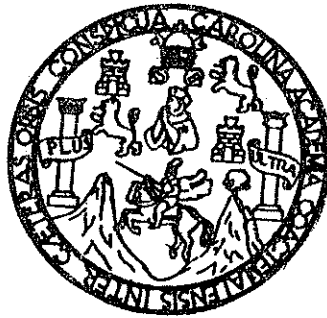


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CONTRAFUERTE A TENSIÓN PARA MUROS DE CONTENCIÓN

TESIS

presentada a la Junta Directiva de

la Facultad de Ingeniería

Por:

FREDY ADOLFO ALVARADO HERNÁNDEZ

Al conferirsele el Título de

Ingeniero Civil

Guatemala, agosto de 1,995.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

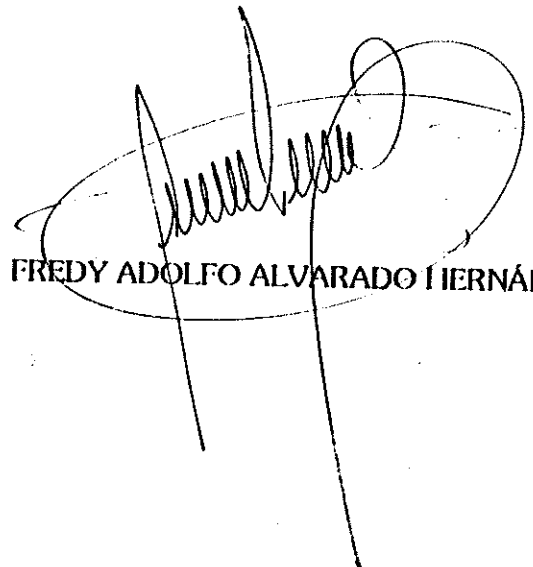
08  
T(3586)  
Co 4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

CONTRAFUERTES A TENSION PARA MUROS DE CONTENCIÓN

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 28 de abril de 1,994.



FREDY ADOLFO ALVARADO HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

Decano	Ing. Julio Ismael González Podszueck
Vocal 1o.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
Vocal 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
Vocal 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
Vocal 4o.	Br. Freddy Estuardo Rodríguez Quezada
Vocal 5o.	Br. Mario Nefalí Morales Solís
Secretario	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Julio Ismael González Podszueck
Examinador	Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Examinador	Ing. Henry de Jesús López
Examinador	Ing. Hugo Ismael Herrera Segura
Secretario	Ing. Francisco Javier González López



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 14 de junio de 1,995.

Ingeniero  
**Ricardo Ibarra**  
Jefe del Area de Estructuras  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Ingeniero Ibarra:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de tesis del estudiante universitario, Fredy Adolfo Alvarado Hernández, cuyo título es "CONTRAFUERTE A TENSION PARA MUROS DE CONTENCIÓN" el cual considero llena los requisitos aprobados.

Considero que el trabajo menciona ciertos criterios que son de interés para todo ingeniero que se dedica al diseño y construcción de este tipo de estructuras, y aporta tablas prácticas para el diseño del contrafuerte.

Atentamente,

Ing. Juan Miguel Rubio  
Asesor  
Cat. del Deplo. de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, julio 17 de 1995

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería,  
U S A C.

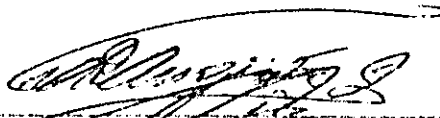
Señor Director

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado CONTRAFUERTE A TENSION PARA MUROS DE CONTENSIÓN, elaborado por el estudiante universitario Fredy Adolfo Alvarado Hernández y asesorado por el Ing. Juan Miguel Rubio Romero.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido, y que será de mucha utilidad para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, el suscrito le da su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

  
-----  
Ing. Ricardo A. Ibarra M.  
Jefe del Departamento de Estructuras



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Miguel Rubio Romero y del Jefe del Departamento de Estructuras Ing. Ricardo A. Ibarra M. sobre el trabajo de tesis del estudiante Fredy Adolfo Alvarado Hernández, titulado CONTRAFUERTES A TENSION PARA MUROS DE CONTENCIÓN, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, julio de 1,995.

JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **CONTRAFUERTE A TENSION PARA MUROS DE CONTENCIÓN**, del estudiante Fredy Adolfo Alvarado Hernández, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRÍMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck  
DECANO



Guatemala, agosto de 1,995.

## ACTO QUE DEDICO

A:

Mis padres:

José María Alvarado Vargas  
Udelia García Rodríguez de Alvarado  
por su apoyo, amor y sabios consejos

Mi esposa e hijos:

Josefina  
José Adolfo  
Cristian David  
por su comprensión y amor

Mis hermanos:

Bayron, Cristabel, Estuardo, Claudio y Adoni

Mi abuela:

Inocenta Vargas  
por haberme guiado hacia el camino de luz

Mis compañeros de estudio:

en especial a  
Sergio Gallán  
Dacio Gonzales  
Julio Abdalla  
por su amistad y compañerismo

Mis amigos:

Marito, Man, Rolando, Giovanni, Sergio

La Asamblea de Dios Aposento Alto

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos



## RECONOCIMIENTO:

A:

Dios:

Porque sin Él nada soy

El Ingeniero:

Juan Miguel Rubio

por su valiosa asesoría y apoyo en la elaboración de este trabajo

El Ingeniero:

Luis Rodas

por enseñarme a ser mejor cada día

El Arquitecto:

Carlos Mac Donald

por su amistad y sabios consejos

Los señores:

Carlos Sazo y Gilberto Pérez

por haber compartido sin ningún egoísmo la experiencia en construcción adquirida a través de los años.

## ÍNDICE GENERAL

	Pg.
LISTA DE ILUSTRACIONES	iii
LISTA DE TABLAS	v
SIMBOLOGÍA	vi
GLOSARIO	vii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO UNO: ANÁLISIS DE MUROS DE CONTENCIÓN	3
1.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A CONTENER	4
1.1.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	4
1.1.2 COHESIÓN	6
1.1.3 PESO DE LA TIERRA	6
1.2 TEORÍAS DE EMPUJE DE TIERRAS	7
1.2.1 TEORÍA DE COULOMB	7
1.2.2 TEORÍA DE RANKINE	9
1.3 FUERZAS QUE ACTÚAN EN UN MURO	11
1.3.1 FUERZAS ACTIVAS	12
1.3.2 FUERZAS PASIVAS	12
1.3.3 ESTÁTICA	14
1.3.3.1 DESLIZAMIENTO	14
1.3.3.2 VOLTEO	15
CAPÍTULO DOS: DISEÑO DEL MURO	18
2.1 DISEÑO DE LAS PARTES DEL MURO	19
2.1.1 DISEÑO DE LA BASE	19
2.1.2 DISEÑO DE LA CORTINA	20

2.1.3 DISEÑO DEL CONTRAFUERTE	21
2.1.3.1 ESPESOR	21
2.1.3.2 SEPARACIÓN (lc)	21
2.1.3.3 ACERO MÁXIMO Y MÍNIMO	22
2.1.3.4 ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO DE CONTRAFUERTE	22
2.1.3.5 EJEMPLO DE DISEÑO	28
2.1.4 ALTERNATIVAS DEL USO DEL CONTRAFUERTE	35
2.1.4.1 EJEMPLO DE DISEÑO	36
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ANÁLISIS Y DISEÑO	39
TABULACIONES	45
USO DE TABLAS	56
BIBLIOGRAFÍA	65

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pg.
Figura 1 Gráfica para determinar Ángulo de Fricción Interna	5
Figura 2 Diagrama de Plano de Ruptura según Coulomb	8
Figura 3 Diagrama Análisis de Empuje según Coulomb	9
Figura 4 Diagrama de Análisis de Empuje según Rankine	10
Figura 5 Fuerzas Verticales que actúan en un Muro de Contención	11
Figura 6 Fuerzas Horizontales que actúan en un Muro de Contención	11
Figura 7 Fuerzas Activas	12
Figura 8 Presión Pasiva	12
Figura 9 Diagrama General de Fuerzas que actúan en un Muro de Contención	13
Figura 10 Diagrama de Momentos que actúan en un Muro de Contención	16
Figura 11 Muro de Contención con Contrafuerte	20
Figura 12 Modelo Matemático de Diseño	20
Figura 13 Espesor en Contrafuertes	21
Figura 14 Separación entre Contrafuertes	22
Figura 15 Criterios recomendados para Predimensionar un Muro de Contención	23
Figura 16 Diagrama de Momentos en un Muro de Contención con Contrafuertes a Tensión	25
Figura 17 Descomposición Vectorial de Tensión	26
Figura 18 Condiciones de Diseño Ejemplo de Diseño	28
Figura 19 Criterios Recomendados para Predimensionar un Muro de Contención	28
Figura 20 Predimensionamiento de Muro en Planta (Ejemplo)	29
Figura 21 Predimensionamiento de Muro Sección Típica (Muro con Pie)	29
Figura 22 Diagrama de Presiones (Ejemplos)	30
Figura 23 Punto de Referencia de Todos los Momentos	31
Figura 24 Delimitación de Áreas para Análisis del Peso	31

