



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN

Dr. Jorge E. Alva Hurtado

MUROS DE CONTENCIÓN

USO DE MUROS DE CONTENCIÓN

CLASIFICACIÓN

DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN

 Información General

 Condiciones de Terreno

 Cargas

DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD

DISEÑO DE MUROS CANTILEVER

DISEÑO DE MUROS CON CONTRAFUERTES

ESTABILIDAD DE MUROS DE CONTENCIÓN

DRENAJE

INTRODUCCIÓN

Los muros de contención son estructuras que proporcionan estabilidad al terreno natural u otro material cuando se modifica su talud natural. Se utiliza como soporte de rellenos, productos mineros y agua.

Los tipos de muros de contención son:

Gravedad, utiliza su propio peso para estabilidad

Cantilever, de concreto reforzado, utiliza la acción de cantilever, para retener el suelo

Contrafuerte, similar a cantilever, pero cuando el muro es alto o existen altas presiones de tierra. El contrafuerte está sujeto a tensión

Apoyado, similar a contrafuerte, con apoyo en la parte delantera, trabaja a compresión

Entramado, constituido por elementos prefabricados de concreto, metal o madera

Semigravedad, muros intermedios entre gravedad y cantilever

Los estribos de puentes son muros de contención con alas de extensión para sostener el relleno y proteger la erosión

Los muros de contención deben ser diseñados para resistir el volteo, deslizamiento y ser adecuados estructuralmente.

La terminología utilizada es:

Relleno

Cuerpo

Base o cimentación

Pie de base

Talón de base

Llave

Inclinación de muro

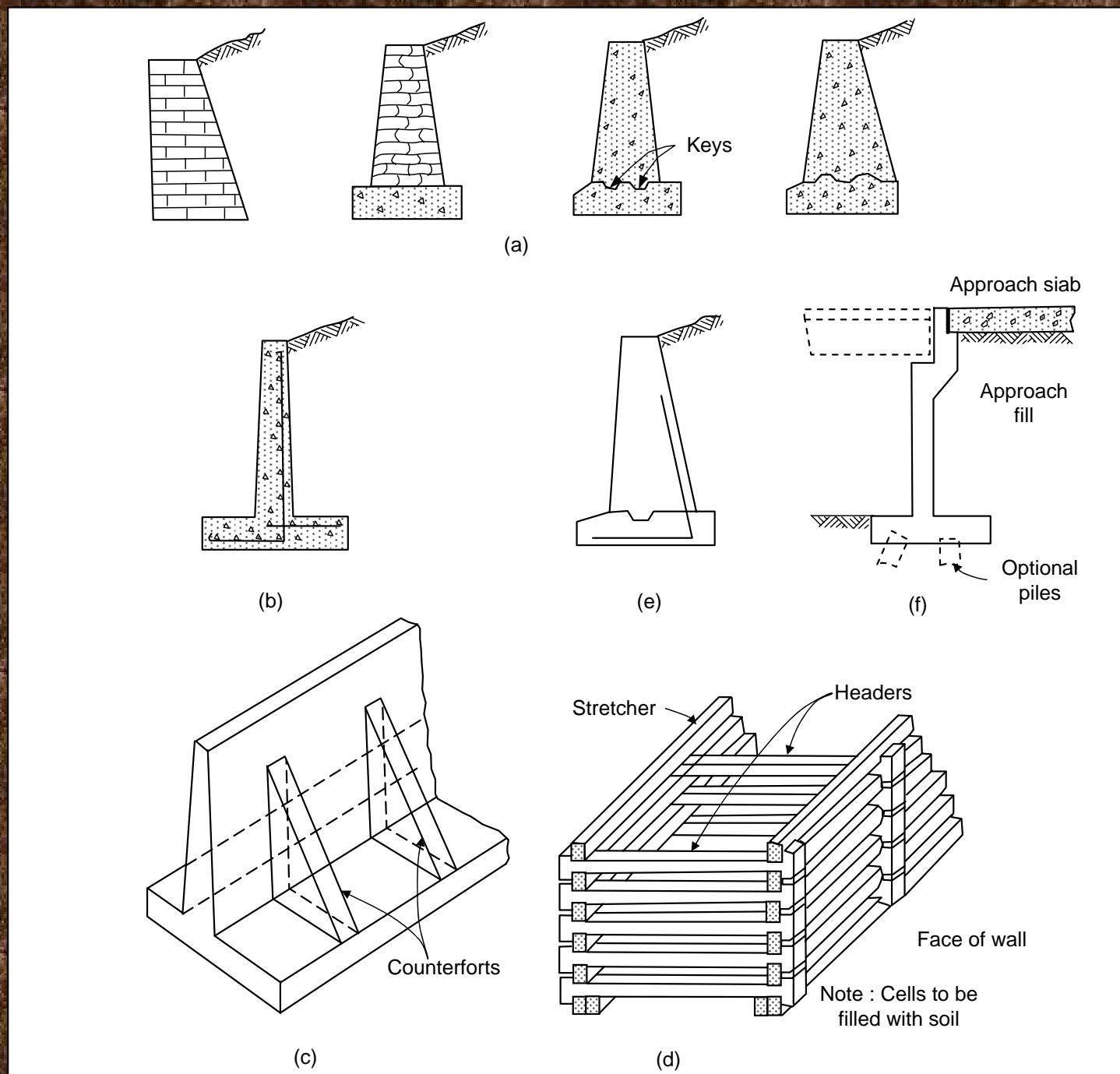


Figure 12-1 Types of retaining walls. (a) gravity walls of stone masonry, brick or plain concrete. Weight provides overturning and sliding stability; (b) cantilever wall; (c) counterfort, or buttressed wall. If backfill covers counterforts, the wall is termed a counterfort; (d) crib wall; (e) semigravity wall (small amount of steel reinforcement is used); (f) bridge abutment.

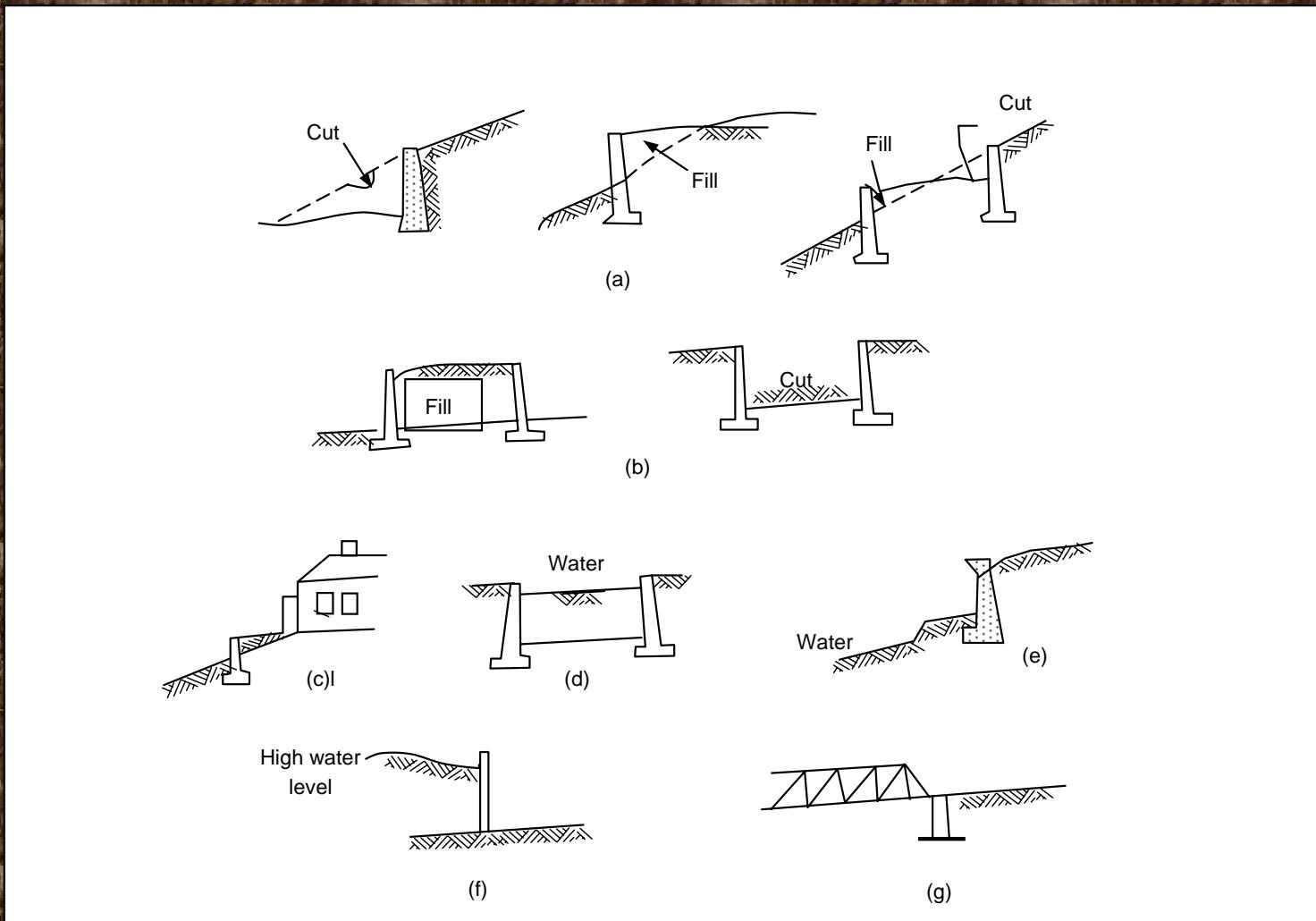


Figure 3.22 Common use of retaining wall : (a) Hill side roads
(b) Elevated and depressed roads, (c) Load scaping
(d) Canals and locks (e) Erosión protection (f) Flood walls
(g) Bridge abutment.

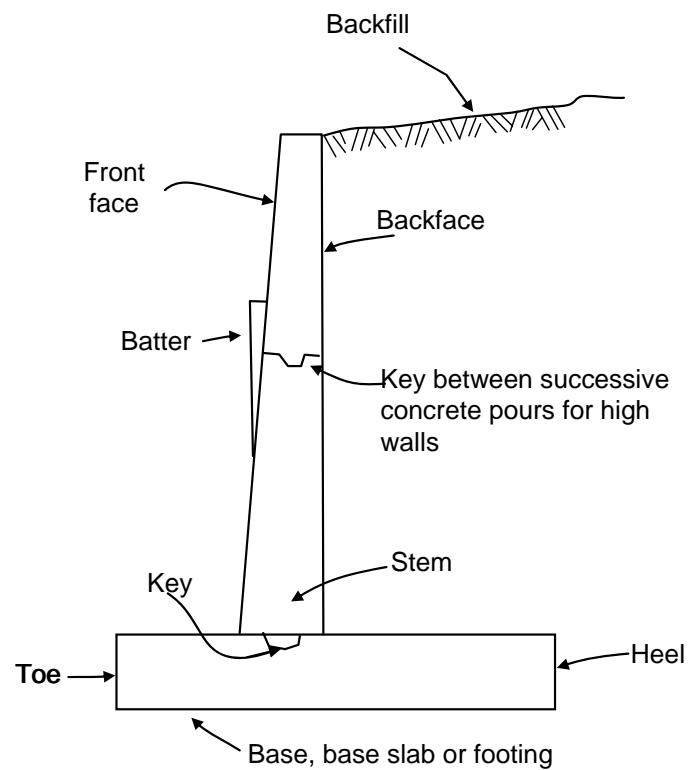


Figure 12-2 Principal terms used with retaining walls.

DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CONTENCIÓN

El diseño se inicia con la selección de dimensiones tentativas, las cuales se analizan por requerimientos de estabilidad y estructurales, revisándose luego las dimensiones. Este un proceso de iteraciones sucesivas, que se optimiza mediante programas de cómputo.

Muros Cantilever

Muros con Contrafuertes

Muros de Gravedad

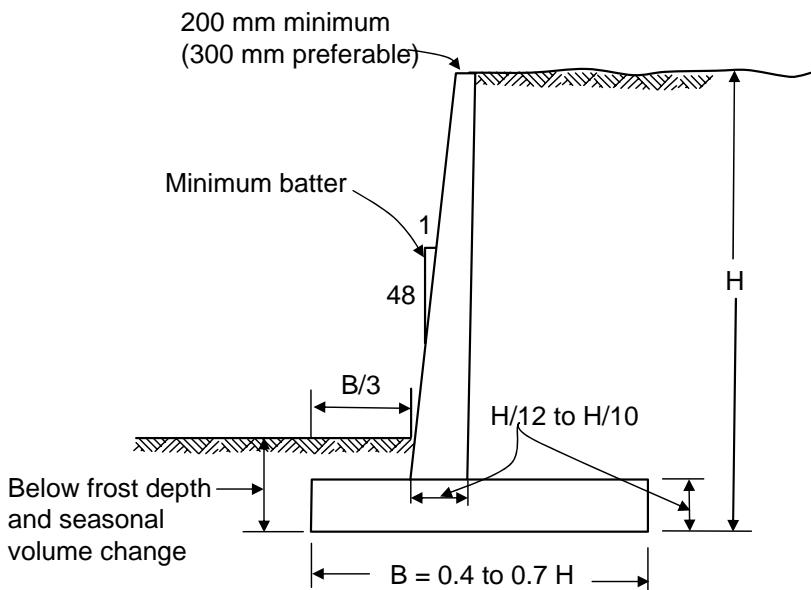


Figure 12-3 Tentative design dimensions for a cantilever retaining wall

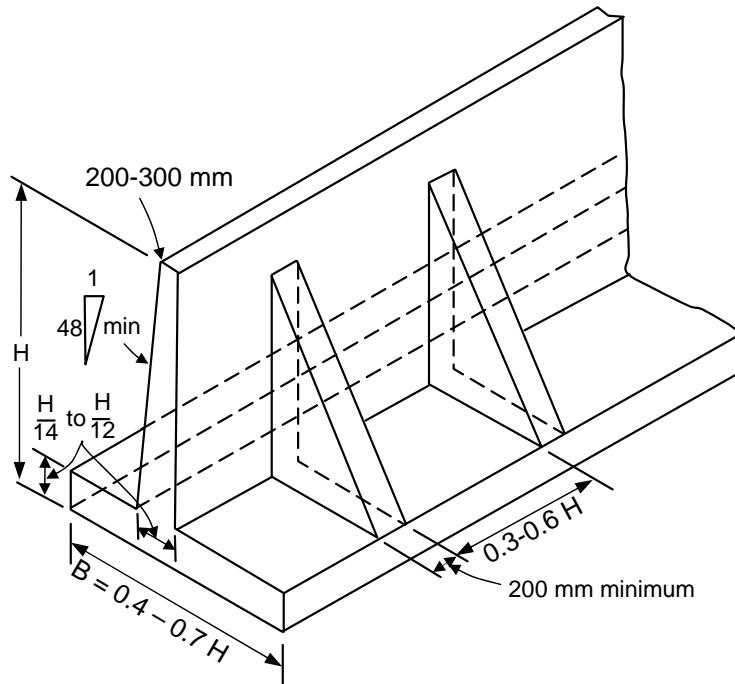


Figure 12-4 Tentative design dimensions for a counterfort retaining wall. Depth of base should be adequate for frost and below soils which undergo volume change. This wall may not be economical unless $H \geq 6$ to 7 m.

