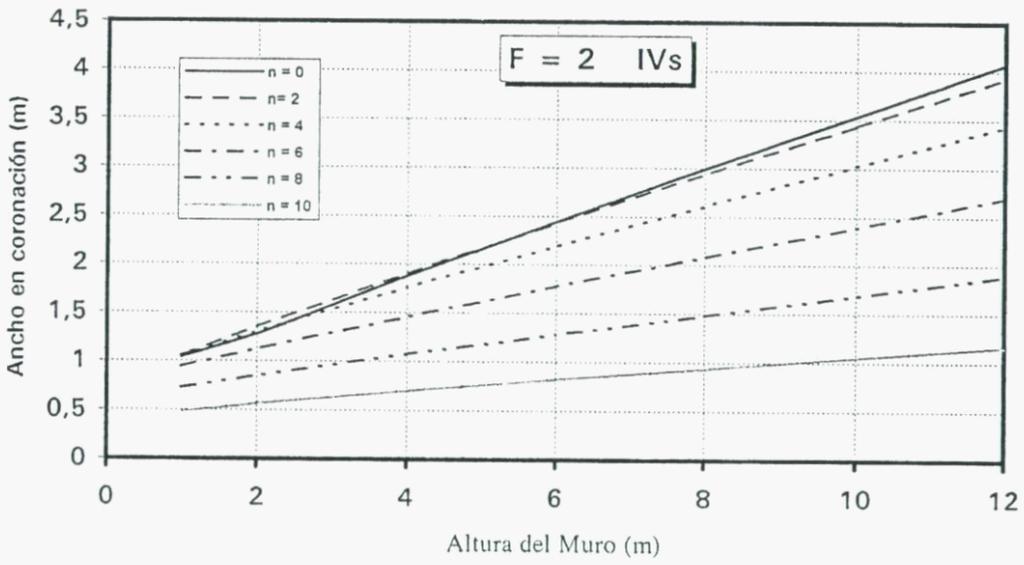
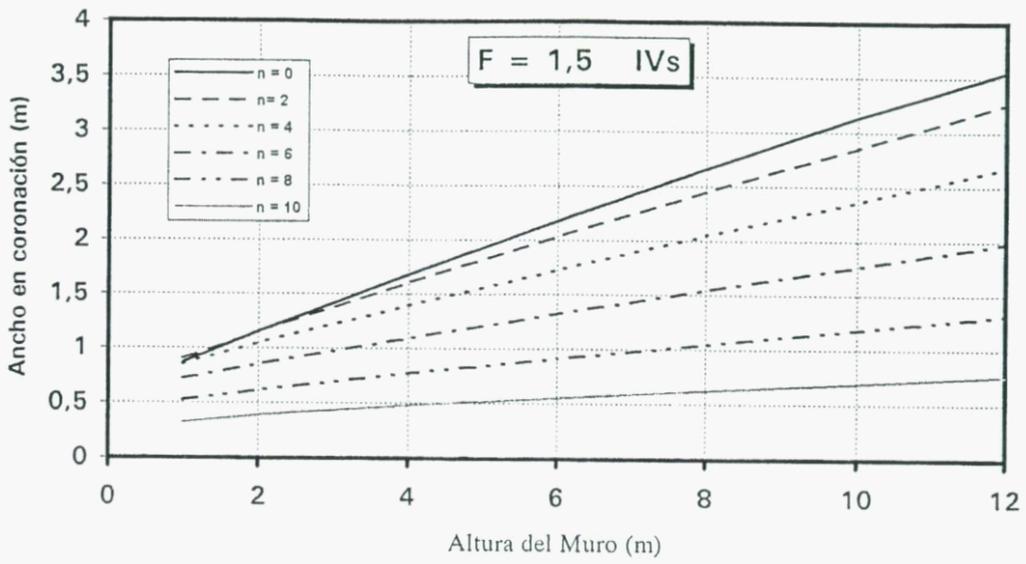


4.4.2. Ábacos para el cálculo de muros de sostenimiento









5. Elementos y recomendaciones constructivas de los muros de escollera

5.1. Características de la roca utilizada

La escollera utilizada en los ensayos es de naturaleza caliza, procedente de voladura, sana y no alterable por los agentes atmosféricos.