Figura 25 Segundo Predimensionamiento de Muro	33
Figura 26 Diagrama de Muro sin Pie	35
Figura 27 Condiciones de Diseño (Ejemplo)	36
Figura 28 Predimensionamiento de Muro (Ejemplo)	36
Figura 29 Asignación de Variables a Sección de Muro de Contención para Programa	41
Figura 30 Condiciones de Diseño (Ejemplo 3)	57
Figura 31 Información de Tabla (Ejemplo 3)	58
Figura 32 Separación Real de Contrafuertes	59
Figura 33 Análisis de Área de Acero	59
Figura 34 Condiciones de Diseño (Ejemplo 4)	60
Figura 35 Información de Tablas (Ejemplo 4)	61
Figura 36 Separación Real de Contrafuertes	61
Figura 37 Análisis de Área de Acero	62

## LISTA DE TABLAS

	Pg.
Tabla No. 1 Ángulos de Fricción Interna	5
Tabla No. 2 Peso de Materiales (Suelos)	6
Tabla No. 3 Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=2.00$ )	16
Tabla No. 4 Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=2.00$ )	17
Tabla No. 5 Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=3.00$ )	18
Tabla No. 6 Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=3.00$ )	19
Tabla No. 7 Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=4.00$ )	50
Tabla No. 8 Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=4.00$ )	51
Tabla No. 9 Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=5.00$ )	52
Tabla No. 10 Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=5.00$ )	53
Tabla No. 11 Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=6.00$ )	54
Tabla No. 12 Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=6.00$ )	55

## SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
$\Delta N$	Diferencia de nivel entre plataformas	Mts
$S_c$	Sobrecarga, en la plataforma a retener	$Kg/M^2$
$V_s$	Valor soporte del suelo	$Kg/M^2$
$\rho_s$	Densidad del suelo	$Kg/M^3$
$\phi$	Ángulo de fricción interna	
$h$	Profundidad recomendada para asentar el cimiento	mts
$H$	Altura total de diseño del muro de contención	mts
$F'c$	Esfuerzo permisible a comprensión del concreto	mts
$F_y$	Esfuerzo a tensión en el acero	$Kg/cm^2$
$\mu$	Coefficiente de fricción suelo cimiento	1/1
$B$	Base o Zapata total del muro de contención	mts.
$l_c$	Separación entre contrafuertes a ejes	mts
$C_f$	Contrafuertes	U
$K_a$	Coefficiente activo según Rankine	1/1
$K_p$	Coefficiente pasivo	1/1
$P_a$	Presión activa	$Kg/m^2$
$P_p$	Presión pasiva	$Kg/m^2$
$P_{sc}$	Presión debido a sobrecarga	$Kg/m^2$
$F_a$	Fuerza activa	Kg
$F_{sc}$	Fuerza debido a sobrecarga	Kg
$F_p$	Fuerza pasiva	Kg
$\Delta p$	Área de presiones	$m^2$
$L_x$	Brazo de momento	M
$F_s$	Factor de seguridad	1/1
$M_d$	Momento de diseño o momento actuante	$Kg-m$
$\sigma$	Esfuerzo	
$F$	Fuerza	Kg
$A_m$	Área de acero por metro lineal de muro de contención	$cm^2$
$A_t$	Área total de refuerzo del contrafuerte	$cm^2$

## GLOSARIO

- COHESIÓN:** Fuerza interna que existe entre las partículas que conforman un suelo. Al efectuar un corte en un suelo, la cohesión permite que éste permanezca en equilibrio durante un lapso de tiempo.
- DENSIDAD:** Relación entre el volumen y la masa de un cuerpo.
- DESLIZAMIENTO:** Efecto que ocurre entre las partículas de un suelo, en el cual se desplazan unas sobre otras, por efecto de gravedad.
- ESTÁTICA:** Rama de la mecánica que estudia las leyes de equilibrio.
- FUERZAS ACTIVAS:** Fuerzas que actúan sobre un muro de contención, que provocan que el muro se defleccione o se mueva una pequeña magnitud separándose del relleno.
- FUERZAS PASIVAS:** Fuerzas que actúan en un muro de contención y que contrarrestan los efectos de las fuerzas activas.
- SOBRECARGA:** Efecto de carga, producido en un muro de contención por elementos externos a la estructura.
- TENSIÓN:** Estado de un elemento sometido a fuerzas que lo estiran.
- VOLTEO:** Acción o efecto que tiende a producir el volcamiento o falla de un muro de contención.



## INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta a continuación, es el resultado de una serie de investigaciones, realizadas con el fin de proporcionar a estudiantes y profesionales de la construcción un documento de consulta, que permita sin ahondar en análisis estructural, matemática u otras ciencias afines, el diseño y dimensionamiento de muros de contención con contrafuertes, que por la naturaleza del caso, trabajen a tensión.

Al inicio del trabajo se presentan datos y características de los materiales a retener, así como un análisis de las fuerzas que actúan en un muro, esto para poder determinar puntos y ecuaciones a utilizar para la determinación del equilibrio de los elementos en estudio.

Seguidamente se presenta una serie de ejemplos, para la mejor comprensión de la utilización de las tablas que se encuentran al final del trabajo, reforzados con referencias al ACI y otros códigos de diseño.

Esperando satisfacer las expectativas del lector, es el propósito de este trabajo que pueda ser de utilidad y apoyo en el diseño de este tipo de elementos estructurales.

## **OBJETIVOS**

1. **Análizar el comportamiento mecánico de un contrafuerte que está sometido a esfuerzos de tensión y establecer su equilibrio.**
2. **Proveer a los estudiantes y profesionales de la Ingeniería Civil, de un manual de consulta para diseñar muros de contención con contrafuertes a tensión.**
3. **Proporcionar tablas de consulta para prever una solución conservadora al diseñar contrafuertes a tensión.**

**CAPÍTULO UNO:**  
**ANÁLISIS DE MUROS DE CONTENCIÓN**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
**Biblioteca Central**

## 1.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A CONTENER

### 1.1.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA

Los resultados de innumerables ensayos en suelos seco sin cohesión, demuestran que el esfuerzo cortante de falla, llamado resistencia al esfuerzo cortante,  $s$ , es aproximadamente proporcional al esfuerzo normal efectivo en la superficie de falla,  $p'$  (nótese que las letras  $s$  y  $p'$  se usan para los valores límites de  $F$  y  $T$ ). La envolvente del círculo de Mohr obtenida en las pruebas, es aproximadamente una línea recta que pasa por el origen de coordenadas y que forma un ángulo  $\phi$  con el eje  $\sigma$  (ver Figura 1). La ecuación de la resistencia del suelo es la siguiente:

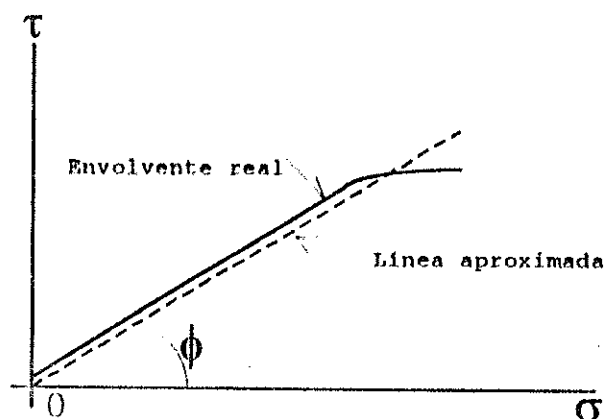
$$s = p' \tan \phi$$

El ángulo  $\phi$  se llama ángulo de fricción interna. Este ángulo es análogo al ángulo de fricción entre dos cuerpos que se deslizan, en cuyo caso es el ángulo de fricción dinámica y  $\tan \phi$  es el coeficiente de fricción. El ángulo del plano de falla se puede hallar gráficamente a través de la circunferencia de falla de Mohr o analíticamente por la geometría de la circunferencia de Mohr.

Como se ha explicado al inicio del inciso, la continuada deformación o falla es la suma de la distorsión, el aplastamiento, el levantamiento, el rodamiento y el deslizamiento de los granos. Los factores más importantes en la falla son el rodamiento y el deslizamiento. La resistencia al deslizamiento de los granos se determina por el esfuerzo efectivo, el coeficiente de fricción entre los minerales, la aspereza de la superficie y el ángulo de contacto entre los granos, que dependen a su vez, de la forma de los granos y la estructura del suelo como está reflejada en la compactación relativa. La resistencia al rodamiento depende de la forma de las partículas, de la graduación y de la compactación

relativa. Como resultado de todo esto el ángulo de fricción interna es mayor que el ángulo de fricción entre los minerales y varía con la forma de los granos, la graduación y la compactación relativa. La envolvente de Mohr no siempre es una línea recta perfecta, ni pasa siempre por el origen de coordenadas, debido a la resistencia al rodamiento, que existe siempre aunque no haya confinamiento.

Cuando los esfuerzos son muy altos la envolvente puede ser una curva cóncava hacia abajo debido a la fractura de algunos granos.