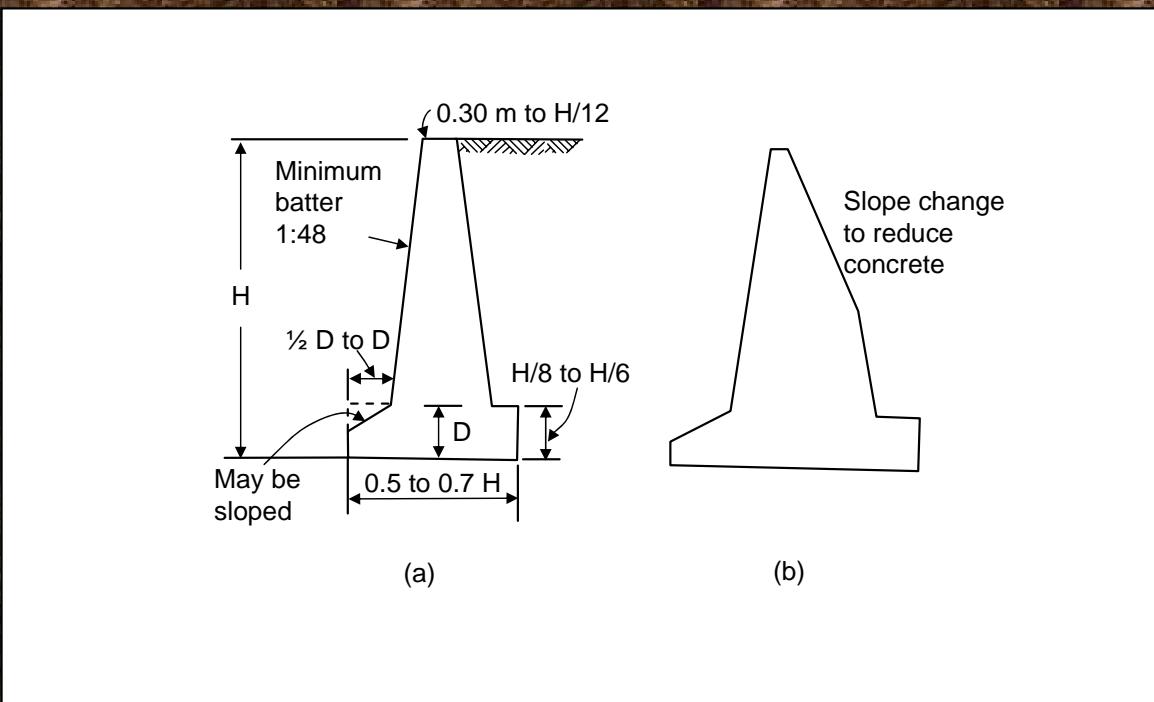


Figure 12-5 (a) Tentative dimensions for a gravity retaining wall; (b) broken-back retaining wall.

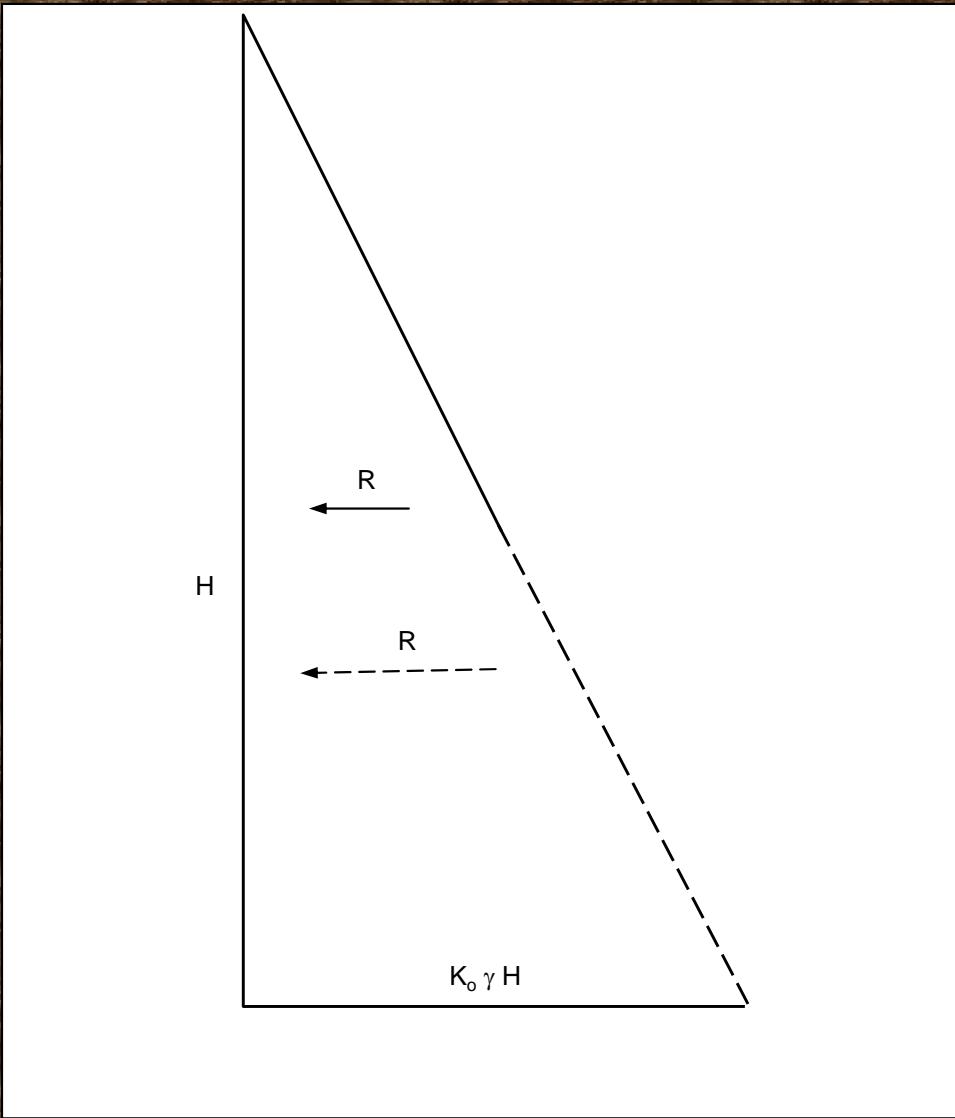


Figure 12-6 Pressure diagram for very rigid retaining walls. If some lateral movement can take place the resultant R can be placed at 1/3 point; with no movement place R at 1/2 point. Note use of K_o , not K_a .

ESTABILIDAD DE MUROS

Se debe proporcionar un adecuado factor de seguridad contra el deslizamiento. El empuje pasivo delante del muro puede omitirse si ocurrirá socavación.

Se puede utilizar llaves en la cimentación para aumentar la estabilidad . La mejor localización es en el talón.

$$FS_s = \frac{\text{suma de fuerzas resistentes}}{\text{suma de fuerzas actuantes}} \geq 1.5-2.0$$

$$FS_v = \frac{\text{suma de momentos resistentes}}{\text{suma de momentos actuantes}} \geq 1.5-2.0$$

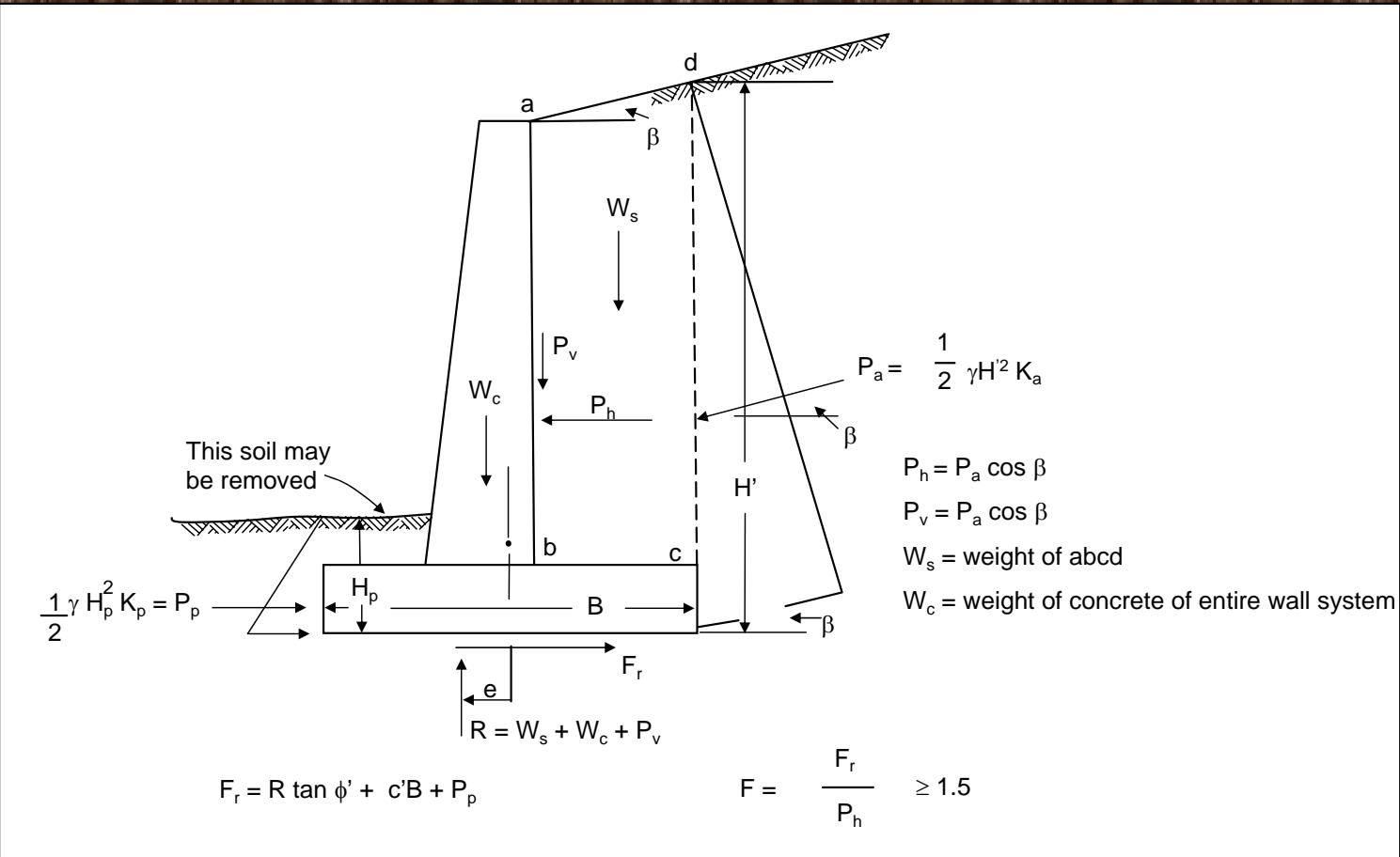


Figure 12-7 Forces involved in the sliding stability of a retaining wall.

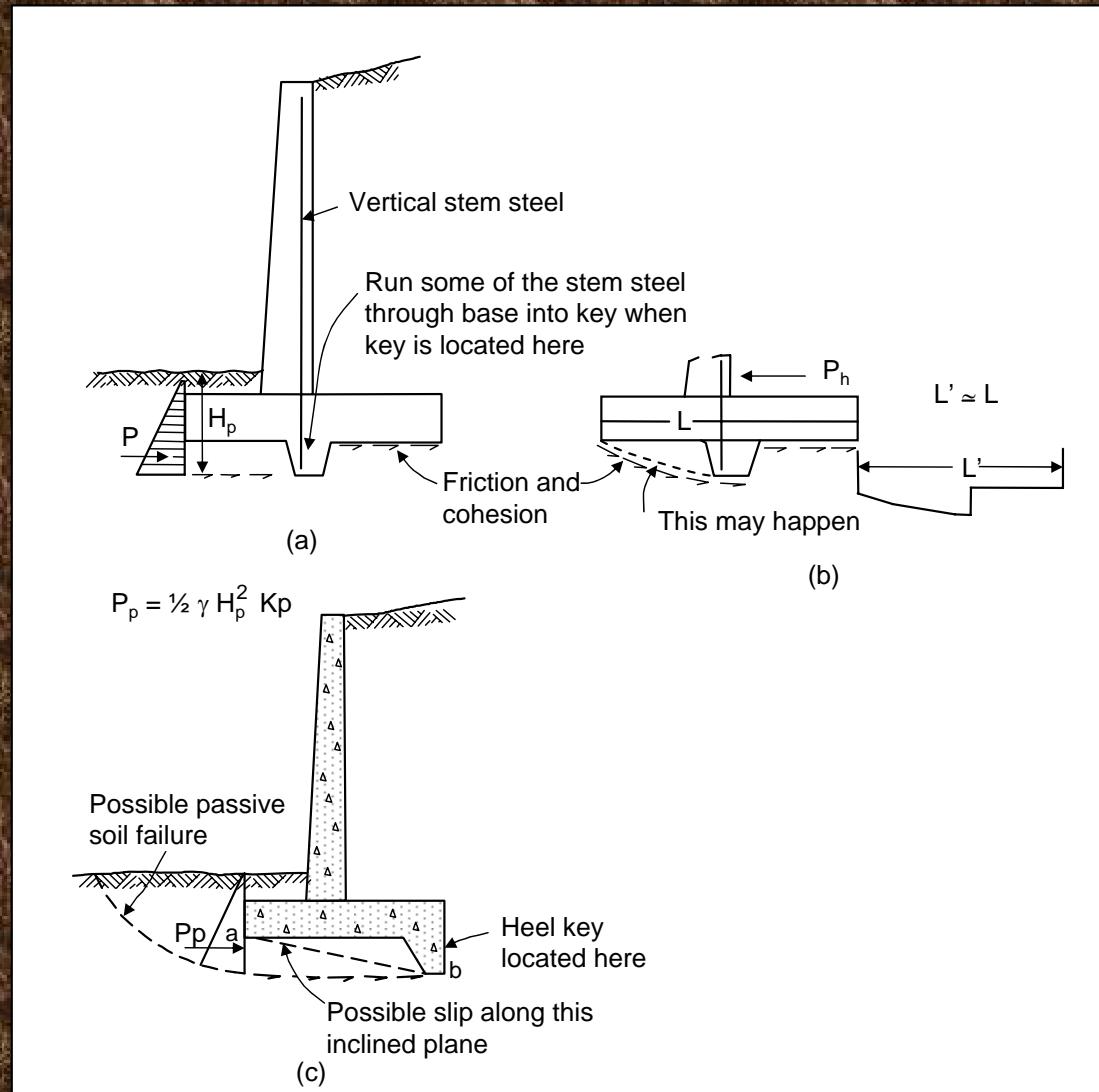


Figure 12-8 Stability against sliding using a base key . (a) Base key near stem so that stem steel may be run into the key; but (b) the sliding surface may develop as shown here where little aid is gained from using the key; (c) heel key which presents two possible modes of failure (passive and slip along the plane).