Se establecen dos grupos en relación al peso de los bloques de la escollera:

Entre 8 kN y 13,5 kN (800 kg y 1.350 kg).

Entre 20 kN y 30 kN (2.000 kg y 3.000 kg).

Los ensayos, realizados a escala 1:3, no indican grandes diferencias respecto al peso de los bloques de escollera, si bien se ha adoptado para la realización de los ábacos, y basándose en la experiencia, escollera de más de 10 kN (1000 kg), lo que supone una arista media de 70 cm. Se pueden realizar, de todas formas, muros con escollera de naturaleza arenisca y de tamaños mayores a los reseñados.



Muro de bloques de arenisca

La escollera caliza será homogénea y sin fisuras y deberá cumplir las siguientes características físico-químicas:

- | | |
|---|--|
| — Peso específico real | superior a 26 kN/m ³ (2600 kg/m ³). |
| — Resistencia a compresión simple | superior a 70 MPa (700 kg/cm ²). |
| — Desgaste coeficiente del ensayo de "Los Angeles" | inferior al 35 %. |
| — Contenido en carbonato cálcico | superior al 90 %. |
| — Pérdida al ser sometida a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico (ensayo UNE - 7136) | inferior al 10 %. |

Estas especificaciones se ajustan a escollera utilizada en obras realizadas en Cantabria, y que tras más de veinte años, permanece inalterada.



Bloques de roca caliza de peso superior a 30 kN (3000 kg). utilizados en la construcción de un muro de escollera. Carretera de Bárcena Mayor (Cantabria)

El posible empleo de otros tipos de escollera requerirán un estudio más detallado con el fin de garantizar su estabilidad e inalterabilidad y, en principio, pueden ser analizadas para su empleo, las rocas consideradas como "Rocas Adecuadas":

"Rocas adecuadas". Se podrán utilizar los materiales pétreos procedentes de las siguientes rocas, siempre que sean sanas, compactas y resistentes: (PG.3 - art. 331)

- Granitos, granodioritas y sienitas.
- Aplitas, pórfidos y porfiditas.
- Gabros.
- Diabasas, ofitas y lamprófidos.
- Riolitas y dacitas.
- Andesitas, basaltos y limburgitas.
- Cuarzitas y mármoles.
- Calizas y dolomías.
- Areniscas, conglomerados y brechas. "

5.2. Cimentación

La cimentación del muro de escollera se realiza mediante el vertido de un hormigón pobre (H-15) entre

los huecos de la escollera situada bajo la rasante del muro.



Colocación de hormigón en muro de escollera San Felices de Buelna (Cantabria).

La zapata presenta una sobre excavación y una profundidad mínima de 1 m, dependiendo de la capacidad portante del terreno, el aumentar estas dimensiones.

Con el vertido de hormigón se consigue una mayor rigidez en la cimentación, unificando los asientos y facilitando la redistribución de las tensiones en el terreno.

Esta operación se realiza de manera sencilla y con un sobrecoste reducido, mejorando en gran forma la estabilidad del muro de escollera.

5.3. Colocación de los bloques de la escollera

Los bloques de escollera se colocarán en el muro asegurando su estabilidad y manteniendo en todo momento una contrainclinación de 1:3 respecto del trasdós.

La tolerancia en abertura entre bloques no superará los 12 cm. en ningún punto.

Con el fin de asegurar la mayor trabazón posible, cada bloque deberá de apoyar su cara inferior en, al menos, dos bloques, y estar en contacto con los bloques laterales adyacentes.

A medida que se vaya subiendo las diferentes hiladas, se irá colocando el relleno granular del trasdós.