**Figura 1**  
**Gráfica para determinar Ángulo de Fricción Interna**

**Tabla No. 1**  
**Ángulos de Fricción Interna**

Tipo de material	Ángulo
Arena Seca	30° 35°
Arena húmeda	35° 45°
Arena mojada	20° 30°
Arcilla seca	30° 40°
Arcilla húmeda	42° 48°
Tierra vegetal seca	40°
Tierra vegetal húmeda	45°
Tierra vegetal mojada	30° 35°
Grava	30° 40°
Limo seco	42° 44°
Limo mojado	22° 23°

### 1.1.2 COHESIÓN

La cohesión es una fuerza interna que actúa entre las moléculas del material a retener, en que permite que éste sea estable durante un corto tiempo.

Dependiendo de la teoría de presiones se debe tomar su contribución o no; la teoría de Rankine la desprecia y hace conservadores los resultados de diseño.

### 1.1.3 PESO DE LA TIERRA

Al hacer una análisis del objetivo de los muros de contención se llega a la conclusión que dicho objetivo es sostener el empuje lateral producido por el material que contenga. Éste está directamente ligado al peso de la tierra.

Investigadores ha logrado determinar, por medio de pruebas o muestras no adulteradas, el peso de algunos materiales; a continuación se presentan algunos valores de esos pesos.

**Tabla No. 2**  
**Peso de Materiales (Suelos)**

<u>Material</u>	<u>Peso en Kg/m<sup>3</sup></u>
Limo seco	1500
Limo mojado	1900
Arcilla seca	1600
Arcilla mojada	2000
Tierra arcillosa seca	1600
Tierra arcillosa mojada	2000
Arena faja seca	1600
Arena terrosa	1700
Arena y gravilla mojada	2000
Gravilla	1850
Tierra Vegetal seca	1400
Tierra Vegetal húmeda	1600
Tierra Vegetal mojada	1800
Talpetate	2080
Barro seco	640
Arcilla con piedra	2080
Grava	2160

Al analizar la tabla se puede notar que el contenido de humedad aumenta la densidad del material por lo que es recomendable proveer a los muros de contención de elementos que eliminen esta humedad del material retenido.

## 1.2 TEORÍAS DE EMPUJE DE TIERRAS

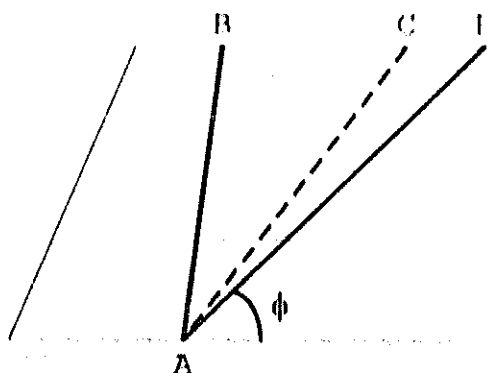
### 1.2.1 TEORÍA DE COULOMB

Esta teoría asume la existencia de una cuña o prisma limitada por el muro y un plano llamado de ruptura, que ejerce un empuje máximo sobre el muro. El plano de ruptura asume encontrarse entre el ángulo de reposo del material y la cara posterior del muro, pudiendo llegar a coincidir con el plano de reposo.

Para la determinación del empuje que la tierra ejerce sobre el muro, se formularon las hipótesis siguientes:

- Que la tendencia al resbalamiento, en el caso que se coloque un muro de parámetro AB (ver Figura 2) es idéntica a la que produce cuando el terreno está limitado por la superficie AB.
- Que la superficie de deslizamiento es un plano que va de AC y recibe el nombre de plano de deslizamiento o de fractura.
- Se hace caso omiso de la cohesión que puede existir entre los elementos del relleno, se admite que, según el plano de deslizamiento la única fuerza que actúa es el frotamiento virtual originado por la componente normal de la fuerza resultante que actúa sobre AC, y se supone que el frotamiento en este plano tiene el valor constante  $\text{tg } \phi$  en todos los puntos del mismo.

- Se elimina completamente la cohesión o frotamiento que pueden existir lateralmente entre el prisma de empuje máximo y la tierra o construcciones contiguas.



**Figura 2**  
**Diagrama de Plano de Ruptura según**  
**Coulomb**

Es difícil establecer el grado de aproximación de estas hipótesis, algunas de las cuales se contradicen; por ejemplo la suposición de que la superficie de deslizamiento es plana, no correspondiendo a la realidad ya que el mismo Coulomb admitió que lo había hecho así para simplificar los cálculos; por otra parte el muro no podrá representar en ningún caso, las condiciones de continuidad de la masa de tierra.

A diferencia de la teoría de Rankine que asume que la cara posterior del muro es lisa, para poder satisfacer las condiciones límites, en esta teoría se acepta que el muro tiene caras rugosas y que si hay fricción entre el muro y la tierra.

La teoría de Coulomb se puede aplicar a cualquier condición límite del relleno, aunque también se incurre en error al considerar una forma simple de la superficie de deslizamiento: aunque en todo caso el error cometido es más pequeño que al usar la teoría



de Rankine. Cuando las condiciones límites se satisfacen, ambas teorías conducen a los mismos resultados.

Su forma general es:

$$E = \frac{1}{2} WH^2 \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\alpha + \beta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \beta) \cos(\beta - \beta)}} \right\}^2}$$

En donde

$E$  = empuje

$W$  = Peso del relleno \* unidad de volumen

$\phi$  = ángulo de fricción interna

$\alpha$  = ángulo de fricción muro suelo

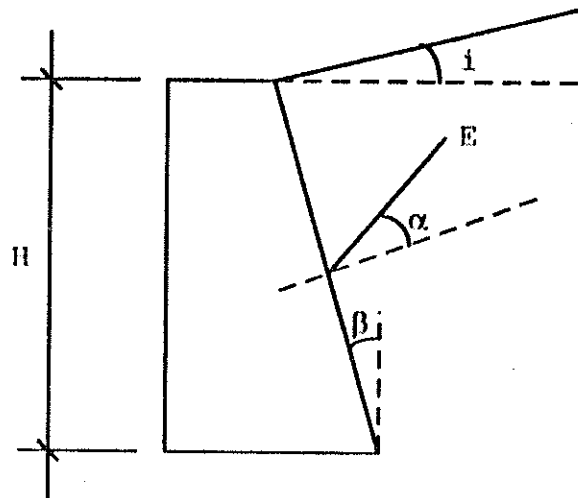


Figura 3  
Diagrama Análisis de Empuje según Coulomb

### 1.2.2 TEORÍA DE RANKINE

En esta teoría se asume que el relleno está formado de una masa granular incomprensible, homogénea y sin cohesión indefinida, con una superficie superior plana,

descansando sobre una fundación homogénea y sujeta a su propio peso. Como se vio anteriormente, no puede depender de la cohesión para la estabilidad de una masa de tierra, es por eso que la investigación de dicha estabilidad, está basada en el supuesto de que sólo depende de la fricción mutua entre los granos.

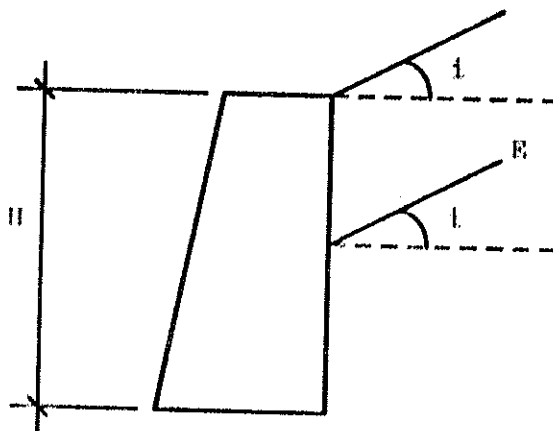
Por lo tanto lo que propone Rankine es, que la estabilidad de una masa granular sea tratada por medio de la teoría matemática de la estabilidad friccional solamente sin recurrir a sus suposiciones ni artificios.

Su fórmula general es:

$$E = \frac{l}{2} WH^2 \left[ \frac{\cos i \cos l - \sqrt{\cos^2 l - \cos^2 \phi}}{\cos l + \sqrt{\cos^2 l - \cos^2 \phi}} \right]$$

Es la misma fórmula de Coulomb cuando  $l=0$  y cuando la espalda del muro que sostiene el relleno es vertical.

De lo indicado anteriormente se puede inferir que las fórmulas de Coulomb y Rankine son iguales para esta clase de muro.