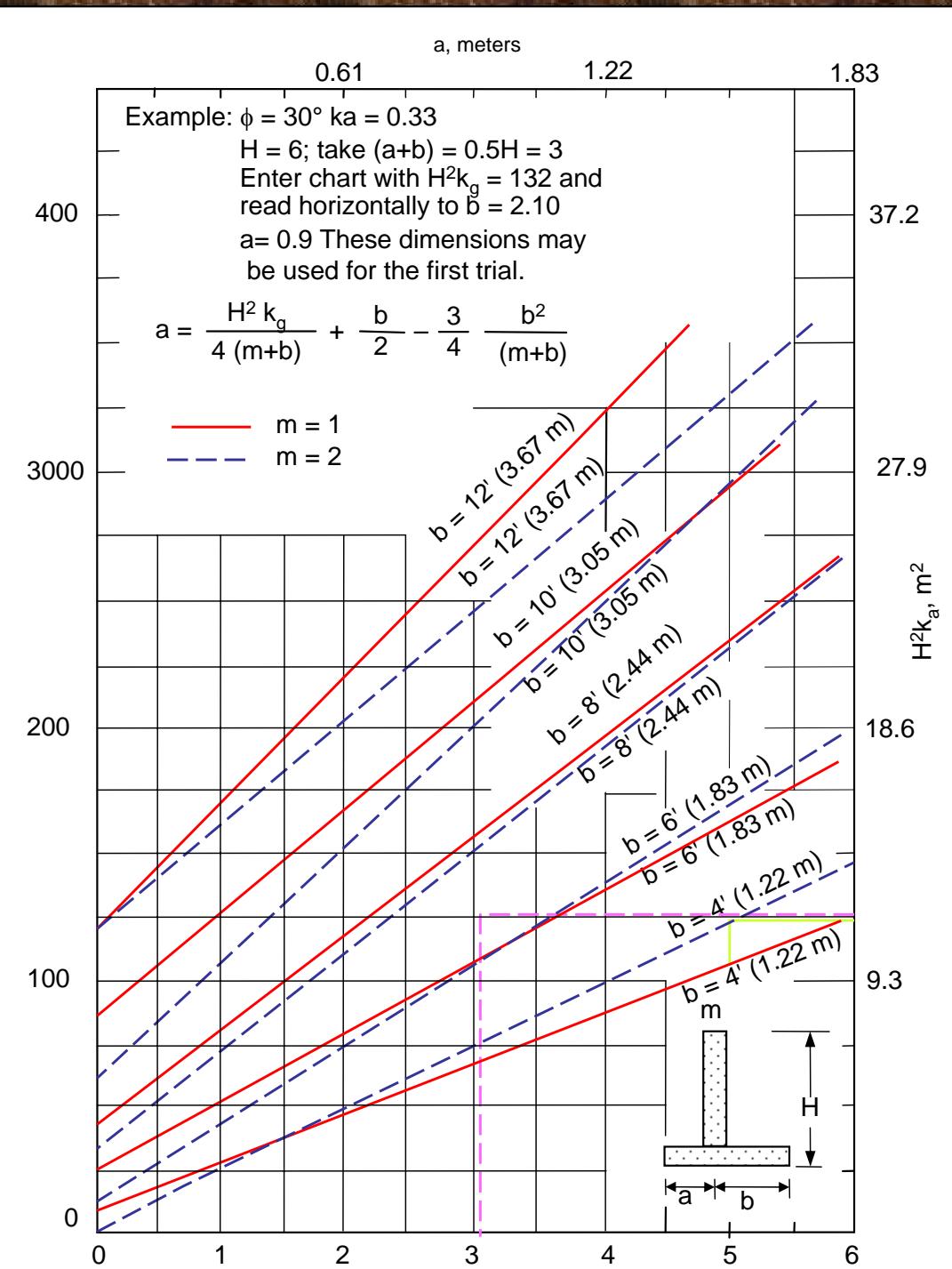


Fig. 3.29 Chart for determining approximate dimension 'a' and 'b' for the base slab, so that the resultant will fall inside the middle third (Bowles, 1968)

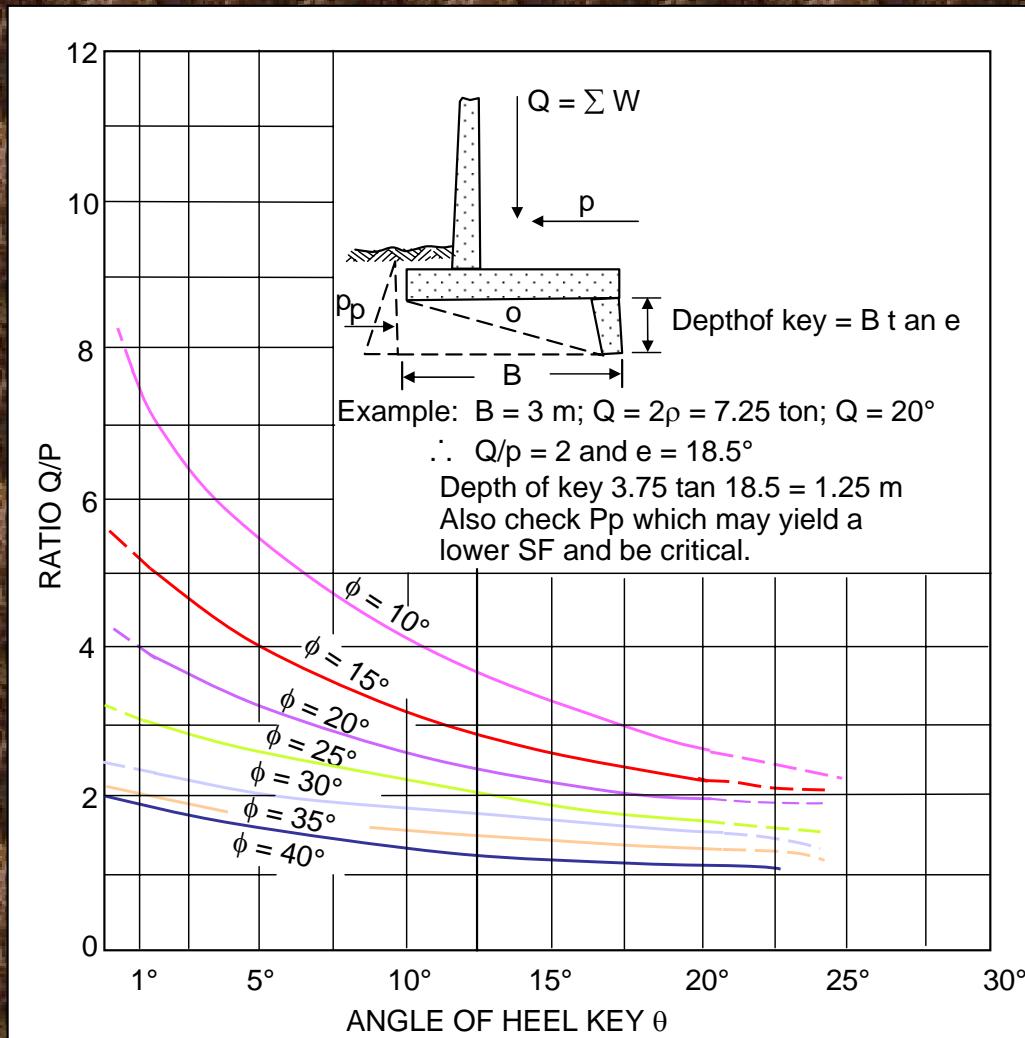


Fig. 3.34 Chart to find the depth of heel key for a sliding factor of safety of 1.5. Curves not valid for $\theta = 0$ (Bowles, 1968)

FUERZAS EN EL MURO DE CONTENCIÓN

Para los muros de gravedad y cantilever se toman por ancho unitario. Para muros de contrafuerte se considera como unidad entre juntas o como unidad entre apoyos.

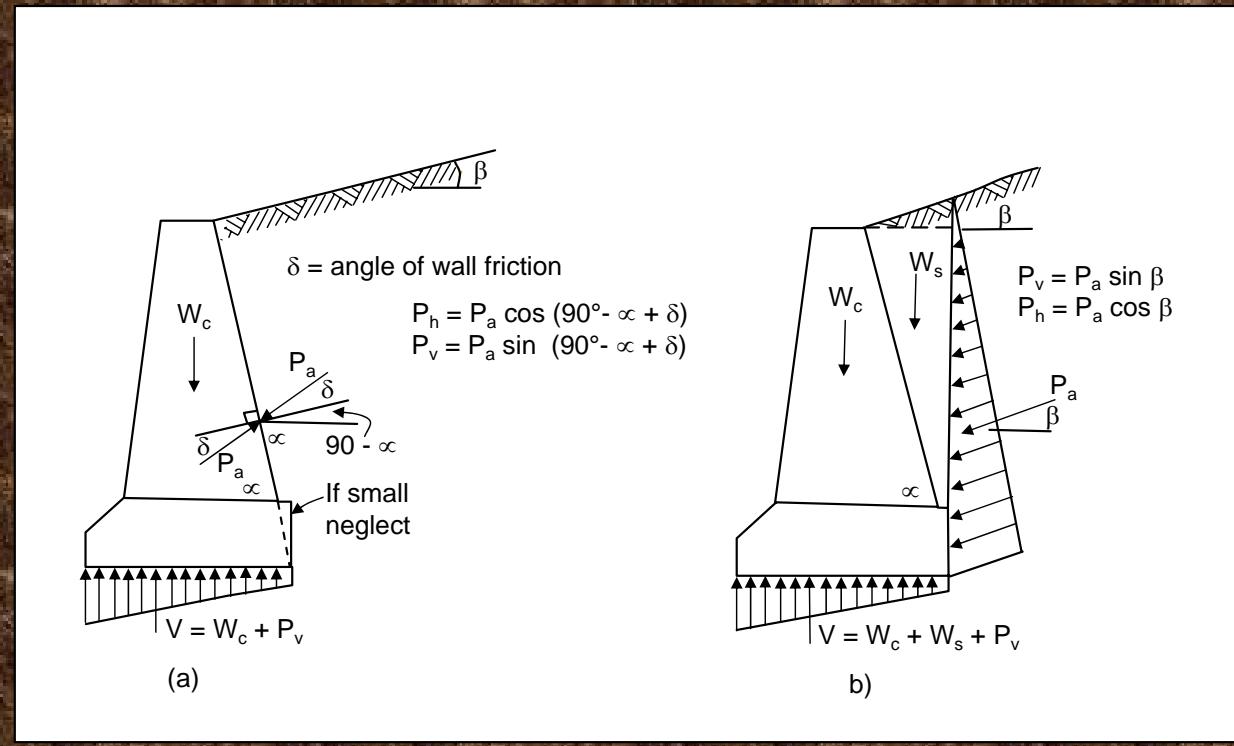


Figure 12-9 Forces on a gravity wall (a) Coulomb analysis; (b) Rankine analysis

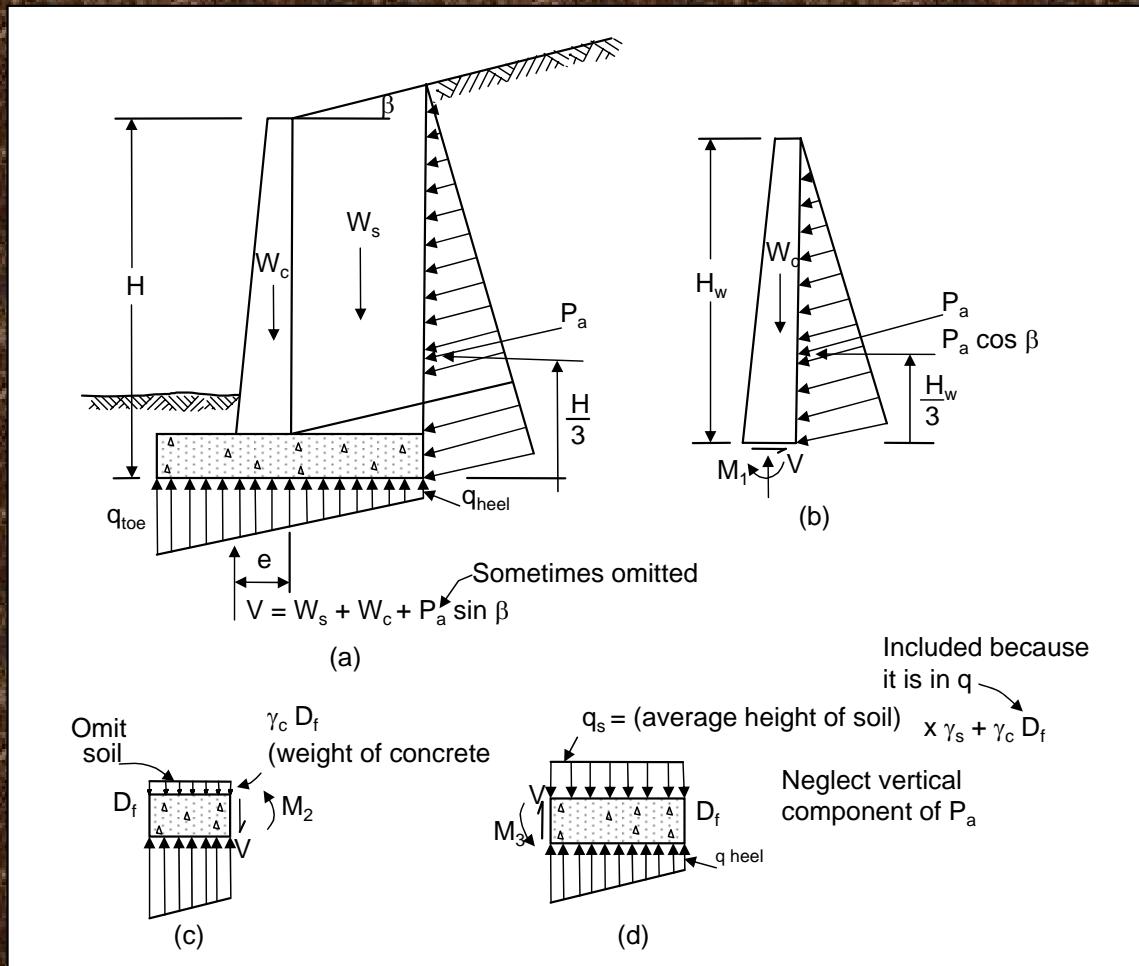


Figure 12-10 Forces on cantilever wall. (a) Entire unit; free bodies for; (b) stem; (c) toe; (d) heel. Note that $M_1 + M_2 + M_3 \approx 0.0$.

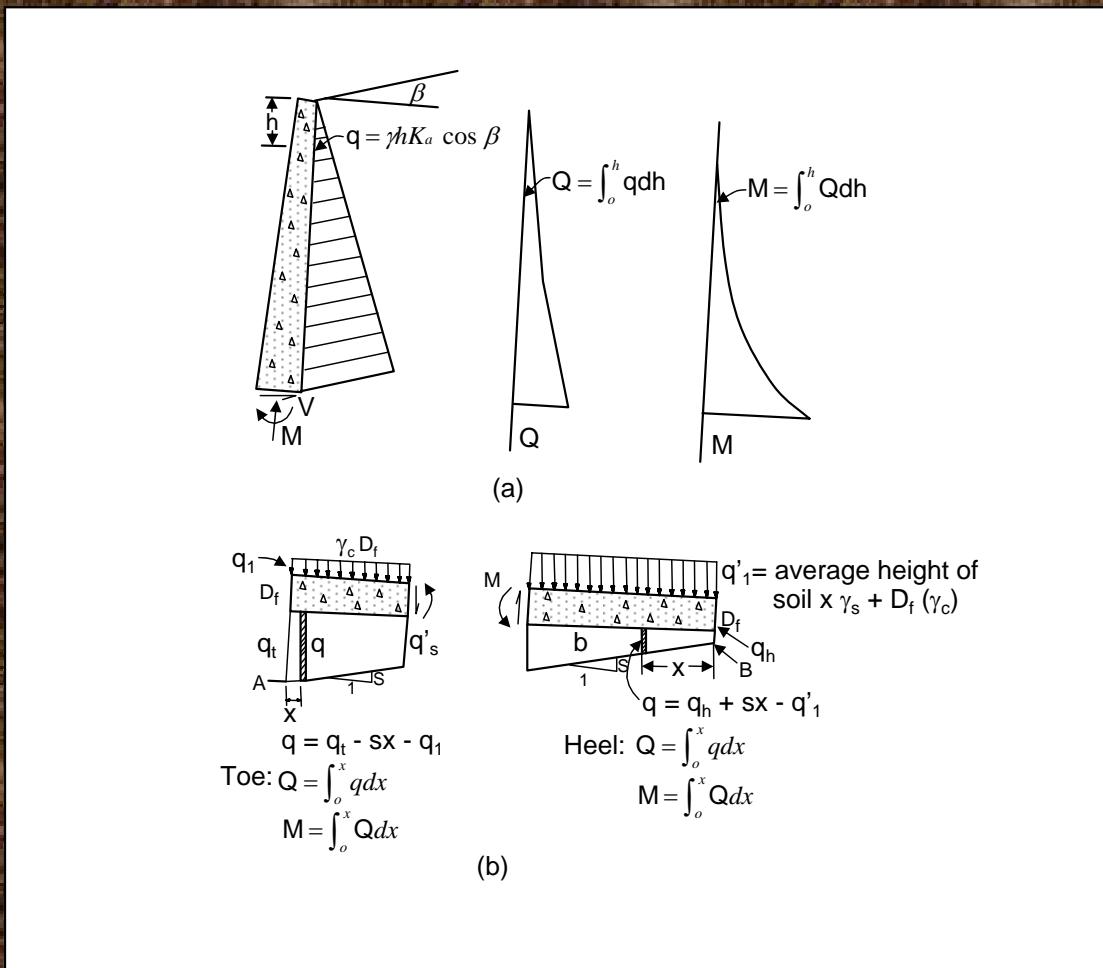


Figure 12-11 Cantilever retaining wall. (a) Stem shear and moments; (b) toe and heel shears and moments.