La experiencia indica que con una correcta colocación de la escollera, se alcanzan densidades aparentes próximas a 2000 kg/m^3 , habiéndose tomado para la confección de los ábacos una densidad de 1900 kg/m^3 , para el caso de una colocación muy buena, y de 1700 kg/m^3 para una colocación buena. Debido a una deficiente colocación, se pueden obtener densidades inferiores a 1400 kg/m^3 , lo que originaría una gran pérdida de estabilidad, tanto al vuelco como al deslizamiento.

5.4. Material del trasdós del muro

El relleno que se coloca en el trasdós del muro, en un ancho no inferior a un metro, debe ser un material granular filtrante con un tamaño máximo menor de 15 cm.



Colocación del material de trasdós del muro

Con este material, que se va colocando a medida que se realizan las diferentes hiladas del muro de escollera, quedan garantizadas cinco funciones :

- a) Reparto más uniforme de los empujes sobre la escollera.
- b) Reducción de los empujes sobre el muro.
- c) Garantizar el correcto drenaje del muro, facilitado por los huecos existentes en la escollera.
- d) Evitar la salida de material arcilloso a través de la escollera, y el afloramiento de agua en todo el paramento del muro.
- e) Dotar de una posible superficie de trabajo para posicionar la máquina en muros de altura media o grande.

5.5. Características y rendimientos de la maquinaria para la construcción de muros de escollera

La máquina empleada para la colocación de bloques de escollera en el muro es la excavadora con equipo retro. Las características del trabajo a realizar aconsejan el empleo de máquinas sobre orugas de potencia no inferior a 120 CV y capacidad del cazo próxima al metro cúbico.



Colocación del bloque de escollera dentro del cazo

La producción en la construcción de muros de escollera depende de tres factores a tener en cuenta, tanto en la elección de la máquina, como en su aspecto operativo:

- Potencia de la máquina y capacidad del cazo.
- Tamaño de los bloques de escollera.
- Duración del ciclo básico. Habilidad del maquinista.



Maniobra con el cazo cargado

El ciclo básico de colocación de un bloque de escollera en el muro, se compone de las siguientes fases:

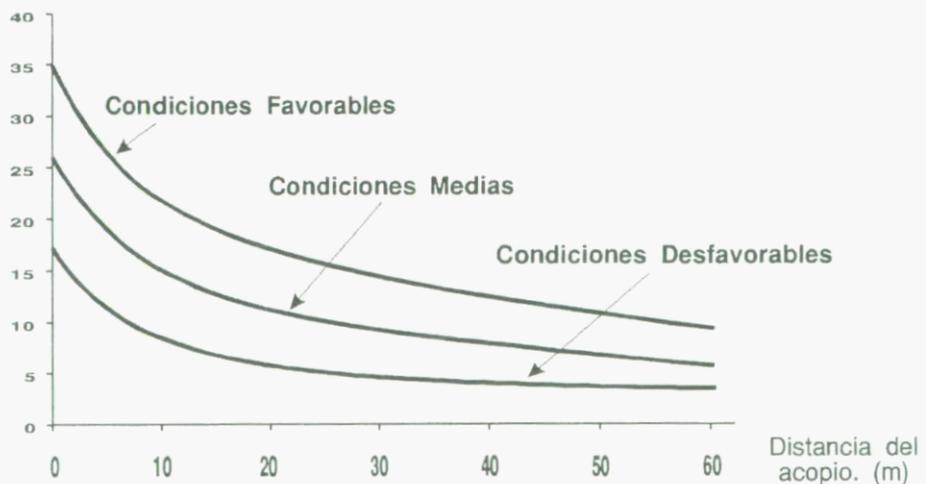
- Colocación del bloque dentro del cazo.
- Maniobra con el cazo cargado.
- Descarga del bloque sobre el paramento del muro.
- Posicionamiento correcto del bloque en el muro.
- Regreso al acopio de bloques de escollera.