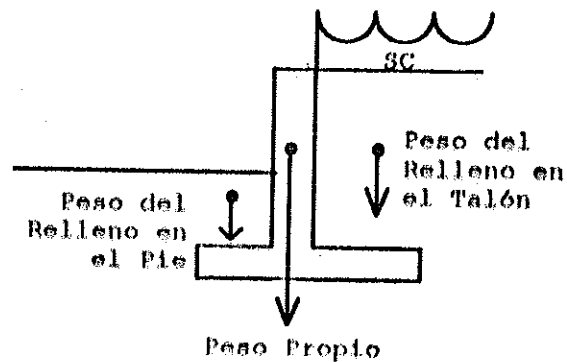


**Figura 4**  
Diagrama de Análisis de Empuje según Rankine

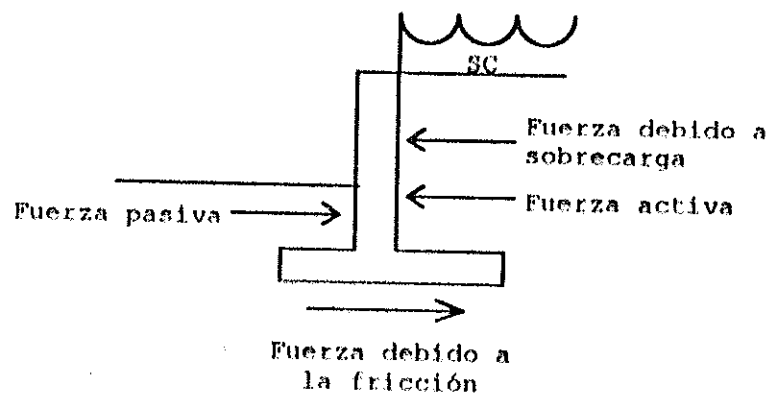
### 1.3 FUERZAS QUE ACTÚAN EN UN MURO

Del análisis realizado en relación al tipo de fuerzas que actúan en un muro de contención, se puede mencionar que existen fuerzas verticales y fuerzas horizontales.

Las fuerzas verticales debido al peso de los materiales normalmente no presentan mayor problema, no así las fuerzas horizontales que pueden ser debidas al material a retener o sobrecargas en la superficie horizontal del mismo.



**Figura 5**  
Fuerzas Verticales que actúan en un Muro de Contención



**Figura 6**  
Fuerzas Horizontales que actúan en un Muro de Contención

### 1.3.1 FUERZAS ACTIVAS

En los estudios y diseños que constantemente realizan los ingenieros, básicamente existen fuerzas, momentos, o acciones que hay que contrarrestar, llevando la estructura a un punto de estabilidad o equilibrio, en los muros de contención por lo regular se requiere contrarrestar los efectos del empuje activo de las tierras, que es el que hace que el muro se deflecte o se mueva, en una pequeña magnitud separándose el relleno.

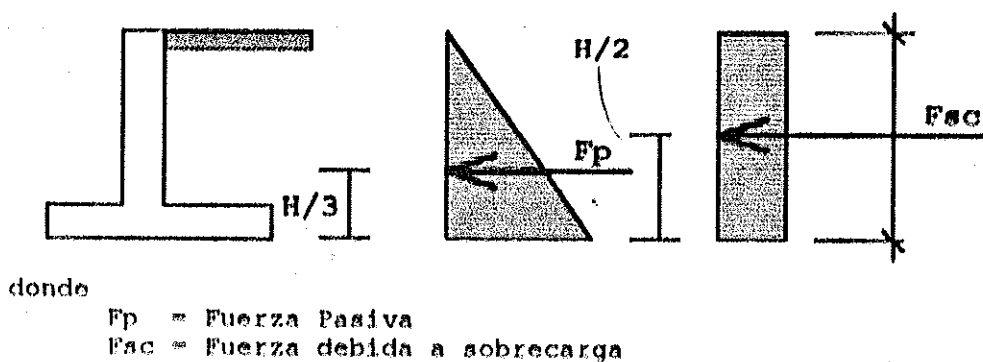


Figura 7  
Fuerzas Activas

### 1.3.2 FUERZAS PASIVAS

De acuerdo a las consideraciones hechas en el anterior inciso, se puede definir a las fuerzas pasivas como fuerzas que contrarrestan los efectos de las fuerzas activas.

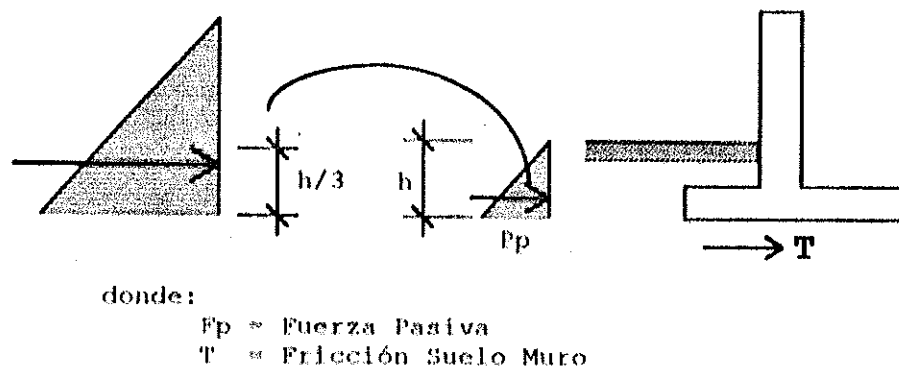
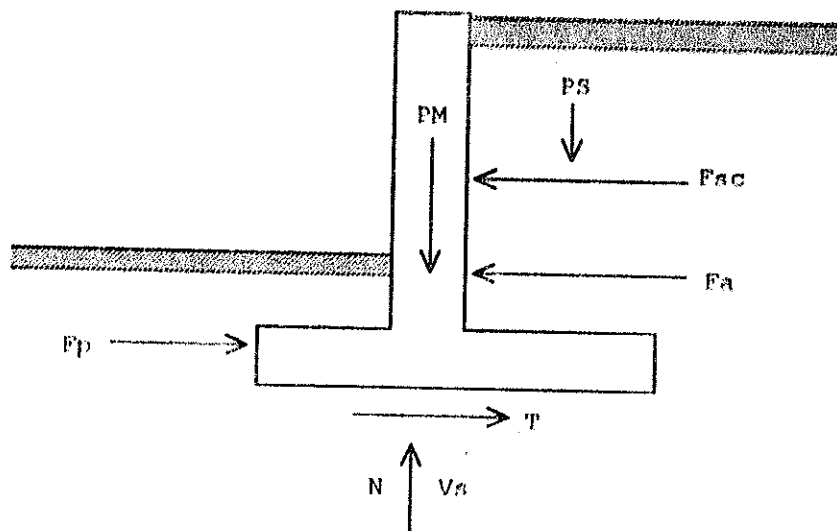


Figura 8  
Presión Pasiva

Se puede decir que si el muro se mueve contra el relleno se está desarrollando un empuje pasivo, el cual puede comenzar a actuar cuando el muro haya sufrido un pequeño corrimiento, se debe tomar en cuenta y observar éste fenómeno, cuando en los cálculos se haya contado con dicho empuje, para mantener la estabilidad de la estructura proyectada.

De acuerdo a la Información descrita con anterioridad se pueden enumerar las fuerzas que actúan en un muro de contención, siendo éstas:

- $P_m$     Peso del muro
- $P_s$     Peso del suelo
- $F_a$     Fuerza activa
- $F_s$     Fuerza debida a sobrecarga
- $F_p$     Fuerza pasiva
- $T$     Resistencia al deslizamiento
- $N$     Fuerza sustentante o normal



**Figura 9**  
**Diagrama General de Fuerzas que actúan en un Muro de Contención**

### 1.3.3 ESTÁTICA

Es de conocimiento general para todo ingeniero o estudiante de ingeniería civil, lo referente a la Mecánica, en especial a la Mecánica de cuerpos rígidos que a su vez se subdivide en ESTÁTICA Y DINÁMICA, siendo la Estática la rama de la mecánica que es de utilidad para la aplicación de condiciones de equilibrio en el diseño de muros de contención.

Partiendo de los principios básicos de estática se puede mencionar sus ecuaciones básicas de funcionamiento, siendo éstas:

- Para que exista equilibrio en un cuerpo rígido la sumatoria total de fuerzas que se aplican a este, de ser igual a cero.

$$\sum F = 0$$

- La segunda condición reza de la siguiente manera: La sumatoria de momentos externos que se aplican a un cuerpo rígido debe ser igual a cero.

$$\sum M_{EXT} = 0$$

Partiendo de estas ecuaciones se pueden mencionar las primeras condiciones que se deben considerar al diseñar un muro de contención, siendo éstas el DESLIZAMIENTO y el VOLTEO.

#### 1.3.3.1 DESLIZAMIENTO

Fuerza que hace que el muro tienda a moverse sobre un plano horizontal produciendo así fallas en el muro de consideración y desequilibrio en el material retenido.

Considerando este fenómeno se recomienda un factor de seguridad entre las fuerzas resistente y las fuerzas actuantes, denominadas así a las primeras por que contrarrestan este efecto, y las segundas por que lo alimentan o lo motivan.

Por experiencia y pruebas realizadas los códigos recomiendan que este factor de seguridad (FS) NO SEA MENOR QUE 1.5, preferiblemente 2 o Mayor.

$$FS \geq 1.5 = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

Para tener una mejor visión del tipo y clasificación que se le puedan dar a las fuerzas se pueden mencionar las siguientes:

### FUERZAS RESISTENTES

Fricción debida a: (1)

- Peso del muro
- Peso del suelo sobre su base
- Peso de su base
- Peso de contrafuertes

Fuerza pasiva

### FUERZAS ACTUANTES

Fuerza debida a sobrecargas

Fuerza debida a humedad

Fuerza lateral debido al peso del suelo

Fuerza activa

Ver Figura 9.

#### 1.3.3.2 VOLTEO

El tipo de falla que tiene mayores efectos negativos en un muro de contención es el volteo, que no es nada mas que el volcamiento debido a la acción de momentos no equilibrados.