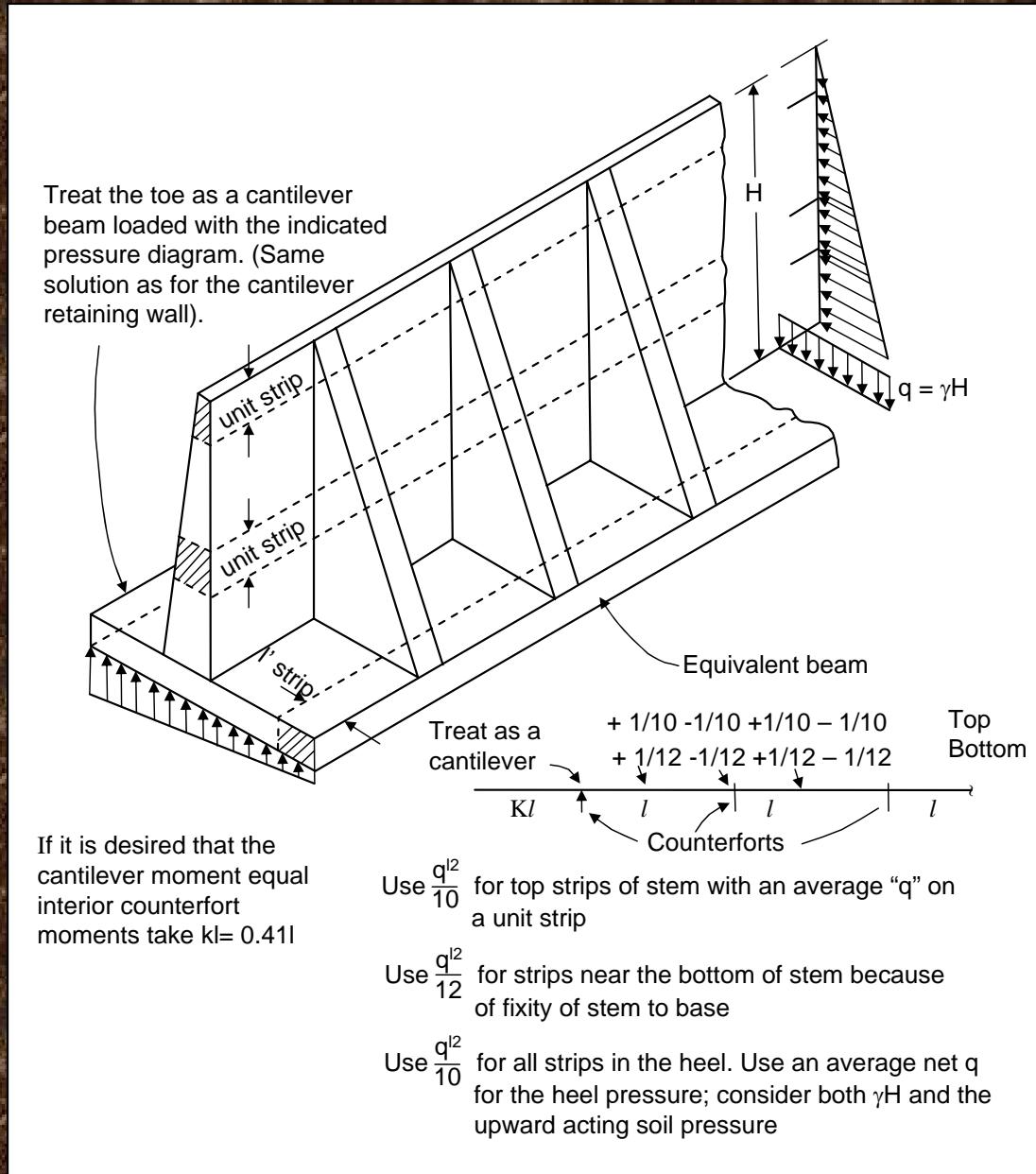


Figure 12-12 Reduction of the complex analysis of a counterfort retaining wall to a system of simple beams for rapid design.

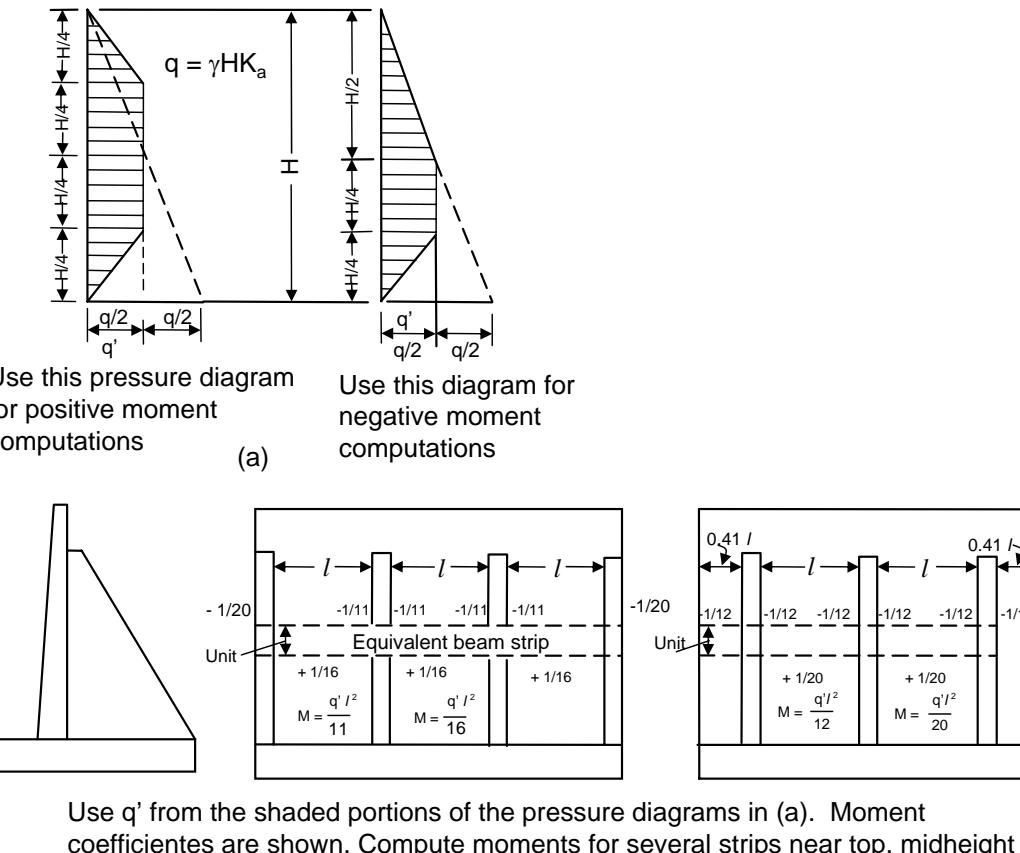


Figure 12-13 Computation of bending moments in the horizontal direction for the counterfort stem [After Huntington (1957)]

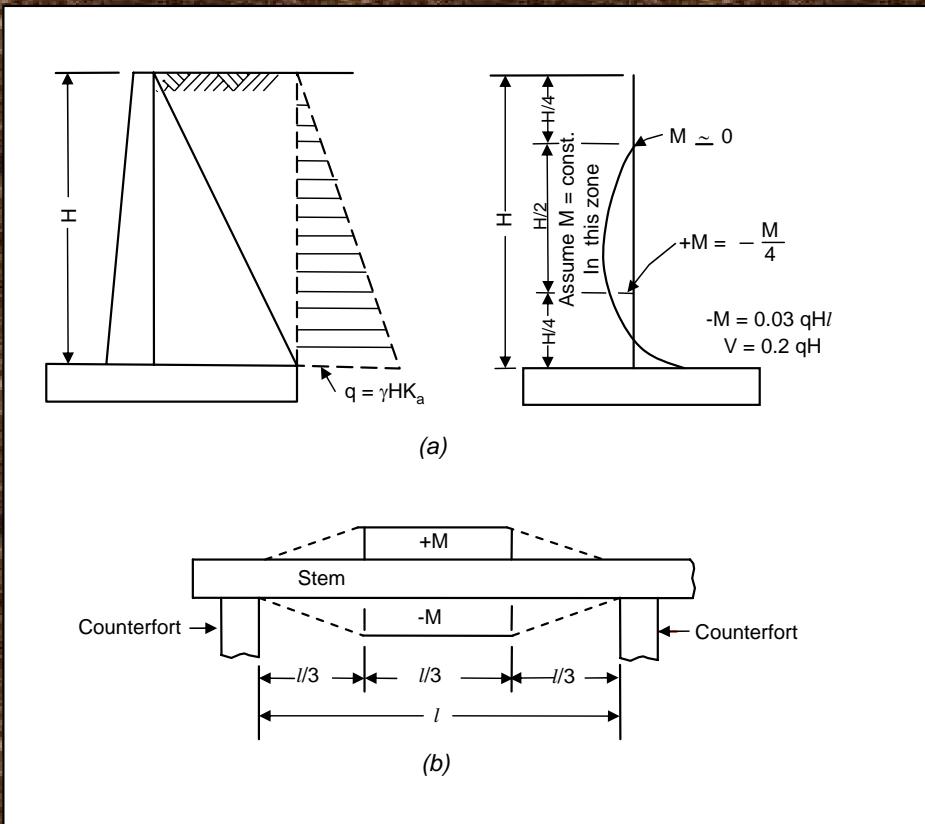
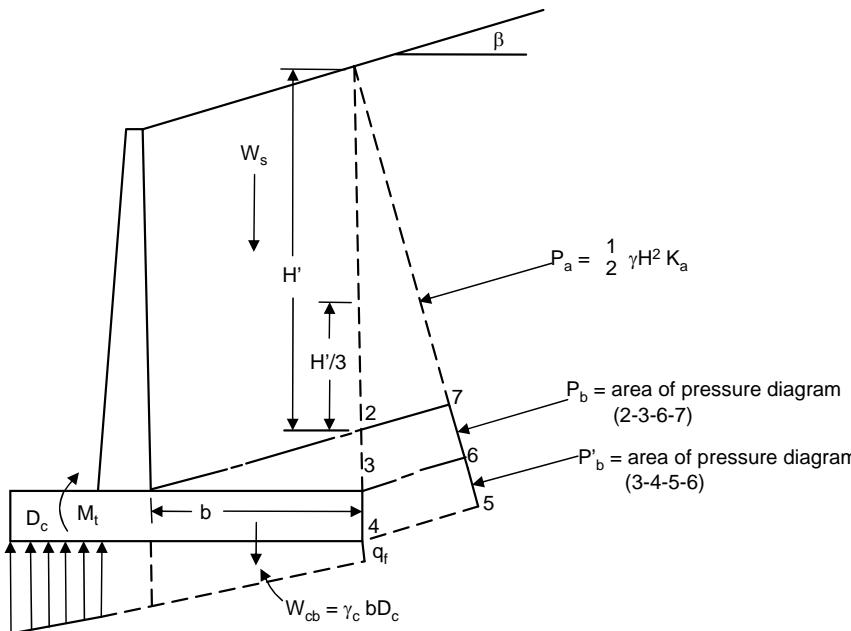


Figure 12-14 Distribution of vertical moments in a counterfort wall stem for Huntington's procedure. (a) Distribution of shear and moment vertically in stem; values should only be used if $H/l \leq 2$; (b) distribution of moment horizontally in stem. Assume that both positive and negative moments vary linearly as shown.



$$q_s = \frac{W_s + W_{cb}}{b}$$

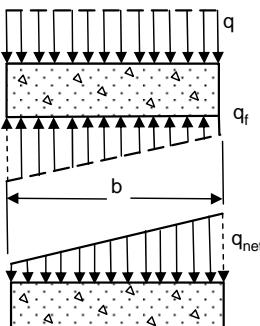
$$q_b = \frac{P_b \sin \beta}{b}$$

$$q'_b = \frac{P'_b \sin \beta}{b}$$

$$q = w'' + q_s + q_b + q'_b$$

$$q_{net} = q_s + q'_b + q_b + w'' - q_f$$

Since w'' , q_b , and q'_b are small the design will usually be sufficiently accurate to neglect these pressures.



The increase in heel pressure due to the toe moment is:

$$w' = \frac{2.4 M_t}{b^2} \quad W' = \frac{2}{3} w' b$$

M_t = toe moment value at front face of wall

Note that w' is parabolic but may be approximated as a uniform pressure w''

$$w'' = W'/b$$

Assume pressure q'_b , q_b , and q are constant and uniformly distributed across b .

If $\beta = 0$, there is only q and w'' to consider.

Figure 12-15 Forces on the heel slab of a counterfort wall as proposed by Huntington (1957)

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE

Se utiliza un adecuado factor de seguridad con la carga última, FS = 2.0 para suelo granular y FS=3.0 para suelo cohesivo

$$q_{ult} = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

i = factor de inclinación

V = fuerza vertical

d = factor de profundidad

Componente horizontal de P_a

$$B' = B - 2e$$

$$q = \frac{V}{A} \pm \frac{Vec}{I} \leq q_a \quad (e \leq L/6)$$

ASENTAMIENTOS

Los asentamientos en terreno granular se desarrollan durante la construcción del muro y el relleno.

Los asentamientos en terreno cohesivo se desarrollan con la teoría de consolidación.

La resultante debe mantenerse en el tercio central para mantener asentamiento uniforme y reducir la inclinación. La presión del terreno en el pie es el doble cuando la excentricidad de la resultante es $L/6$ como cuando la excentricidad es cero.

INCLINACIÓN

Se necesita cierta inclinación para desarrollar el estado activo.

Demasiada inclinación puede estar asociada a la falla de cimentación.