De estas fases, la colocación del bloque dentro del cazo es la más importante para la correcta y rápida ejecución

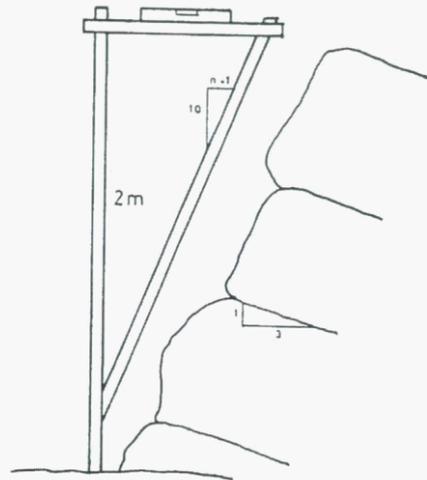
del ciclo. Esta fase consiste en empujar y girar el bloque, situado en el suelo, de forma que quede en posición favorable. Una incorrecta colocación dentro del cazo obligará a movimientos superfluos del bloque sobre el muro y, a menudo, será mejor reiniciar el ciclo básico si se aprecia que el bloque no se posiciona correctamente en el cazo. En esta operación no tiene tanta influencia la capacidad o potencia de la máquina como la habilidad del maquinista.

Una vez situado el canto en una posición adecuada, la máquina debe generar la potencia necesaria para se-

Rendimientos
(Tm/hora)



Rendimientos medios en la construcción de un muro de escollera con acopio de bloques. (Eficiencia 50 min/hora)



Colocación del bloque de escollera en el muro. Esquema de una regleta con nivel

para el canto del suelo, elevarlo y transportarlo, con unas mínimas condiciones de estabilidad.

La velocidad de desplazamiento de una máquina de orugas es lenta por lo que el acopio de los bloques debe situarse lo más cerca posible del muro en construcción.

La siguiente fase del ciclo, de gran importancia tanto en la producción, como en el resultado final, funcional y estético del muro es el *posicionamiento del bloque en el muro*. En esta fase se aconseja, en todos los casos,

contar con la asistencia de un obrero que ayudado de un nivel de albañil y una regleta, dirija al maquinista en la correcta colocación del bloque, garantizando un correcto posicionamiento y apoyo con los bloques adyacentes.

Dadas las especiales características del trabajo a realizar por la máquina, su producción real a lo largo de un cierto tiempo de trabajo, varía notablemente en función de la distancia del acopio, de la habilidad del maquinista y del correcto posicionamiento de la máquina.



Posicionamiento de la máquina en la cota de la base del muro



Posicionamiento de la máquina sobre el muro

Es importante para obtener buenos rendimientos estudiar el posicionamiento adecuado de la máquina en las diferentes etapas de la construcción del muro.

En la primera etapa de la construcción del muro, la máquina se sitúa a la cota de la base del mismo. En esta posición, la máquina realiza la excavación y colocación de los bloques de la cimentación, puede ayudar al vertido del hormigón y realiza las primeras hiladas de escollera, permaneciendo en dicha posición hasta alcanzar una altura de muro tal que le resulte difícil el posicionamiento de los bloques. Aproximadamente el

límite de esta altura es de cuatro a seis metros de altura.

A partir de este momento la máquina y, por lo tanto, el acopio de los bloques de escollera, debe situarse a una cota superior, generalmente sobre el propio muro y encima del terreno del trasdós y del material de relleno. De esta manera la máquina va elevando su cota de trabajo a medida que va construyendo el muro, reduciendo en todos los casos un movimiento de traslación y evitando siempre realizar giros.

6. Análisis económico comparativo de los diferentes tipos de muros de carreteras

6.1. Planteamiento

Se aborda el estudio comparativo de costes entre los distintos tipos de muros (tanto convencionales como prefabricados) que mas comúnmente se ejecutan en la actualidad. Estos son cinco:

- Muros de hormigón armado.
- Muros prefabricados.
- Muros de tierra armada.