Tomando en cuenta este fenómeno también es recomendado un factor de seguridad para el mismo siendo éste una relación entre los momentos resistentes y los momentos actuantes. Que como mínimo deben ser igual o mayor a 1.5 y de preferencia igual a 2.

$$FS \geq 1.5$$

$$FS = \frac{\text{Momentos Resistentes}}{\text{Momentos Actuantes}}$$

### CLASIFICACIÓN DE MOMENTOS:

#### MOMENTOS RESISTENTES

Momento debido al peso del muro

Momento debido a la base

Momento debido al peso del material sobre la base

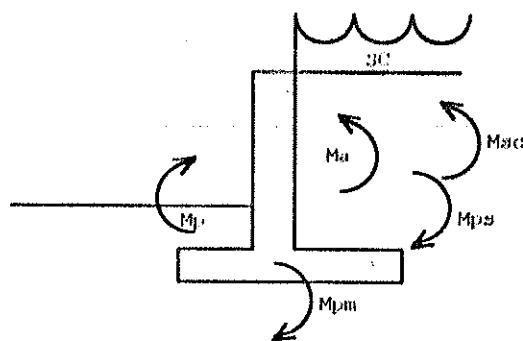
Momento debido a la fuerza pasiva

Momento debido al peso de los contrafuertes

#### MOMENTOS ACTUANTES

Momento debido a sobrecarga

Momento debido a presión activa



donde:

- Mp = Momento pasivo
- Ma = Momento activo
- Mac = Momento \* sobrecarga
- Mps = Momento \* peso suelo
- Mpm = Momento \* peso muro

**Figura 10**  
**Diagrama de Momentos que actúan en un Muro de Contención**



Para lograr cumplir con las condiciones de equilibrio y optimizar el diseño, la Resultante  $R$  de las cargas verticales, debe cumplir condiciones que aseguren la estabilidad del muro.

Esto se puede lograr si se dimensiona de tal manera que la resultante esté ubicada dentro del tercio medio de la base, logrando así la solución mas económica.

**CAPÍTULO DOS:  
DISEÑO DEL MURO**

Al delimitar el tema del cual es objeto el presente estudio, es conveniente enfocar la atención a considerar el análisis y diseño de contrafuertes para muros de contención que por su naturaleza trabajan a tensión.

Haciendo notar que para el diseño de las otras partes del muro existen estudios específicos para el diseño de las mismas, a continuación se menciona en forma general algunos procedimientos de diseño y referencias de utilidad al lector.

## **2.1 DISEÑO DE LAS PARTES DEL MURO**

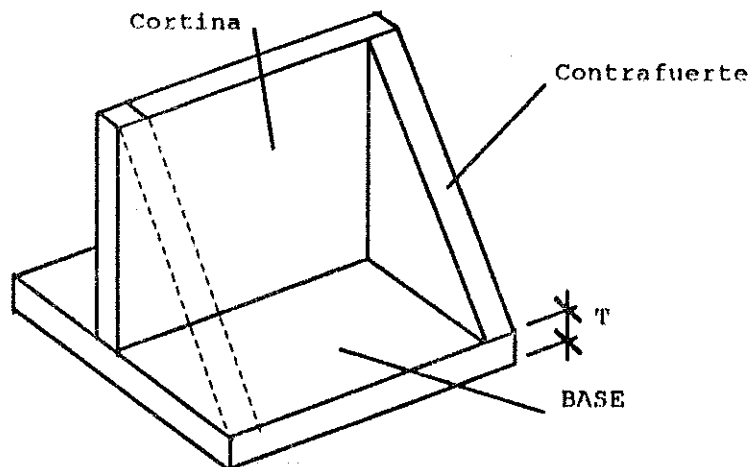
Como hemos mencionado con anterioridad, un muro de contención con contrafuertes, es un muro intermedio entre el muro de gravedad y el muro en voladizo, por lo que es más ligero que el primero y está provisto de refuerzo como el segundo.

Se puede decir que se valen del peso del suelo para su estabilidad. La pared y la base se unen, de tramo en tramo, mediante contrafuertes o muros de amarre, el diseño y análisis de cada una de estas partes se menciona a continuación.

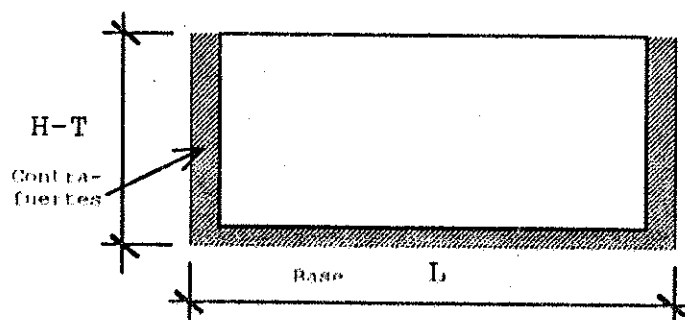
### **2.1.1 DISEÑO DE LA BASE**

En el diseño de muros de contención con contrafuertes a tensión, la base es uno de los elementos de mayor importancia, ya que su longitud permitirá al principio, chequear la estabilidad de muro, otra de sus características es que en uno de sus extremos se anclarán los contrafuertes.

En el diseño propiamente de la base o cimentación de un muro de contención, se debe chequear la presión, el corte y la flexión.



**Figura 11**  
**Muro de Contención con Contrafuerte**



**Figura 12**  
**Modelo Matemático de Diseño**

### 2.1.2 DISEÑO DE LA CORTINA

La cortina de un muro de contención, es específicamente la que transmite las fuerzas producidas por la presión activa a los contrafuertes y a la base. Esta actúa como una losa empotrada en tres de sus extremos y su espesor debe estar diseñado de tal manera que sea capaz de resistir y transmitir las fuerzas mencionadas con anterioridad.

De acuerdo a las recomendaciones de los códigos de diseño su espesor no debe ser menor de 20 cm. y su sección está determinada por la altura del muro y la separación de

los contrafuertes, para su diseño, se puede utilizar varios métodos, entre ellos el de franjas unitarias.

### 2.1.3 DISEÑO DEL CONTRAFUERTE

Para poder desarrollar el análisis de los elementos, se especificarán ciertos criterios para su dimensionamiento y separación.

#### 2.1.3.1 ESPESOR

Según códigos de diseño, por las características del elemento la dimensión mínima recomendada es de 20 cms. y será denotado por la letra "b".

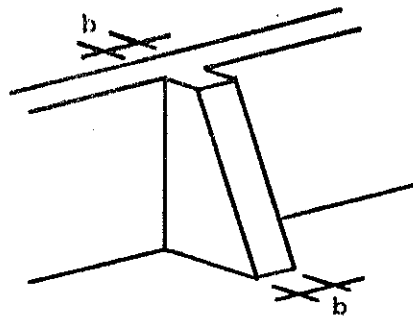
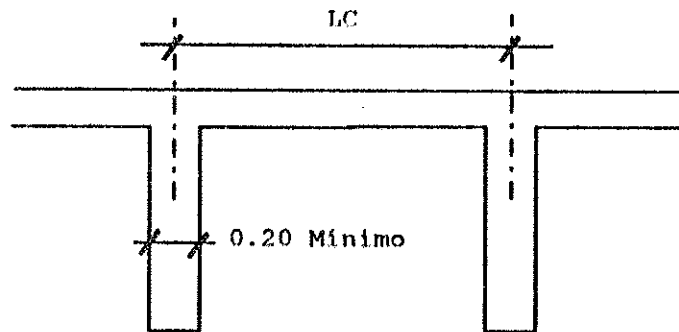


Figura 13  
Espesor en Contrafuertes

#### 2.1.3.2 SEPARACIÓN (lc)

No existe ninguna norma específica que determine la separación entre contrafuertes, pero algunos diseñadores recomiendan el rango comprendido entre  $H/4$  y  $1.5H$  (ver Figura 14).



**Figura 14**  
**Separación entre Contrafuertes**

### 2.1.3.3 ACERO MÁXIMO Y MÍNIMO

Debido a las condiciones de fuerzas, los contrafuertes a tensión actúan como vigas, por lo que se rigen por las normas de diseño de éstas siendo aplicable:

$$A_s \text{ mínimo} = \rho_{\text{mín}} * z * b$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14.1}{F_y} = (\text{Ro mínimo})$$

$$A_s \text{ max} = \rho_{\text{max}} * z * b$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.5 \rho_{\text{bal}}$$

Se recomienda por razones económicas hacer una análisis en  $H$  y  $H/2$ .