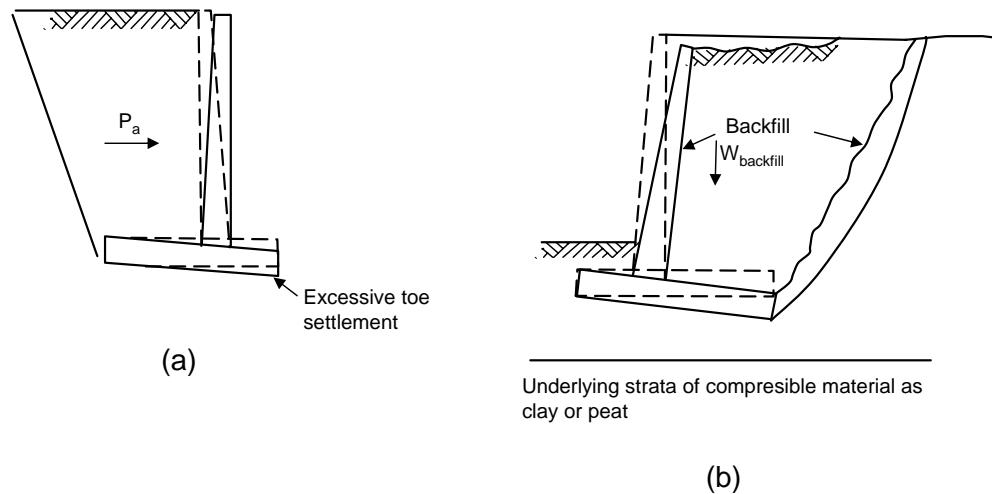


Figure 12-16 Settlement failures. (a) Excessive forward tilt due to a high toe pressure; (b) excessive settlement and tilt due to backfill. The latter is a common potential problem at bridge abutments caused by the approach fill

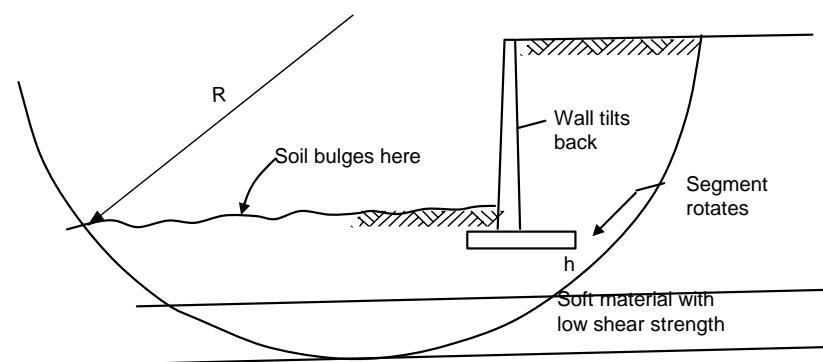


Figure 12-17 Soil shear failure. May be analyzed by the Swedish-circle method. A “shallow” failure occurs when base soil fails. A “deep” failure occurs if the poor soil stratum is underlying a better soil as in the figure.

DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD Y SEMIGRAVEDAD

- El primer paso es seleccionar las dimensiones
- Se calcula la presión lateral
- Se calcula la estabilidad del muro, sin considerar el empuje pasivo

FS_v

FS_s

- Se localiza la resultante en la base y la excentricidad
- Se calcula la presión actuante
- Se verifica los esfuerzos de corte y flexión en el pie
- Se verifica el esfuerzo de tracción a la mitad de la altura

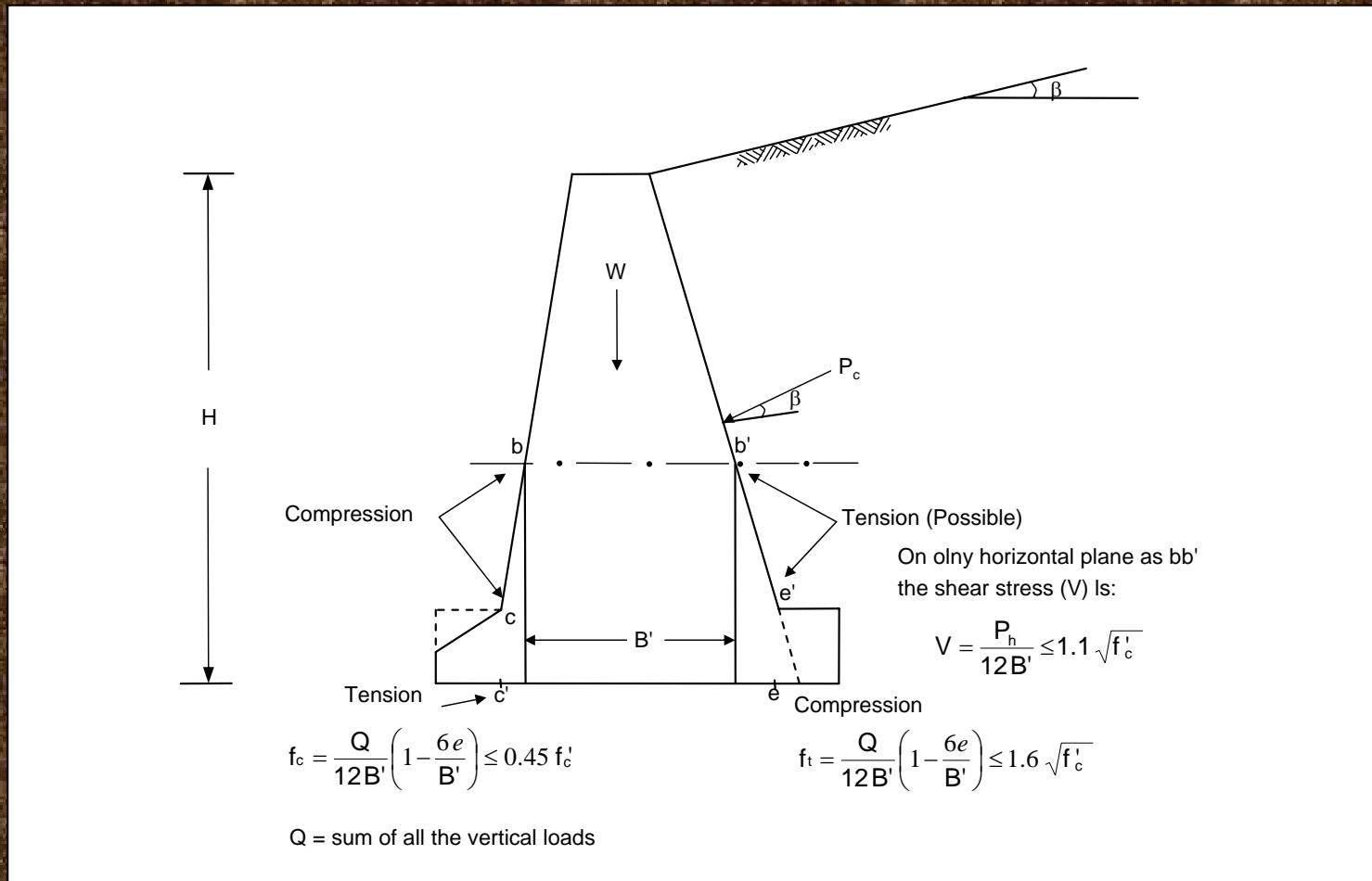


Figure 12-18 Design of a gravity retaining wall with critical points indicated.