- Muros jardinera.
- Muros de escollera.

Para ello se consideran todos los posibles factores que pueden influir en el coste del muro, como son: la altura, calidad del posible relleno y accesibilidad de éste, capacidad portante del terreno, excavación necesaria para cada tipo, características globales de la obra en la que se encuentra el muro, relaciones comerciales, etc.



*Muro de Escollera de una altura de 15 metros.
Parque de la Naturaleza de Cabárceno (Cantabria)*



Muro de Tierra Armada utilizando Escamas de Hormigón y Geotextil.
Acceso a Galdácano (Vizcaya)

La altura del muro es un factor importante en el coste, es fácilmente comparable y afecta a todos los muros que se construyen. Por otra parte, se decide tomar como unidad de comparación económica el coste del metro cuadrado de superficie paramentada.

Así pues, se han estimado las curvas altura-coste del metro cuadrado de paramento para cada uno de los tipos de muro, en condiciones medias e iguales para todos.

Las bases de cálculo adoptadas para los diferentes tipos de muros estudiados han sido:

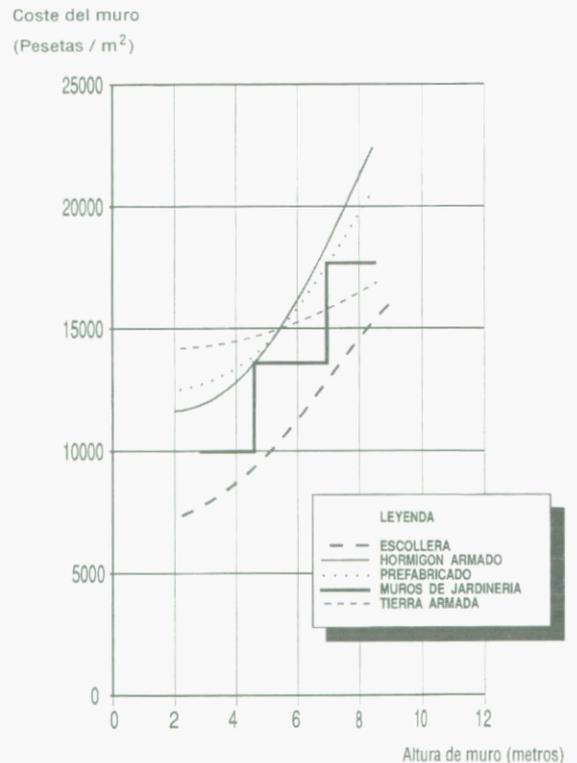
- **Terreno del trasdós y material granular.**
 - Ángulo de rozamiento interno: 30° .
 - Densidad: 1800 kg/m^3 .
- **Terreno de cimentación**
 - Tensión admisible:
Para carga de uso: $0,2 \text{ MPa}$ (2 kg/cm^2)
Para carga mayorada: $0,4 \text{ MPa}$ (4 kg/cm^2)
- **Sin sobrecarga**

De la comparación de estas curvas obtendremos, para dichas condiciones medias, los tipos de muro económicamente mejores para cada altura.

La longitud total del muro se consideró en todos los casos de 80 m , y el relleno del trasdós se supone idéntico para los distintos procedimientos.

Con todos estos muros se realizó un gráfico comparativo de alturas-precios.