### 2.1.3.4 ANÁLISIS MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO DE CONTRAFUERTE

#### PRIMERO

Recolectar información necesaria

$V_s$  = Valor soporte del suelo

$\phi$  = Ángulo de fricción interna

$P_s$  = Densidad del suelo

$h$  = Profundidad recomendada para cimentación

$AN$  = Diferencia de nivel entre plataformas

$M$  = Coeficiente de fricción suelo cimientos

$H$  = Definir altura total de diseño del muro de contención

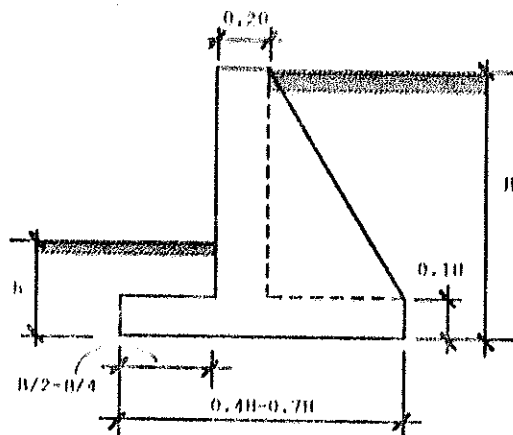
$F'C$  = Resistencia a la compresión de concreto

$F_y$  = Resistencia a tensión del acero

$E_c$  = Módulo de elasticidad del acero

## SEGUNDO

Predimensionar sección del muro



**Figura 15**  
**Criterios recomendados para Predimensionar un**  
**Muro de Contención**

TERCERO

Determinar

Coefficientes

$$K_A = \frac{1}{L} \sin \theta$$

$$\frac{1}{L} \sin \theta$$

$$K_p = \frac{1}{L} \sin \theta$$

$$\frac{1}{L} \sin \theta$$

Prestiones

$$P_a = K_A \cdot P_s \cdot H$$

$$P_{sc} = K_A \cdot s_c \cdot l$$

$$P_p = K_p \cdot P_s \cdot h$$

Fuerzas

$$F_a = P_a \cdot A_p$$

$$F_{sc} = P_{sc} \cdot A_p$$

$$F_p = P_p \cdot A_p$$

Momentos

$$M_a = F_a \cdot L_a$$

$$M_{sc} = F_{sc} \cdot L_{sc}$$

$$M_p = F_p \cdot L_p$$



#### CUARTO

Chequear estabilidad

$$F's \text{ deslizamiento} = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}} \geq 1.5$$

$$F's \text{ volteo} = \frac{\text{Momentos Resistentes}}{\text{Momentos Actuantes}} \geq 1.5$$

#### QUINTO

##### DISEÑO DE CONTRAFUERTES

$$M_{ac} = M_a + M_{sc}$$

El momento actuante debe ser contrarrestado por una tensión aplicada con un brazo igual a  $TZ \Rightarrow$

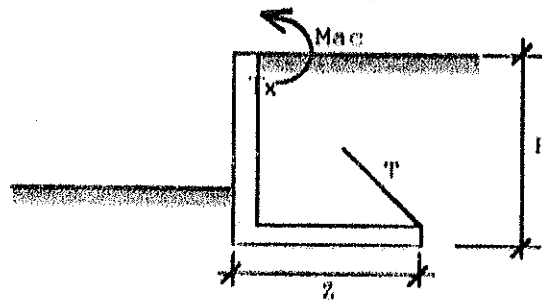
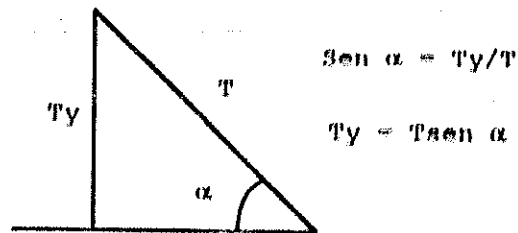


Figura 16  
Diagrama de Momentos en un Muro de  
Contención con Contrafuertes a Tensión

$$M_d = T_y \cdot Z$$

donde:



**Figura 17**  
**Descomposición Vectorial de Tensión**

$$T_y = T \text{ sen } \alpha \quad \& \quad \text{sen } \alpha = \frac{H}{\sqrt{H^2 + Z^2}}$$

$$\rightarrow T_y = \frac{T \cdot H}{\sqrt{H^2 + Z^2}}$$

Sustituyendo datos

$$M_d = \left[ \frac{T \cdot H}{\sqrt{H^2 + Z^2}} \right] \cdot Z$$

despejando T

$$T = \frac{M_d \cdot \sqrt{H^2 + Z^2}}{H \cdot Z}$$

De ecuación general

$$\sigma = F/A; S = 0.5F_y$$

Sustituyendo datos

$$S = T/A_m; A_m = T/S$$

$$A_m = \frac{M_d \cdot (I^2 + Z^2)^{1/2}}{S \cdot I \cdot Z}$$

$$A_t = A_m \cdot l_c$$

OPTIMIZAR SECCIÓN

Verificar  $\rho_T = A_t / (b \cdot d)$

Acero Mínimo y Máximo

$$A_s \text{ mínimo} = \rho_{\text{mín}} \cdot b \cdot d$$

$$\rho_{\text{mín}} = 14.1 / F_y$$

$$\text{si } \rho_{\text{max}} \geq \rho_{\text{tot}} \geq \rho_{\text{mín}} \Rightarrow$$

diseño terminado

$$\text{si } \rho_{\text{tot}} < \rho_{\text{mín}}$$

aumentar  $l_c$   
y repetir procedimiento

$$\text{si } \rho_{\text{tot}} > \rho_{\text{max}}$$

disminuir  $l_c$   
y repetir procedimiento

### 2.1.3.5 EJEMPLO DE DISEÑO

#### Condiciones y Datos

$$\text{Suelo} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$V_s = 15 \text{ ton/m}^2$$

Longitud del corte 20.00 mts.