JUNTAS EN MUROS

Juntas de Construcción

Juntas de Contracción

Juntas de Expansión

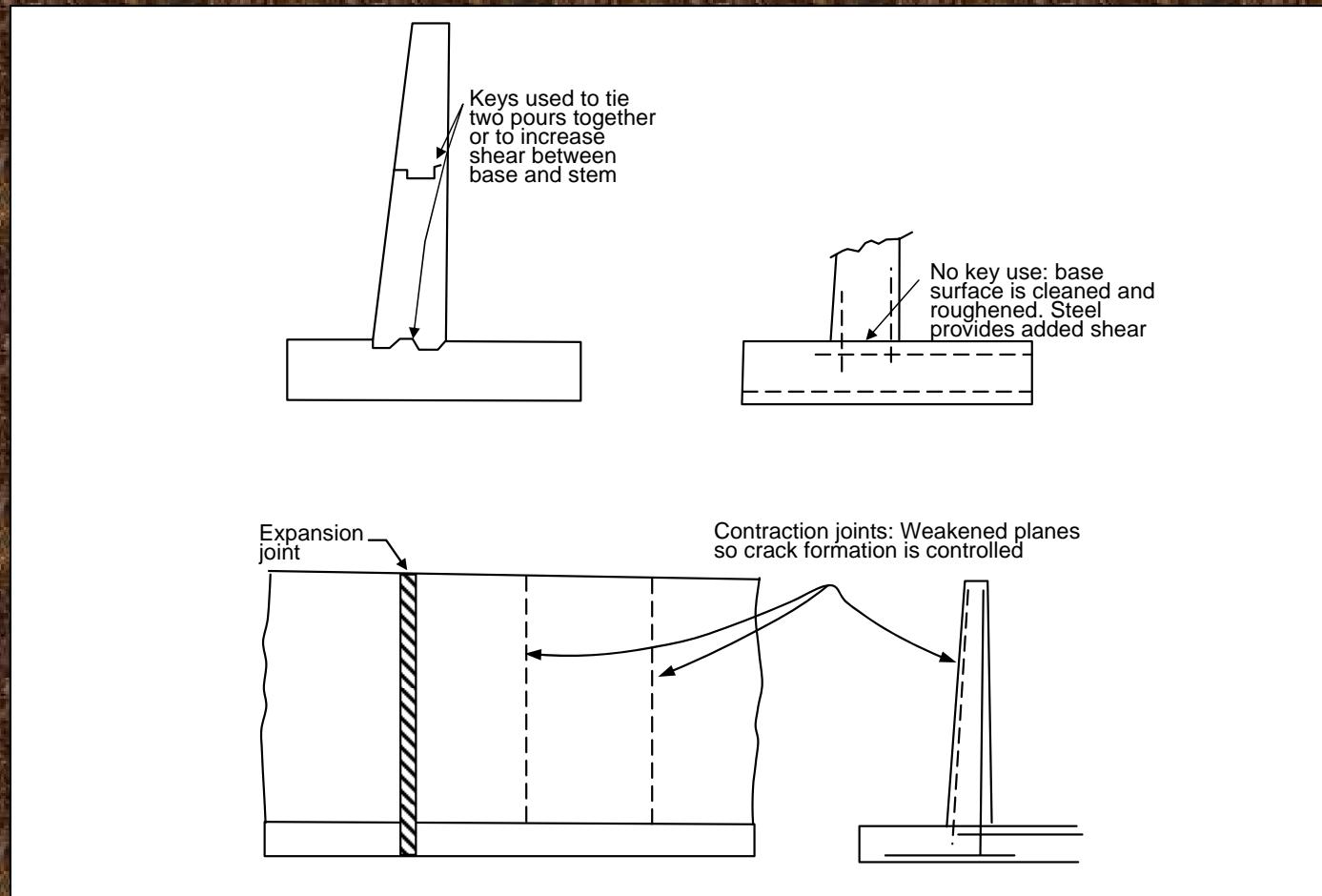


Fig. 12-19 Expansion and contraction joints

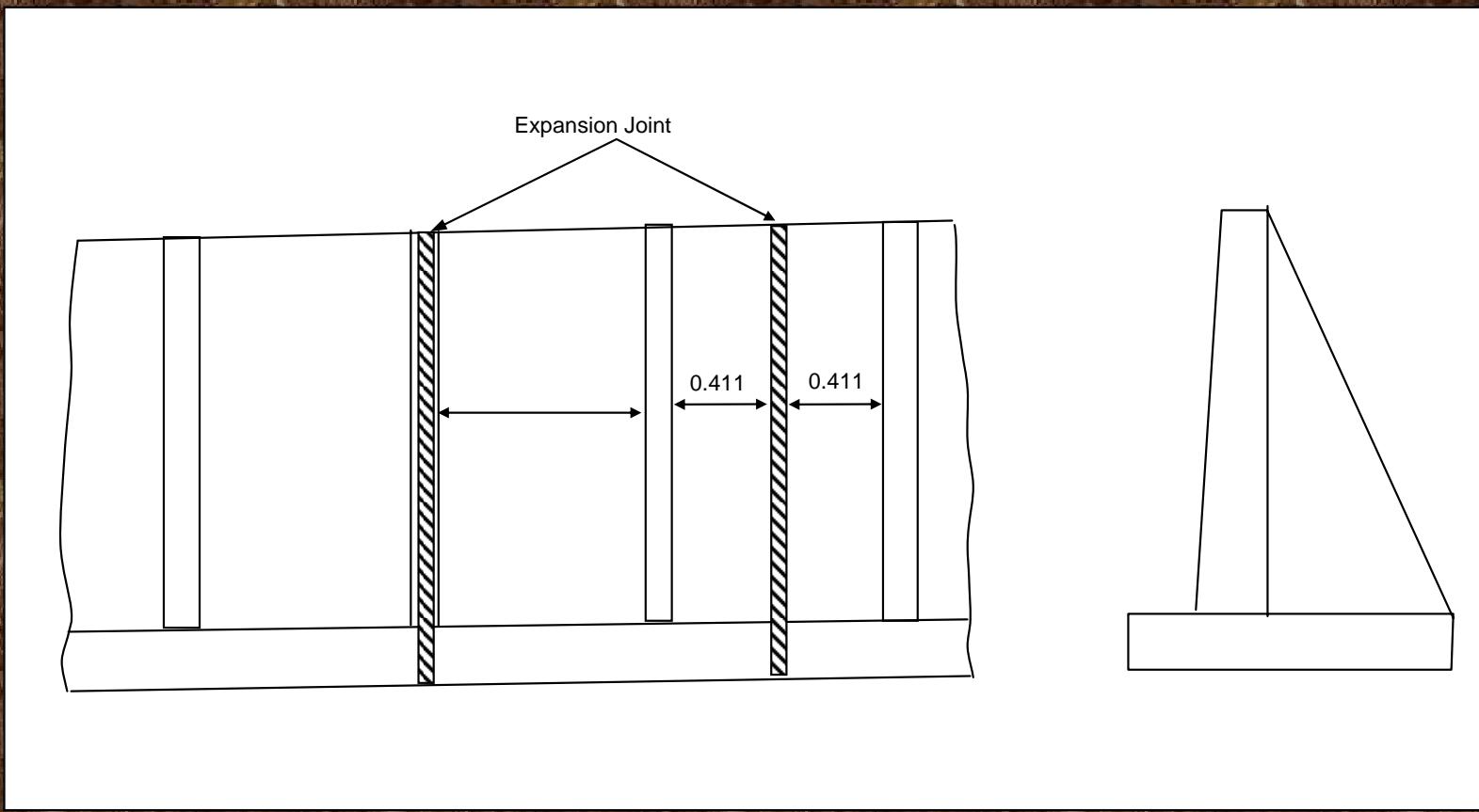


Fig. 3.45 Expansion joints in counterfort walls

DRENAJE

Lloraderos

Drenes longitudinales

Relleno granular

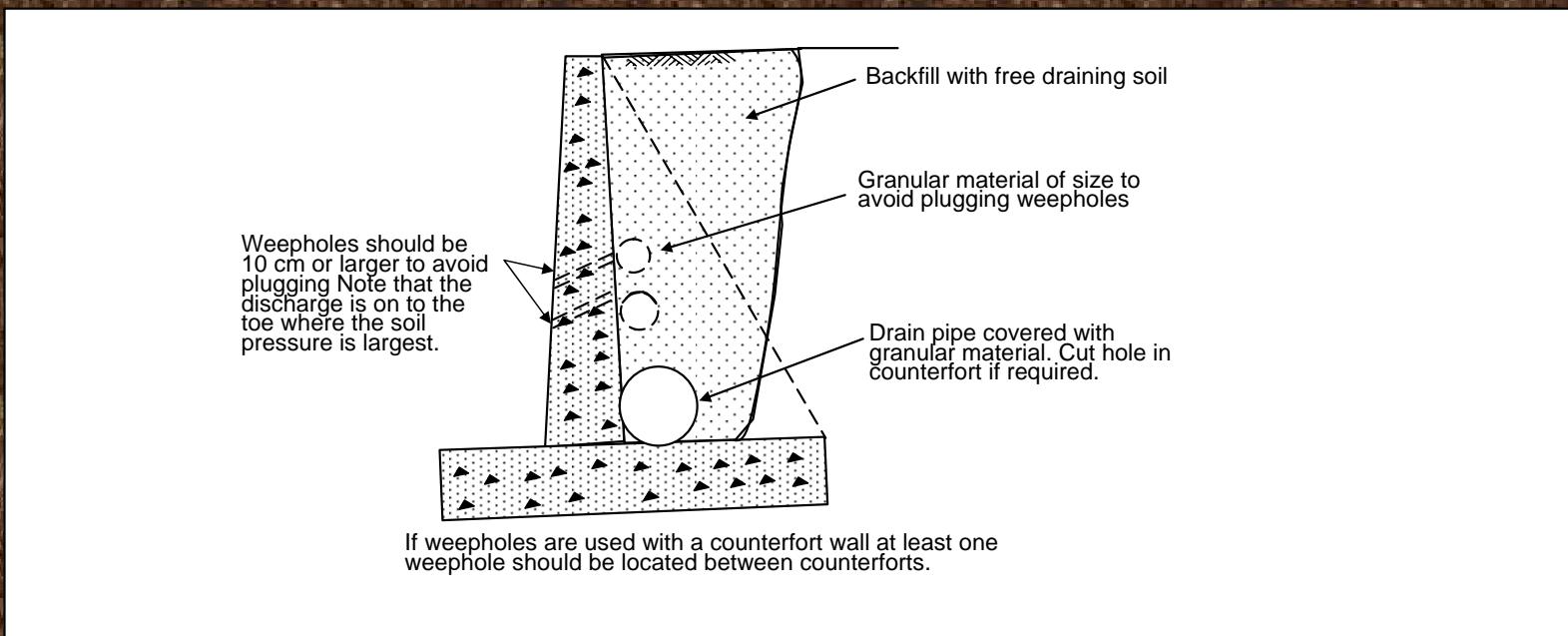


Fig. 12-20 Drainage of retaining walls

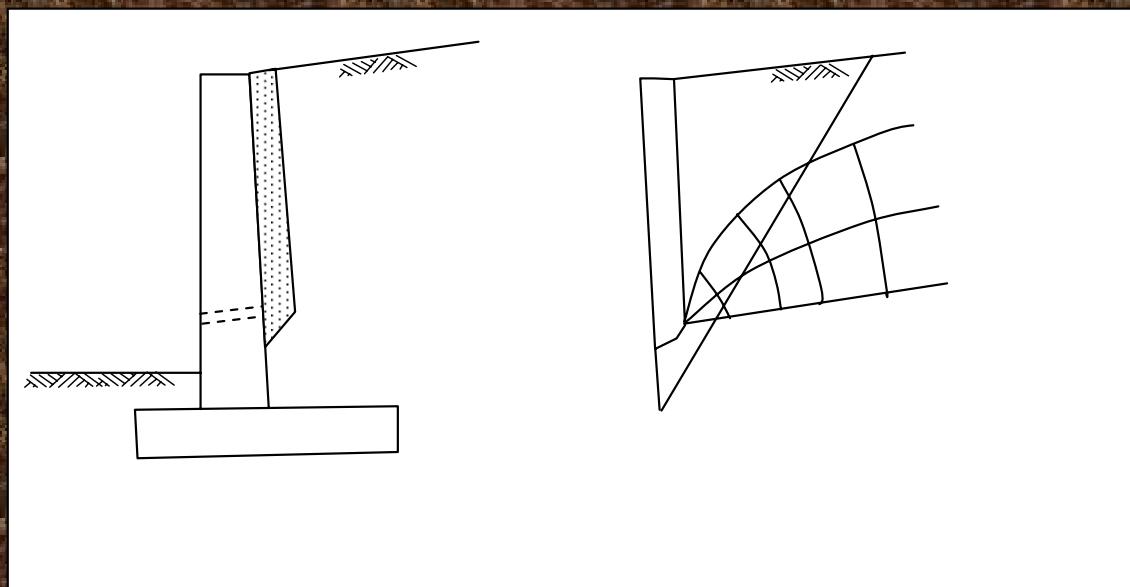


Fig. 3.47 Back drain

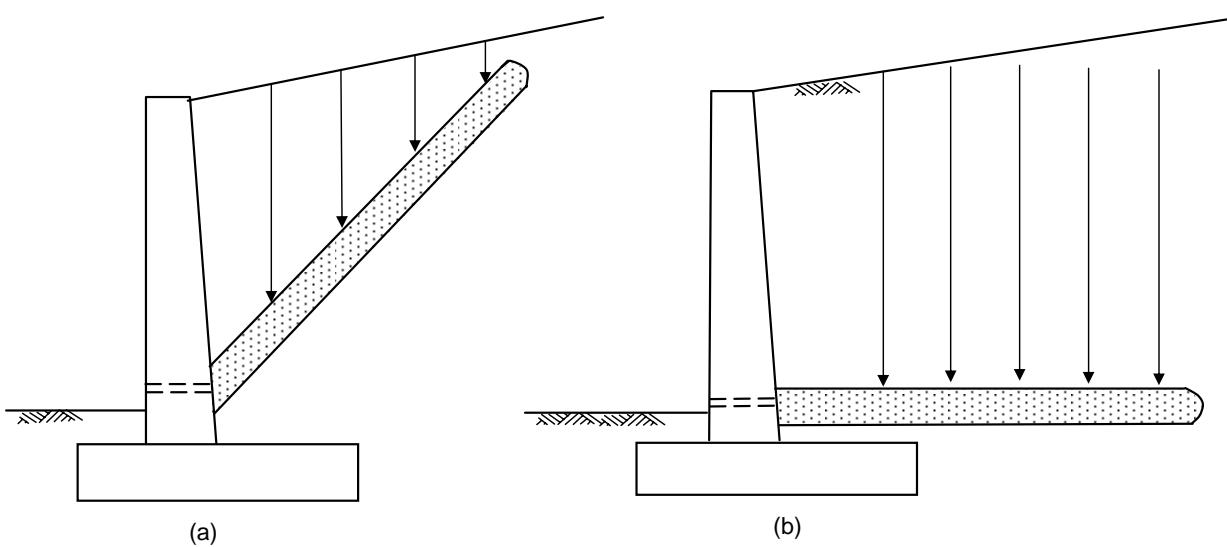


Fig. 3.48 (a) Inclined drain (b) Horizontal drain

ALAS DE ESTRIBO Y MUROS DE CONTENCIÓN DE ALTURA VARIABLE

ALA MONOLÍTICA, la junta debe diseñarse por corte, tracción y momento

$$Q = P_{ww} \cos \alpha \cos \alpha - \frac{P_{ab}}{2}$$

$$T = P_{ww} \operatorname{sen} \alpha$$

$$M = \frac{P_{ww} L_w}{2}$$

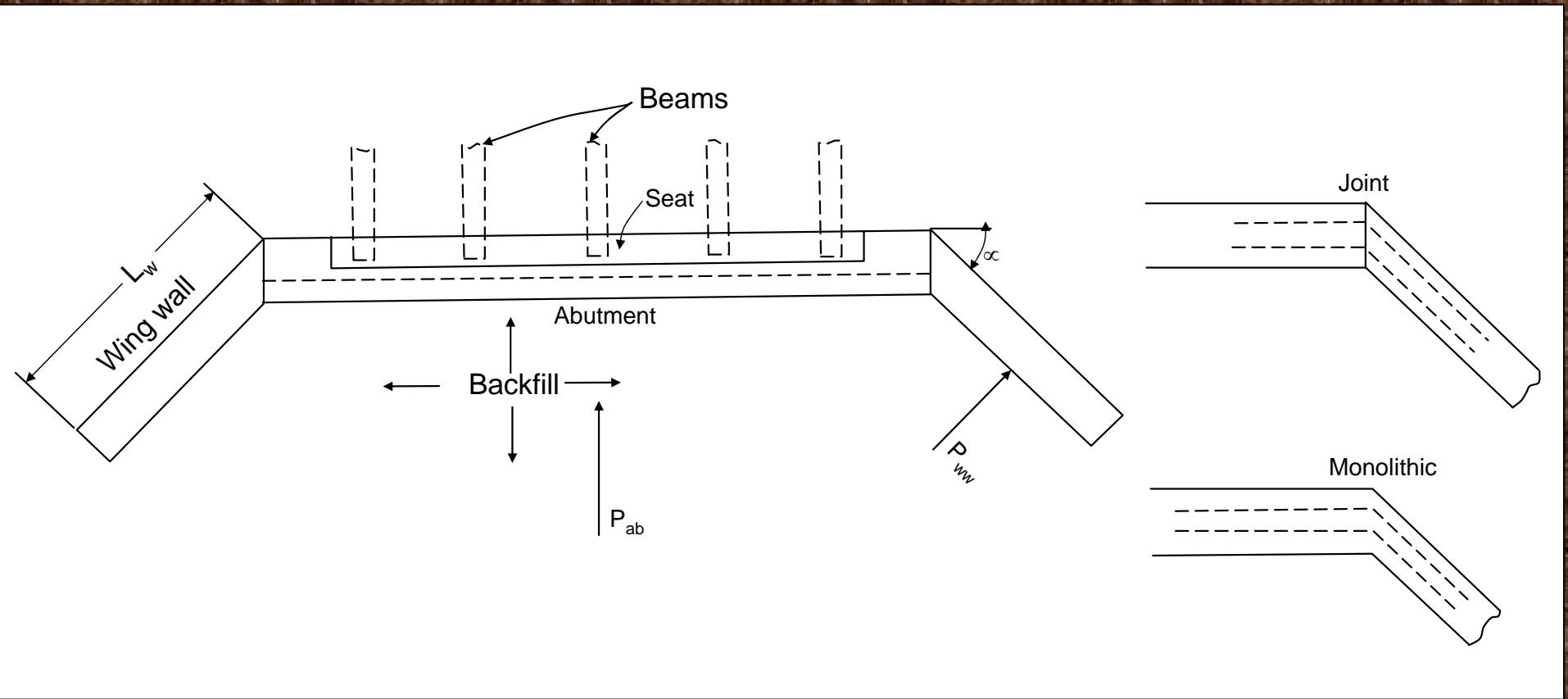


Figure 12-21 Bridge abutment and wing-wall earth pressure and methods of construction.

DISEÑO DE UN MURO CON CONTRAFUERTES

El diseño es similar al del muro en cantilever. Un diseño aproximado sería:

- 1) Dividir el cuerpo en varias zonas horizontales para obtener los momentos de flexión longitudinales. Use estos momentos para determinar el acero de refuerzo horizontal.
- 2) Dividir el cuerpo en varias franjas verticales, calcule los momentos verticales de flexión y el corte en la base del cuerpo y verifique el espesor del cuerpo por corte. Considere puntos de corte para el acero vertical

- 3) Dividir la losa del talón en varias franjas longitudinales y use los diagramas de presión y las ecuaciones de momento para obtener los momentos de flexión longitudinales. Use estos momentos para determinar el acero longitudinal de refuerzo en la losa.
- 4) Tratar la losa de cimentación como cantilever y determine el corte en la cara posterior del cuerpo y el momento flector. Revise el espesor de la base si necesita refuerzo de corte. Use el momento de flexión para calcular el acero de refuerzo requerido perpendicular a la losa-talón.
- 5) Tratar el pie de la losa de cimentación de forma idéntica a un muro en cantilever.

6) Analizar los contrafuertes. Ellos llevan un corte de Q_c de

$$Q_{\text{total}} = 0.5 q LH \text{ por cada espacioamiento}$$

$$Q' = 0.2 q LH \text{ corte en la base del muro}$$

$$Q_c = 0.5 (0.5 q LH - 0.2 q LH) = 0.15 q LH$$

= corte lateral del muro llenado por contrafuerte

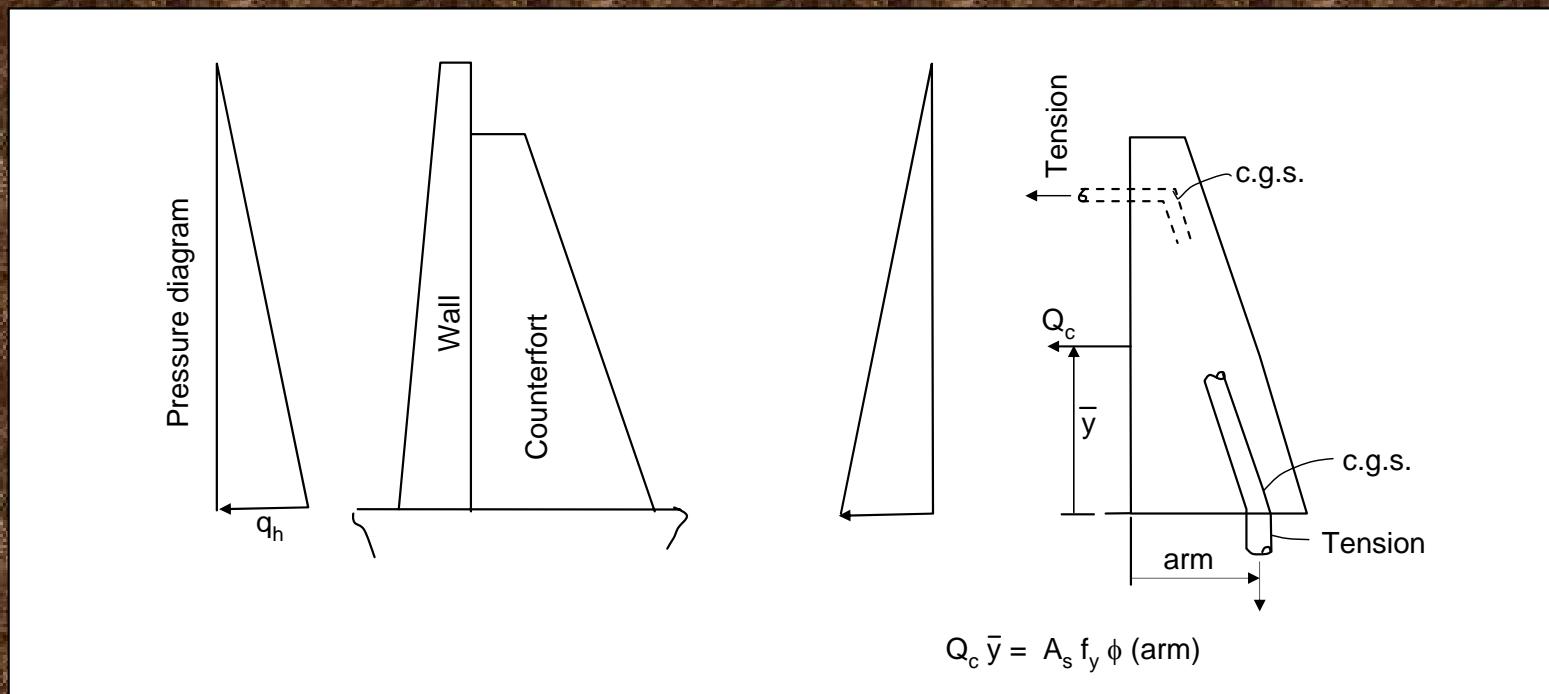


Figure 12-22 Structural design of counterfort wall. Make thickness to contain adequate cover.