6.2. Gráfico resumen del coste de los diferentes tipos de muros



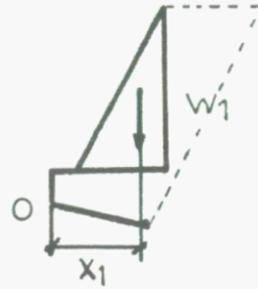
Comparación económica entre diferentes tipos de muros

PESO DEL MURO

De acuerdo con la geometría del muro representado en el inicio de este anejo se tiene:

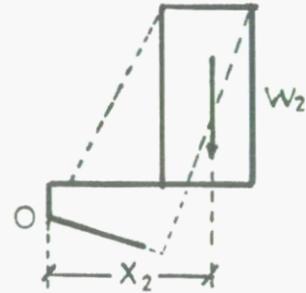
$$w_1 = \frac{1}{2} \left[H \operatorname{tg}(\alpha) + \frac{H}{10} \right] * H * \gamma$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \left[H \operatorname{tg}(\alpha) + \frac{H}{10} \right] + x$$



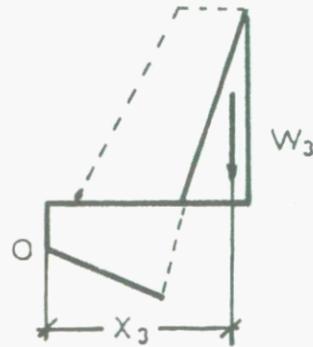
$$w_2 = H * a * \gamma_E$$

$$x_2 = \left[H \operatorname{tg}(\alpha) + \frac{H}{10} \right] + \frac{a}{2} + x$$



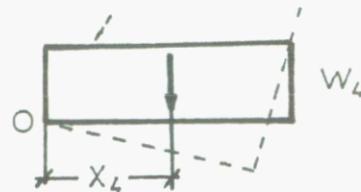
$$w_3 = \frac{1}{2} H^2 * \operatorname{tg}(\alpha) * \gamma_E$$

$$x_3 = \frac{2}{3} \left[H \operatorname{tg}(\alpha) \right] + a + \frac{H}{10} + x$$



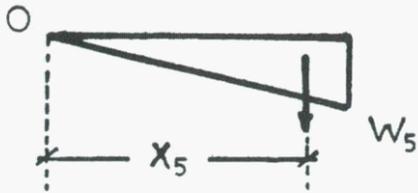
$$w_4 = \left(a + \frac{H}{10} + x_0 \right) * \gamma_E$$

$$x_4 = \frac{\left(a + \frac{H}{10} + x_0 \right)}{2}$$



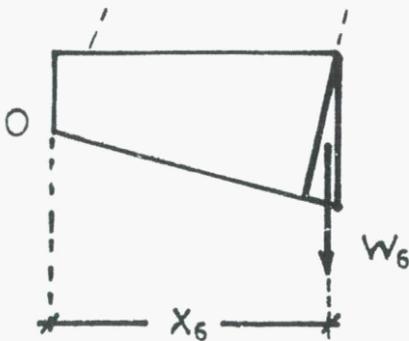
$$w_5 = \frac{2}{3} * \left(x_0 + a + \frac{H}{10} \right)$$

$$x_5 = \frac{\left[x_0 + a + \frac{H}{10} \right] * z}{2} * \gamma_E$$



$$w_6 = \frac{(1+z)^2 * \text{tg}(\alpha)}{2} * \gamma_E$$

$$x_6 = \left(x_0 + a + \frac{H}{10} \right) - \frac{1}{3} (1+z) * \text{tg}(\alpha)$$



De donde el peso total del muro es:

$$W = w_1 + w_2 - w_3 + w_4 + w_5 - w_6$$

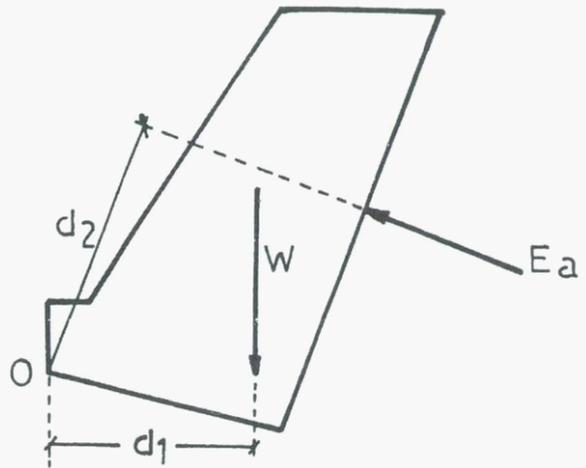
$$w_t = 0,31622 * w$$

$$w_n = 0,94868 * w$$

El coeficiente de seguridad al deslizamiento vendrá dado por la expresión:

$$F_d = \frac{(E_n + W_n) \text{tg} \phi_{tz}}{E_t - W_t}$$

*** Coeficiente de seguridad al vuelco**

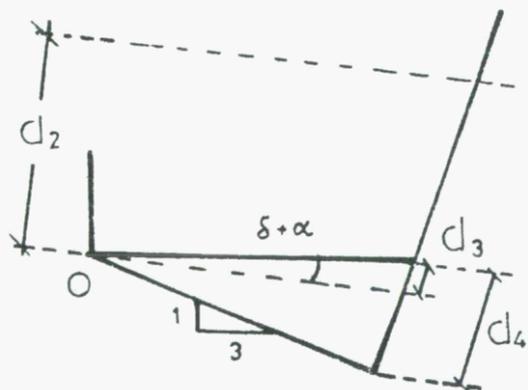


Se desprecia el momento estabilizador que produce el empuje pasivo de la excavación de la zapata.

$$d_2 = \left[\frac{h+1+z}{3 \cos \alpha} - d_3 - d_4 \right] * \cos \delta$$

$$d_3 = \frac{\text{sen}(\delta + \alpha) * \left[a + \frac{(H+1)}{10} \right]}{\text{sen}(90 - \alpha - |\delta + \alpha|)}$$

$$d_4 = \frac{0,316226 * \left[a + \frac{(H+1)}{10} \right]}{\text{sen}(71,5651 - \alpha)}$$



Momento volcador:

$$M_v = E_a * d_2$$

Momento estabilizador:

$$M_e = w * d_i \Rightarrow$$

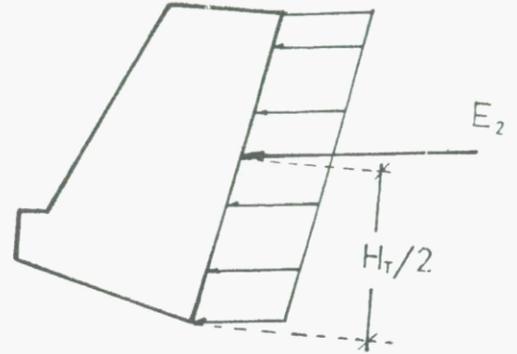
$$M_e = (w_1 * x_1) + (w_2 * x_2) - (w_3 * x_3) + (w_4 * x_4) + (w_5 * x_5) - (w_6 * x_6)$$

El coeficiente de seguridad al vuelco vendrá dado por la expresión:

$$F_v = \frac{M_e}{M_v}$$

El empuje debido a la sobrecarga " P " será:

$$E_2 = K_a * p * \frac{\cos \alpha * \cos \beta}{\cos (\alpha + \beta)} * H_t$$



En este caso, al ser $\beta=0$ implica que $E_2=K_a * p * H_t$

El empuje total sobre el trasdós será: $E_a = E_1 + E_2$

El punto de aplicación de E_a será:

$$Y_{a1} = \frac{H + l + z}{3}$$

$$Y_{a2} = \frac{H + l + z}{2}$$

$$Y_a = \frac{(E_1 * Y_{a1}) + (E_2 * Y_{a2})}{E_a}$$

En este caso al calcular el coeficiente de seguridad al vuelco tendremos:

$$d_2 = \left[\frac{Y_a}{\cos \alpha} - d_3 - d_4 \right] * \cos \delta$$

De acuerdo a todo este planteamiento teórico, se ha creado un programa de ordenador que calcula los dos coeficientes de seguridad, y que nos posibilita el dibujo de los ábacos para el cálculo de los diferentes tipos de muros.