$$\theta = 30^\circ$$

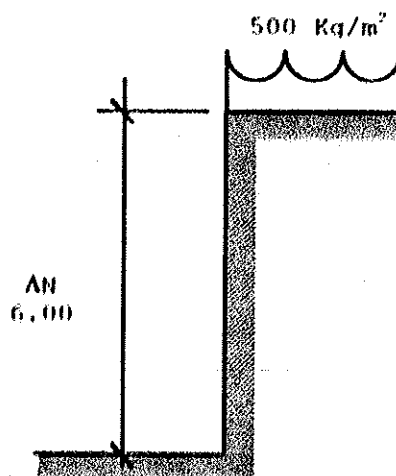
$$M = 0.40$$

#### Datos para diseño

$$\text{Concreto } 2,400 \text{ kg/m}^3$$

$$F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

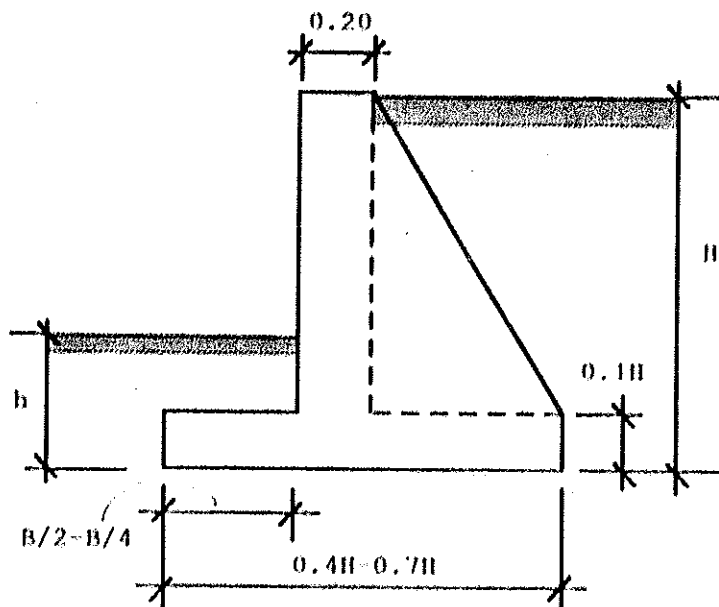
$$F_y = 2810 \text{ kg/cm}^2$$



**Figura 18**  
Condiciones de Diseño  
Ejemplo de Diseño

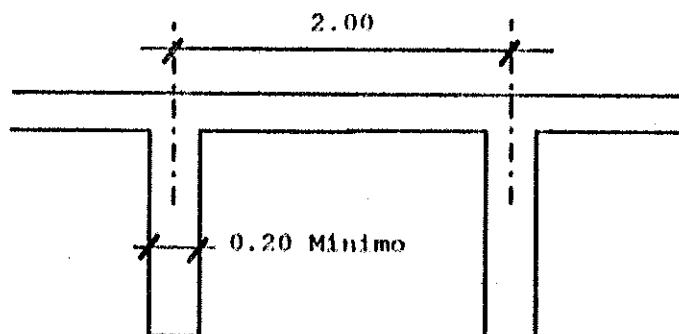
#### Predimensionamiento

Criterio a utilizar

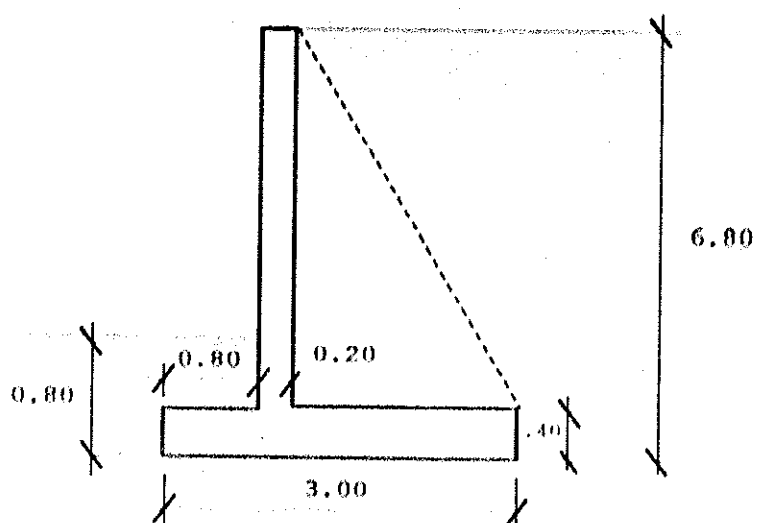


**Figura 19**  
Criterios Recomendados para Predimensionar un Muro de  
Contención

En base a lo anterior se dimensionará así



**Figura 20**  
**Predimensionamiento de Muro en Planta (Ejemplo)**



**Figura 21**  
**Predimensionamiento de Muro**  
**Sección Típica (Muro con Pie)**

## CHEQUEAR ESTÁTICA

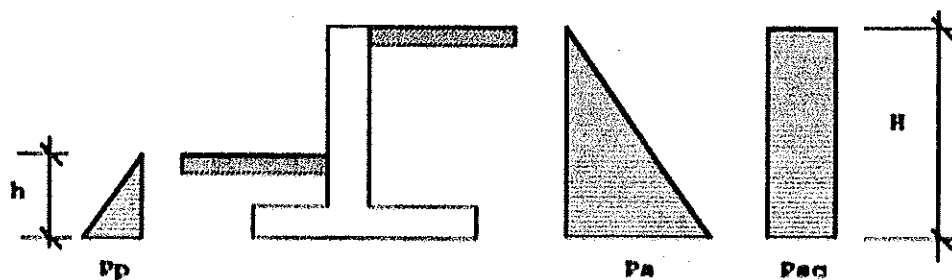


Figura 22  
Diagrama de Prestones (Ejemplos)

Cálculo de coeficiente

$$K_a = 1 \operatorname{sen} 30 = 1/3$$

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen} 30}{1 - \operatorname{sen} 30} = 3$$

Cálculo de Fuerzas y prestones

$$P_a = K_a \cdot \rho_{\text{suelo}} \cdot H$$

$$P_p = K_p \cdot \rho_{\text{suelo}} \cdot h$$

$$P_a = 1/3 \cdot 1600 \cdot 6.80$$

$$P_p = 3 \cdot 1600 \cdot 0.80$$

$$P_a = 3,626.67 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_p = 3,840 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_a = 3,626.67 \cdot 6.80/2$$

$$F_p = 3,840 \cdot 0.80/2$$

$$F_a = 12,330.67$$

$$F_p = 1,536 \text{ Kg}$$

$$M_a = 12,330.67 \cdot 6.8/3$$

$$M_p = 1,536 \cdot 0.8/3$$

$$M_a = 27,949.51 \text{ Kg m}$$

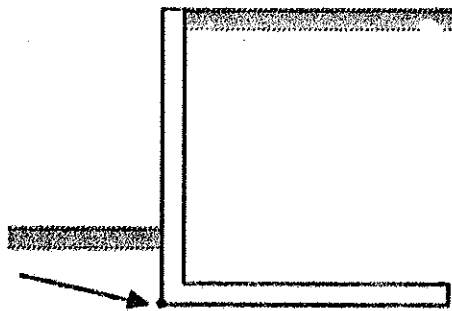
$$M_p = 409.60 \text{ Kg m}$$

Sobrecarga

$$P_{sc} = KA \cdot S_c = 1/3 \cdot 800 = 166.67$$

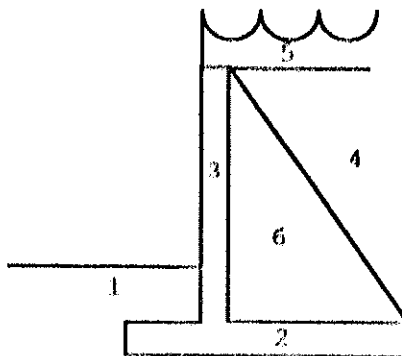
$$F_{sc} = 166.67 \cdot 6.80 = 1133.33$$

$$M_{sc} = 1133.33 \cdot 6.80 / 2 = 3853.33$$



**Figura 23**  
Punto de Referencia de Todos los Momentos

CÁLCULO DEL PESO Y SUS EFECTOS



**Figura 24**  
Delimitación de Áreas para Análisis del Peso

## DISTRIBUIR PESO DE CONTRAFUERTE POR METRO LINEAL

FIG	ÁREA M <sup>2</sup>		PESO Kg	BRAZO Mts	MOMENTO Kg-Mts
1	.32	1,600	512	0.40	204.80
2	1.20	2,400	2,880	1.50	4320.00
3	1.28	2,400	3,072	0.90	2764.80
4	12.80	1,600	20,480	2	40960.00
5	2.00	500	1,000	2	2000.00
6	0.64	2,400	1,536	1.67	2565.12
Por c/2mts => + 2			29,480.00		52,814.72

CHEQUEOS

$$\text{DESLIZAMIENTO} = \frac{1536 + (29480.00 \cdot 40)}{12330 + 1133.33} = \frac{13,328 \text{ Kg}}{13,463.33 \text{ Kg}}$$

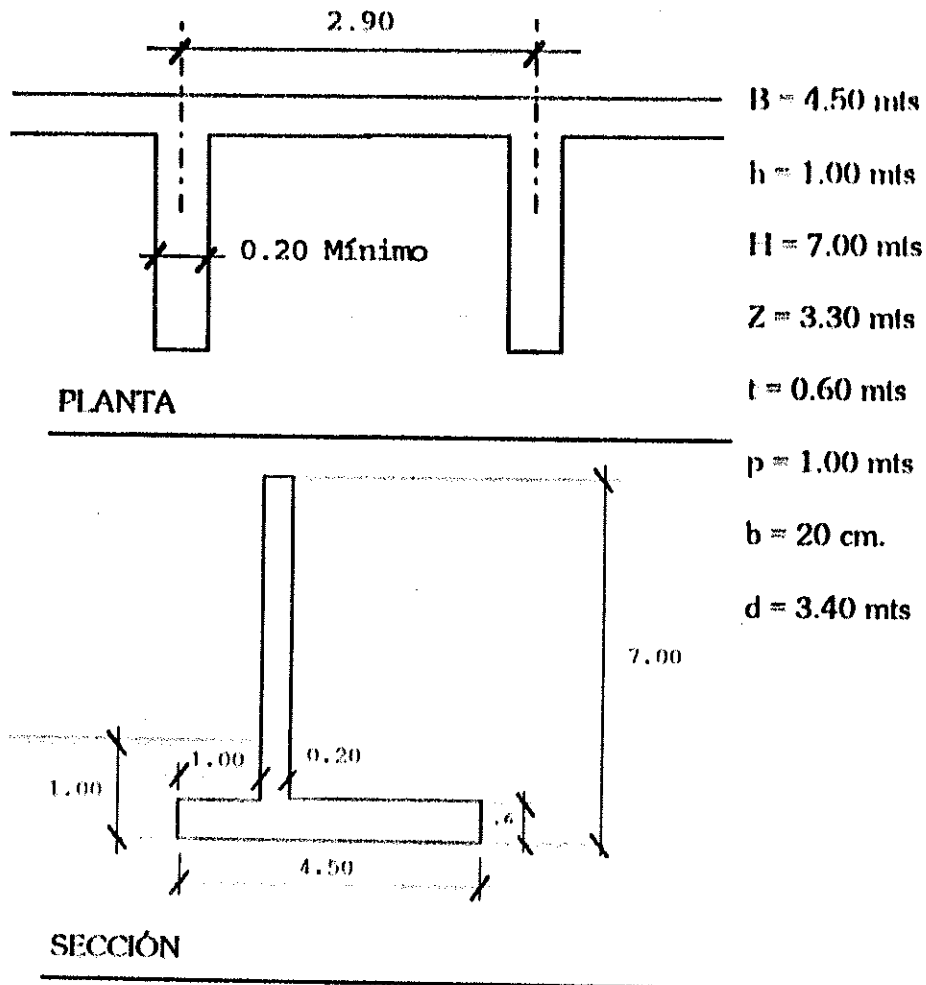
$F_s = 0.99 \leq 1.5$  No chequea

=> Agrandar base y aumentar profundidad de cimentación



## SEGUNDA ITERACIÓN

### Predimensionamiento



**Figura 25**  
Segundo Predimensionamiento de Muro

## Cálculo de Fuerzas y Presiones según Rankine

Tipos	Coficiente	Densidad Kg/M <sup>3</sup>	Presión Kg/M <sup>2</sup>	Fuerza Kg	Momento Kg-m
Activa	1/3	1,600	3733.33	13,066.67	30,488.87
Sobrecarga	1/3	500	166.67	1,166.67	4,083.33
Pasiva	3	1,600	4800.00	2,400.00	800.00

## Cálculo del Peso y sus Momentos

FIG	ÁREA M <sup>2</sup>	DENSIDAD Kg/m <sup>2</sup>	PESO Kg	BRAZO mts	MOMENTO Kg-m
1	.40	1600	640.00	0.5	320.00
2	2.70	2400	6480	2.25	14,580.00
3	1.28	2400	3072.00	1.10	3,379.20
4	21.12	1600	33,792.00	2.85	96,307.20
5	3.30	500	1,650.00	2.85	4,702.50
6*	0.728	2400	1,747.86	2.30	4,020.08
			47,381.86		123,308.98

\* Lc=2.90 mts.