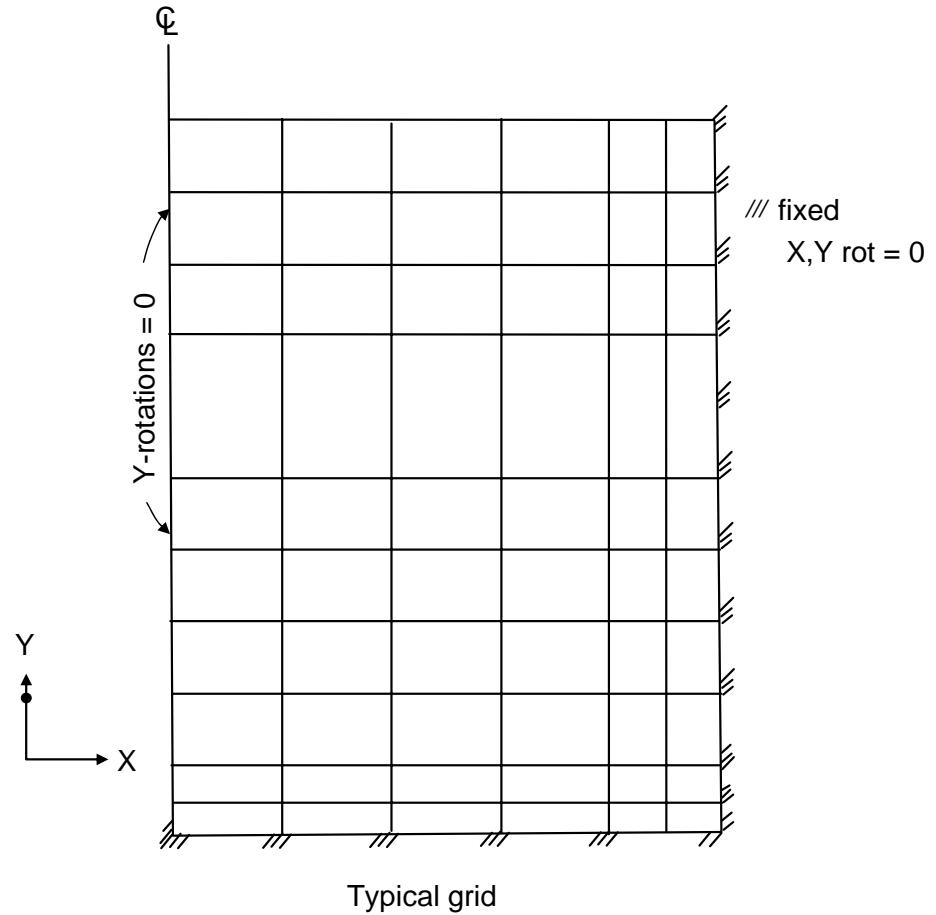
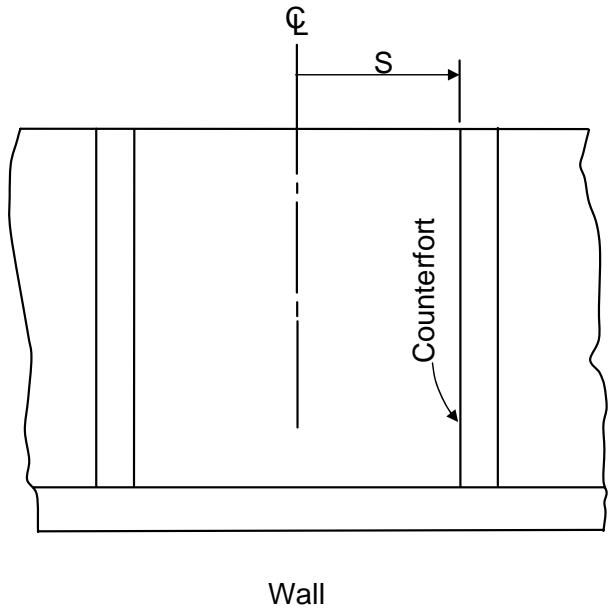


Figure 12-23 Typical layout for using mat program to solve a plate fixed on three edges. Note use of closer grid spacing at edges to better develop plate curvature.

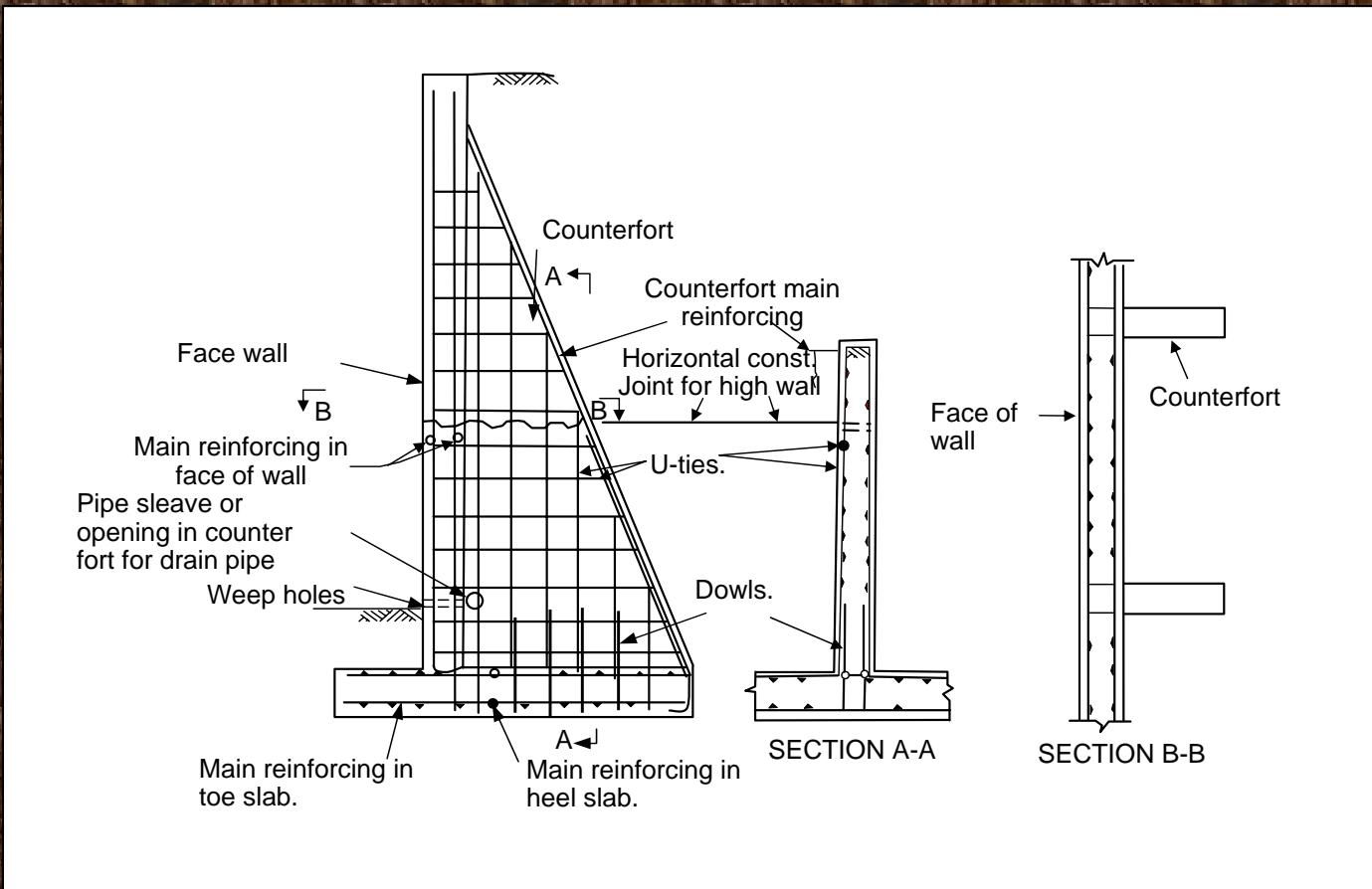


Fig. 3.38 Typical reinforcement for a counterfort retaining wall

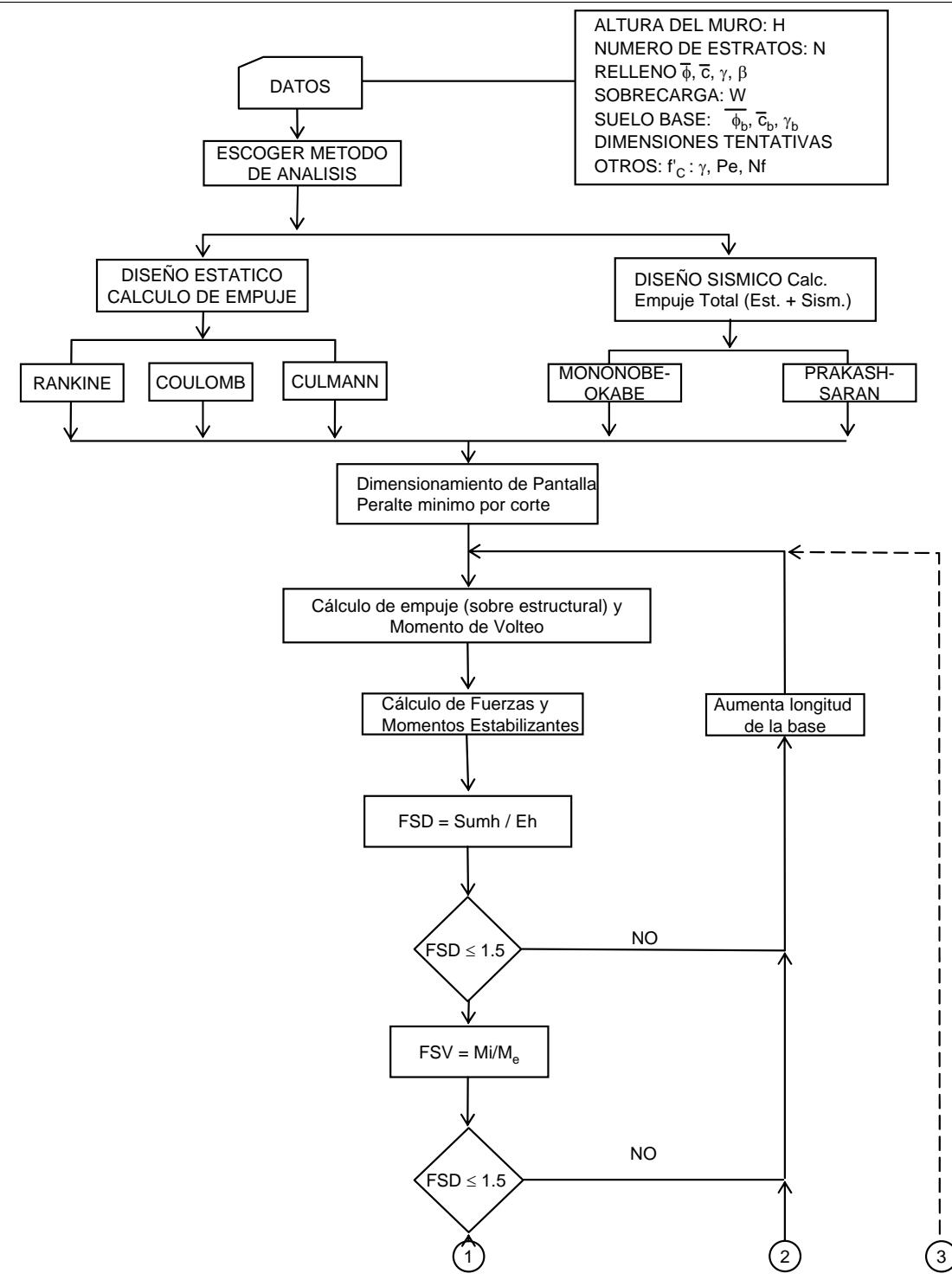
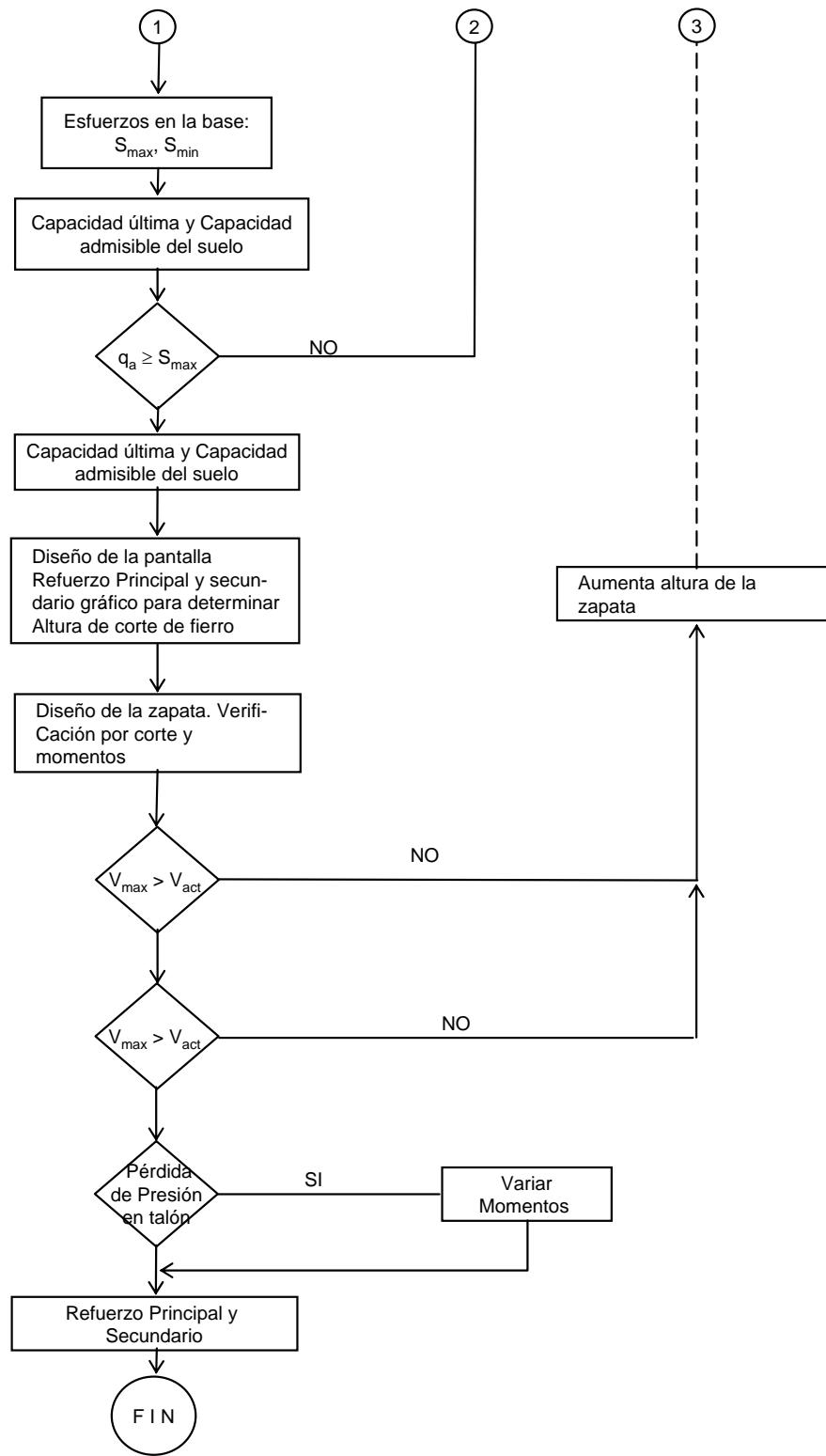