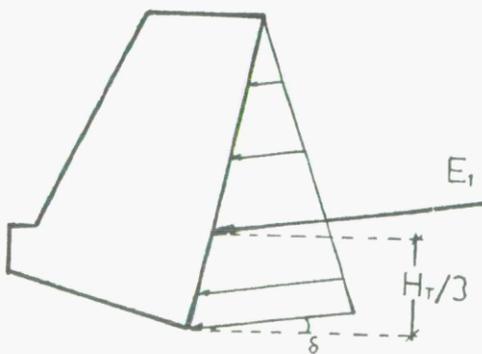
MUROS DE SOSTENIMIENTO

Para el estudio de los muros de sostenimiento consideraremos un terreno horizontal ($\beta=0$), con una sobrecarga indefinida, $P = 30 \text{ kN/m}$ (3000 kg/m).

La geometría de los muros a estudiar es similar a la de los muros de contención, por lo que los coeficientes de seguridad se calculan de la misma forma, teniendo en cuenta los nuevos parámetros introducidos.

Empujes activos:

$$E_1 = \frac{1}{2} K_a * \gamma_t (H_t)^2$$



Bibliografía

J. A. Jiménez Salas, J. L. De Justo Alpañes, A. A. Serrano González. "Geotecnia y Cimientos II. Mecánica del Suelo y de las Rocas". Editorial Rueda. Madrid.

Barton. Int J. Roch Mech. Min. Scvi Geomech. Abstr. Vol. 13, pp. 255-279. pergamon Press 1.976. Printed in Great Britain.

Simposio sobre terraplenes y pedraplenes y otros rellenos. A.I.P.C.R. Madrid. 1.986.

Enrique Castillo. Universidad de Cantabria. 1.975

Rafael Arroyo. "Generalización del método de Bishop a terrenos anisótropos y con resistencia variable". Universidad de Cantabria. Junio de 1.986.

"Inventario de Muros de Escollera. 1.990". Ministerio de Fomento- Universidad de Cantabria.

"Estudio de la caracterización geomecánica de Muros de Escollera en Obras de Carretera". Ministerio de Fomento - Universidad de Cantabria.1.990

"Construcción de Muros de Escollera en la Carretera de San Andrés de Luenta". Manuel Simancas. Rafael Ferrer. Universidad de Cantabria. 1.991.

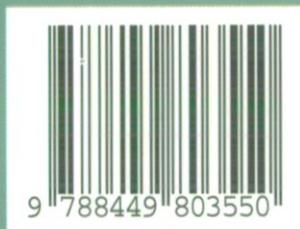
Simbología

a	Ancho del muro en coronación.
E_a	Empuje activo.
e_a	Empuje activo unitario.
F	Coefficiente de seguridad.
F_v	Coefficiente de seguridad al vuelco.
F_d	Coefficiente de seguridad al deslizamiento.
i	Angulo de rozamiento debido a las diaclasas.
K_a	Coefficiente de empuje activo.
M_v	Momento volcador.
M_e	Momento estabilizador.
P	Sobrecarga indefinida.
W	Peso.
Z	Profundidad medida desde la coronación del muro.
α	Angulo del trasdós del muro.
β	Angulo del talud del terreno sobre el muro.
τ	Tensión tangencial.
γ_E	Densidad de la escollera.
γ_t	Densidad del terreno.
σ	Tensión normal.
σ'_n	Tensión efectiva.
σ_c	Resistencia a compresión.
φ_b	Angulo de rozamiento.
φ_E	Angulo de rozamiento de la escollera.
φ_{TZ}	Angulo de rozamiento Terreno-Zapata.
φ_T	Angulo de rozamiento del Terreno.
δ	Angulo de rozamiento Terreno- Trasdós.





Ministerio de Fomento
Centro de Publicaciones



P.V.P.: 700 ptas.
(I.V.A. incluido)