FIG. 1 DIAGRAMA DE FLUJO- PROGRAMA CANT-UNI



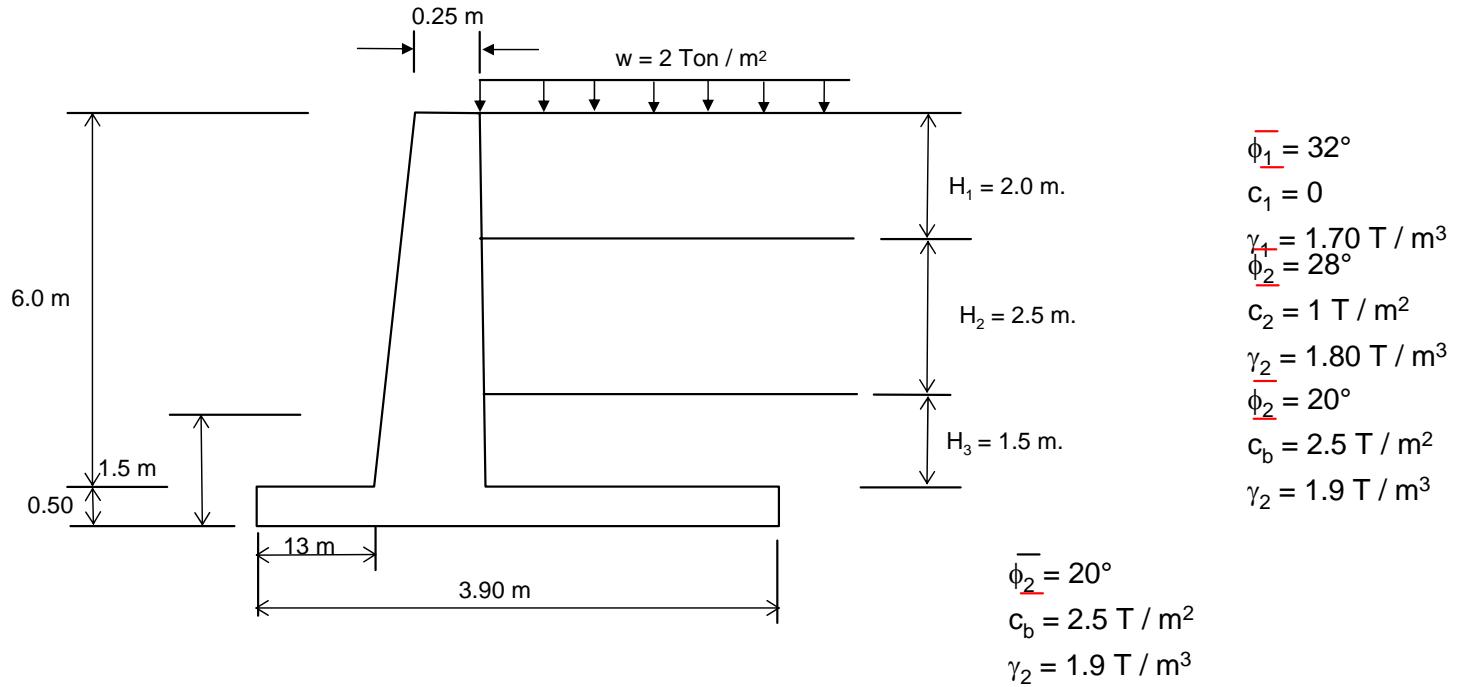


Figura 2

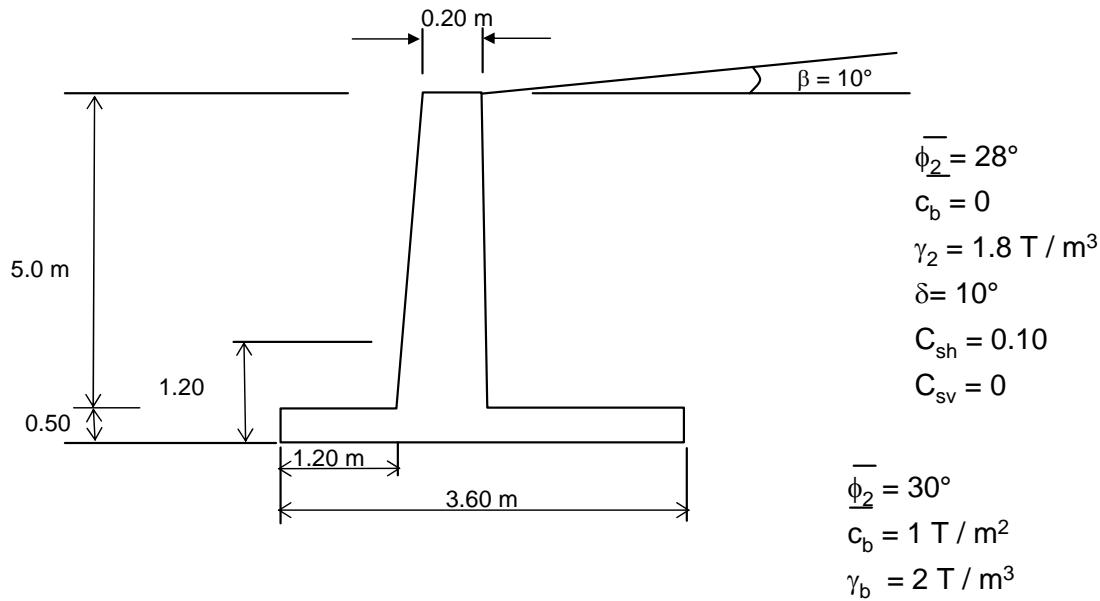


Figura 3

EJEMPLO 1.-

DISEÑO OPTIMO DE UN MURO DE CONTENCION EN CANTILEVER.....

*****DISEÑO SIMPLE UTILIZANDO EL METODO DE RANKINE*****

DATOS DE ENTRADA

DATOS DEL RELLENO:

ANGULO DE INCLINACION: $\beta_a = 0.00$ grados
ANGULO FRIC. RELLENO-MURO: $\delta_a = 0.00$ grados

ESTRATO N.	ANG. FRICCION grados	COHESION T/m ²	PESO UNIT. T/m ³	ALTURA Mts.
1	32.00	0.00	1.70	2.00
2	28.00	1.00	1.80	2.50
3	20.00	2.50	1.90	1.50

DATOS ADICIONALES:

SOBRECARGA: $S_{sc} = 2.00$ T/m²
PESO ESPECIFICO DEL CONCRETO: $\gamma_c = 2.40$ T/m³
RESIST. DEL CONCRETO 28 DIAS: $F'_{cr} = 210.00$ Kg/cm²
FLUENCIA DEL ACERO: $F_y = 4200.00$ Kg/cm²
****SE CONSIDERA EMPUJE PASIVO****
ALTAURA DE EMPUJE PASIVO: $D_p = 1.50$ Mts.

DATOS DEL SUELO DE BASE:

ANGULO DE FRICCION: $\delta_{fricb} = 20.00$ grados
COHESION: $C_{ohb} = 2.50$ T/m²
PESO UNITARIO: $\gamma_{base} = 1.90$ T/m³

DATOS DE DIMENSIONES DEL MURO:

ANCHO DE CORONA: $T_{ope} = .25$ Mts.
ALTURA DEL MURO: $H = 6.00$ Mts.
ALTURA DE ZAPATA: $H_z = .50$ Mts.
LONG. DE PIE DE ZAPATA: $R_z = 1.30$ Mts.
LONGITUD TOTAL DE ZAPATA: $B_z = 3.90$ Mts.

IMPRESION DE RESULTADOS

CORTE ACTUANTE EN LA BASE DEL MURO: 4.77 Kg/cm²

ESFUERZO DE CORTE PERMISIBLE : 6.53 Kg/cm²

ANCHO DE CORONA= 0.25 Mts

ANCHO DE BASE = 0.38 Mts

CALCULO DE ESFUERZOS INTERNOS
ESFUERZOS

SECCION N.	ALTURA Mts.	FUERZA CORTANTE Ton.	MOMENTO FLECTOR T-m
0	0.00	0.00	0.00
1	.60	.46	.22
2	1.20	1.11	1.01
3	1.80	1.95	2.56
4	2.40	2.62	4.93
5	3.00	3.35	7.96
6	3.60	4.30	11.84
7	4.20	5.49	16.81
8	4.80	6.62	23.05
9	5.40	7.77	30.36
10	6.00	9.25	39.01

SECCION N.	MOMENTO T-M	ANCHO DE MURO (cm)	ACERO cm ²	CUANTIA %	CUANTIA MAX.
0	0.0000	25.00	3.4000	.0017	.0163
1	.2200	26.30	3.6210	.0017	.0163
2	1.0079	27.60	3.8420	.0017	.0163
3	2.5555	28.90	4.0630	.0017	.0163
4	4.9330	30.20	5.3103	.0021	.0163
5	7.9585	31.50	8.2469	.0031	.0163
6	11.8394	32.80	11.8621	.0043	.0163
7	16.8144	34.10	16.3694	.0056	.0163
8	23.0462	35.40	21.9139	.0072	.0163
9	30.3571	36.70	28.3084	.0089	.0163
10	39.0091	38.00	35.8556	.0109	.0163

MAX. REFUERZO VERTICAL CALCULADO: 35.86 cm²

100% DEL REFUERZO PRINCIPAL

VERTICAL EN CARA INTERIOR: 40.48 cm² (8 Fierros de 1")

REFUERZO HORIZONTAL SECUNDARIO

EN CARA INTERIOR : 2.84 cm² (4 Fierros de 3/8")

EN CARA EXTERIOR : 5.08 cm² (4 Fierros de 1/2")

REFUERZO VERTICAL SECUNDARIO

EN CARA EXTERIOR (DE MONTAJE): 4 Fierros de 3/8"

COEFICIENTE DE SEGURIDAD CONTRA DESLIZAMIENTO:

FSD = 2.84

COEFICIENTE DE SEGURIDAD CONTRA EL VOLTEO:

FSV = 3.23

ESFUERTOS MAXIMO Y MINIMO ACTUANTES:

S_{MAX} = 13.94 T/m²

S_{MIN} = 5.30 T/m²

ESFUERZO MAXIMO PERMISIBLE = 14.41 T/m²

CORTE EN LAS CARAS DE LA ZAPATA:

CORTE EN EL PIE = 14.69 Ton

CORTE EN EL TALON= 13.75 Ton

EL ESFUERZO DE CORTE EN LA BASE

BASADO EN UN CORTE DE 14.69 Ton. ES: 5.65 Kg/cm²

EL ESFUERZO FERMISSIBLE DE CORTE ES 6.53 Kg/cm²

MOMENTOS CONVENCIONALES EN EL PIE Y EN EL TALON:

MOMENTO EN EL PIE = 9.96 T-m

MOMENTO EN EL TALON= 17.28 T-m

REFUERZO CALCULADO EN EL PIE: 10.42 cm²

REFUERZO REAL EN EL PIE: 11.36 cm² (4 Fierros de 3/4")

REFUERZO CALCULADO EN EL TALON: 19.73 cm²

REFUERZO REAL EN EL TALON: 19.68 cm² (7 Fierros de 3/4")

LAS DIMENSIONES FINALES DE LA BASE SON:

PIE= 1.30 Mts

TALON= 2.22 Mts

LONGITUD TOTAL DE ZAPATA= 3.90 Mts

ESPESOR DE LA LOSA DE BASE= .50 Mts

Ejemplo 2.-

===== DISEÑO OPTIMO DE UN MURO DE CONTENCION EN CANTILEVER =====

*****DISEÑO SISMICO UTILIZANDO EL METODO DE MONOMOBE-OKABE*****

DATOS DE ENTRADA

DATOS DEL RELLENO:

ANGULO DE INCLINACION: Beta= 10.00 grados
ANGULO FRIC. RELLENO-MURO: Delta= 10.00 grados

ESTRATO N.	ANG. FRICCION grados	COHESION T/m ²	PESO UNIT. T/m ³	ALTURA Mts.
1	28.00	0.00	1.80	5.00

DATOS ADICIONALES:

SOBRECARGA: Sc= 0.00 T/m²
PESO ESPECIFICO DEL CONCRETO: Pg= 2.40 T/m³
RESIST. DEL CONCRETO 28 DIAS: F'c= 210.00 Kg/cm²
FLUENCIA DEL ACERO: Fy= 4200.00 Kg/cm²
****SE CONSIDERA EMPUJE PASIVO****
ALTURA DE EMPUJE PASIVO: D= 1.20 Mts.

DATOS DEL SUELO DE BASE:

ANGULO DE FRICCION: Fricb= 30.00 grados
COHESION: Cohb= 1.00 T/m²
PESO UNITARIO: Gbase= 2.00 T/m³

DATOS DE DIMENSIONES DEL MURO:

ANCHO DE CORONA: Tope= .20 Mts.
ALTURA DEL MURO: H= 5.00 Mts.
ALTURA DE ZAPATA: Hz= .50 Mts.
LONG. DE PIE DE ZAPATA: Rz= 1.20 Mts.
LONGITUD TOTAL DE ZAPATA: Bz= 3.60 Mts.

IMPRESION DE RESULTADOS

CORTE ACTUANTE EN LA BASE DEL MURO: 6.26 Kg/cm²

ESFUERZO DE CORTE PERMISIBLE : 6.53 Kg/cm²

ANCHO DE CORONA= 0.23 Mts

ANCHO DE BASE = 0.34 Mts

CALCULO DE ESFUERZOS INTERNOS
ESFUERZOS

SECCION N.	ALTURA Mts.	FUERZA CORTANTE Ton.	MOMENTO FLECTOR T-m
0	0.00	0.00	0.00
1	.50	.09	.03
2	1.00	.34	.27
3	1.50	.77	.90
4	2.00	1.37	2.13
5	2.50	2.14	4.16
6	3.00	3.08	7.19
7	3.50	4.19	11.42
8	4.00	5.48	17.05
9	4.50	6.93	24.28
10	5.00	8.56	33.30

SECCION N.	MOMENTO T-M	ANCHO DE MURO (cm)	ACERO cm ²	CUANTIA %	CUANTIA MAX.
0	0.0000	23.00	3.0600	.0017	.0163
1	.0333	24.10	3.2470	.0017	.0163
2	.2664	25.20	3.4340	.0017	.0163
3	.8991	26.30	3.6210	.0017	.0163
4	2.1312	27.40	3.8080	.0017	.0163
5	4.1624	28.50	4.8012	.0020	.0163
6	7.1927	29.60	8.0445	.0033	.0163
7	11.4217	30.70	12.4690	.0049	.0163
8	17.0493	31.80	18.2999	.0068	.0163
9	24.2752	32.90	25.8317	.0093	.0163
10	33.2994	34.00	35.4855	.0122	.0163

MAX. REFUERZO VERTICAL CALCULADO: 35.49 cm²

100% DEL REFUERZO PRINCIPAL

VERTICAL EN CARA INTERIOR: 35.42 cm² (7 Fierros de 1")

REFUERZO HORIZONTAL SECUNDARIO

EN CARA INTERIOR : 2.84 cm² (4 Fierros de 3/8")

EN CARA EXTERIOR : 5.08 cm² (4 Fierros de 1/2")

REFUERZO VERTICAL SECUNDARIO

EN CARA EXTERIOR (DE MONTAJE): 4 Fierros de 3/8"

COEFICIENTE DE SEGURIDAD CONTRA DESLIZAMIENTO:
FSD= 1.57

COEFICIENTE DE SEGURIDAD CONTRA EL VOLTEO:
FSV= 2.70

ESFUERZOS MAXIMO Y MINIMO ACTUANTES:

S_{MAX} = 12.25 T/m²

S_{MIN} = 5.78 T/m²

ESFUERZO MAXIMO PERMISIBLE= 13.30 T/m²

CORTE EN LAS CARAS DE LA ZAFATA:

CORTE EN EL PIE = 11.97 Ton

CORTE EN EL TALON= 5.29 Ton

EL ESFUERZO DE CORTE EN LA BASE
BASADO EN UN CORTE DE 11.97 Ton. ES: 4.60 Kg/cm²

EL ESFUERZO PERMISIBLE DE CORTE ES 6.53 Kg/cm²

MOMENTOS CONVENCIONALES EN EL PIE Y EN EL TALON:

MOMENTO EN EL PIE = 7.44 T-m

MOMENTO EN EL TALON= 6.76 T-m

REFUERZO CALCULADO EN EL PIE: 7.73 cm²

REFUERZO REAL EN EL PIE: 7.92 cm² (4 Fierros de 5/8")

REFUERZO CALCULADO EN EL TALON: 7.44 cm²

REFUERZO REAL EN EL TALON: 7.92 cm² (4 Fierros de 5/8")

LAS DIMENSIONES FINALES DE LA BASE SON:

PIE= 1.20 Mts

TALON= 2.06 Mts

LONGITUD TOTAL DE ZAFATA= 3.60 Mts .

ESPESOR DE LA LOSA DE BASE= .50 Mts