## Chequeos

$$\text{Deslizamiento} = \frac{2400 + 0.4(47,381.56)}{14,233.34} = 1.50018$$

$$\text{Volteo} = \frac{123,308.98}{34,572.20} = 3.566$$

## Diseño contrafuertes

S = 0.5 Fy      Factor de Reducción para evitar grietas en el concreto.

$$Md = 34,572.2 \text{ kg m}^2 \quad AM = \frac{Md(H^2 + 2) \cdot \frac{1}{2}}{S \cdot Z \cdot H} = 8.2435 \text{ cm}^2$$

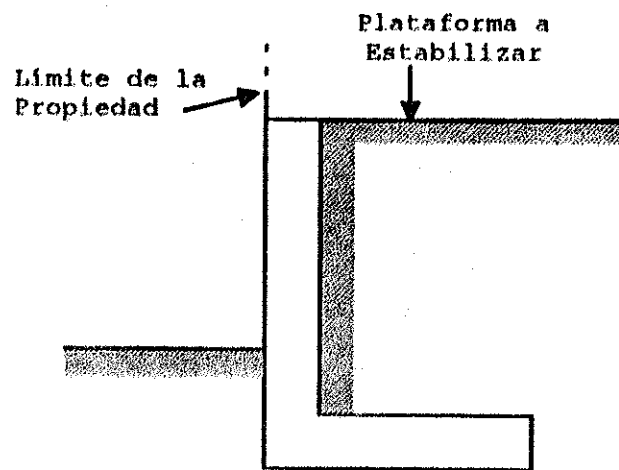
$$At = AM \cdot lc = 23.90 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} = 14.1/2810 = 0.0050 (*b*d) = 34.12 \text{ cm}^2$$

=> USAR AS MIN

#### 2.1.4 ALTERNATIVAS DEL USO DEL CONTRAFUERTE

En casos particulares existe el inconveniente de tener que edificar en terrenos denominados colindantes superior, por lo que el muro de contención no poseerá pie.



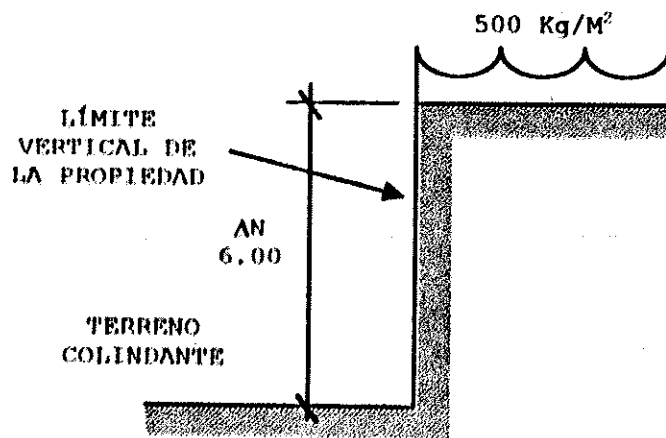
**Figura 26**  
**Diagrama de Muro sin Pie**

Debido a estas limitantes, varlarán las condiciones de Estática del muro, siendo el muro sin pie más eficiente en la utilización de este tipo de contrafuertes.

## 2.1.4.1 EJEMPLO DE DISEÑO

## MURO SIN PIE

## Condiciones y datos

Condicionessuelo = 1600 kg/m<sup>3</sup>Vs = 15 ton/m<sup>2</sup>

Longitud de corte 20.00

 $\phi = 30$ 

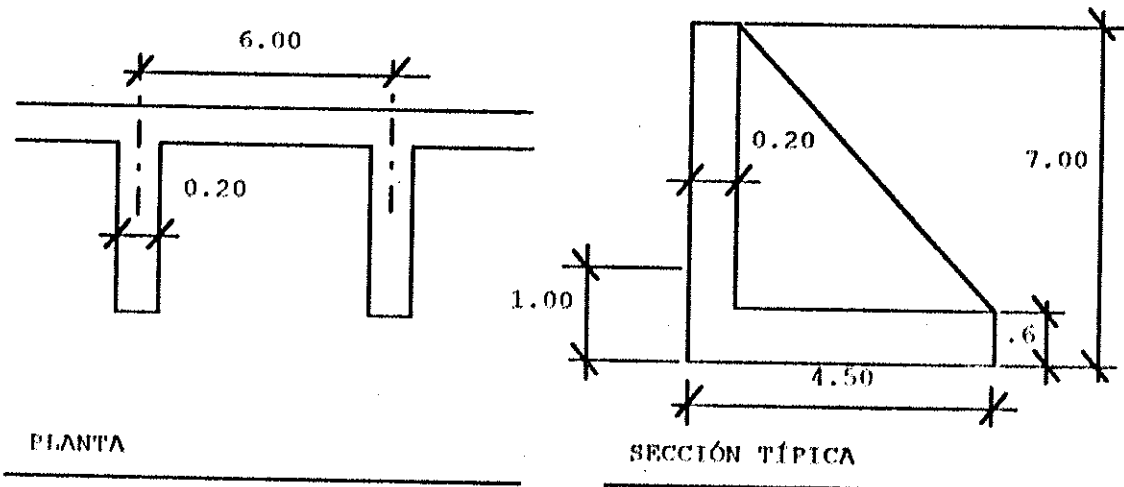
Mu = 0.40

Datos de diseñoconcreto = 2400 kg/m<sup>3</sup>

**Figura 27**  
Condiciones de Diseño (Ejemplo)

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 \quad Fy = 2810 \text{ kg/cm}^2$$

## Predimensionamiento



**Figura 28**  
Predimensionamiento de Muro (Ejemplo)

## Cálculo de Fuerzas y Presiones según Rankine

Tipos	Coficiente	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Presión Kg/m <sup>2</sup>	Fuerza Kg	Momento Kg m
Activa	1/3	1,600	3733.33	13,066.67	30,488.87
Sobrecarga	1/3	500	166.67	1,166.67	4,083.33
Pasiva	3	1,600	4800.00	2,400.00	800.00

## Cálculo del Peso y sus Momentos

FIG	ÁREA M <sup>2</sup>	DENSIDAD Kg/M <sup>3</sup>	PESO Kg	BRAZO Mts	MOMENTO Kg-mts
1	2.7	2,400	6,480	2.25	14,580.00
2	1.28	2,400	3,072.00	0.10	307.20
3	27.52	1,600	44,032	2.35	103,475.20
4	4.3	500	2,150	2.35	5,052.5
5	0.4586	2,400	1,100	1.63	1,794.30
			56,834.80		125,209.20

CHEQUEOS

$$\text{Deslizamiento} = \frac{2400 + 0.4(56,834.80)}{14,233.34} = 1.765$$

$$\text{Volteo} = \frac{125,209.20}{34,572.20} = 3.62$$

Diseño de contrafuertes

$$S = 0.5 F_y$$

$$M_d = 34572.20 \text{ Kg-mts}$$

$$AM = \frac{Md \cdot (H^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}}}{S \cdot Z \cdot H} = 6.7158 \text{ cm}^2$$

$$AT = AM \cdot I_c$$

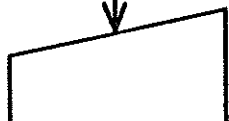
$$AT = 40.29 \text{ cm}^2$$

$$As \text{ min} = 14.1/2810 = 0.0050177 \cdot b \cdot d$$

$$As \text{ min} = 45.15 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Usar } As \text{ min.}$$

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ANÁLISIS Y DISEÑO**

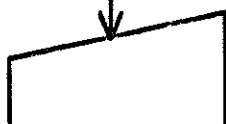
Presentación del Programa



Ingreso de Información, características del terreno y materiales.



Determinación de coeficientes según Rankine.



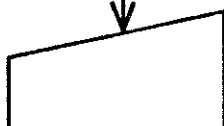
Ingreso de dimensiones, sección de muros.



Cálculo de presiones y fuerzas actuantes y resistentes.



Impresión de valores de presiones y fuerzas actuantes y resistentes.



Ingresar dimensión de la base y separación de Cf.



Cálculo de peso y momentos



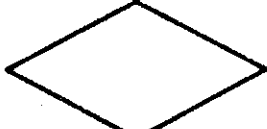
Impresión de pesos y momentos



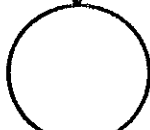
Cálculo de coeficientes



Impresión de coeficiente



Chequeo de coeficiente



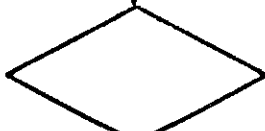
Si chequea continuar, si no regresar a dimensionar sección de muro.



Presentación de inicio de diseño de contrafuertes.



Cálculo de refuerzo de contrafuerte. Cálculo de relación área de acero. Comparación de  $A_s$  min-max.



Chequeo de relación área de acero. Impresión de refuerzos y relación área de acero.



Si chequea OK, fin o afinar. Si no chequea, reconsiderar separación.



Fin



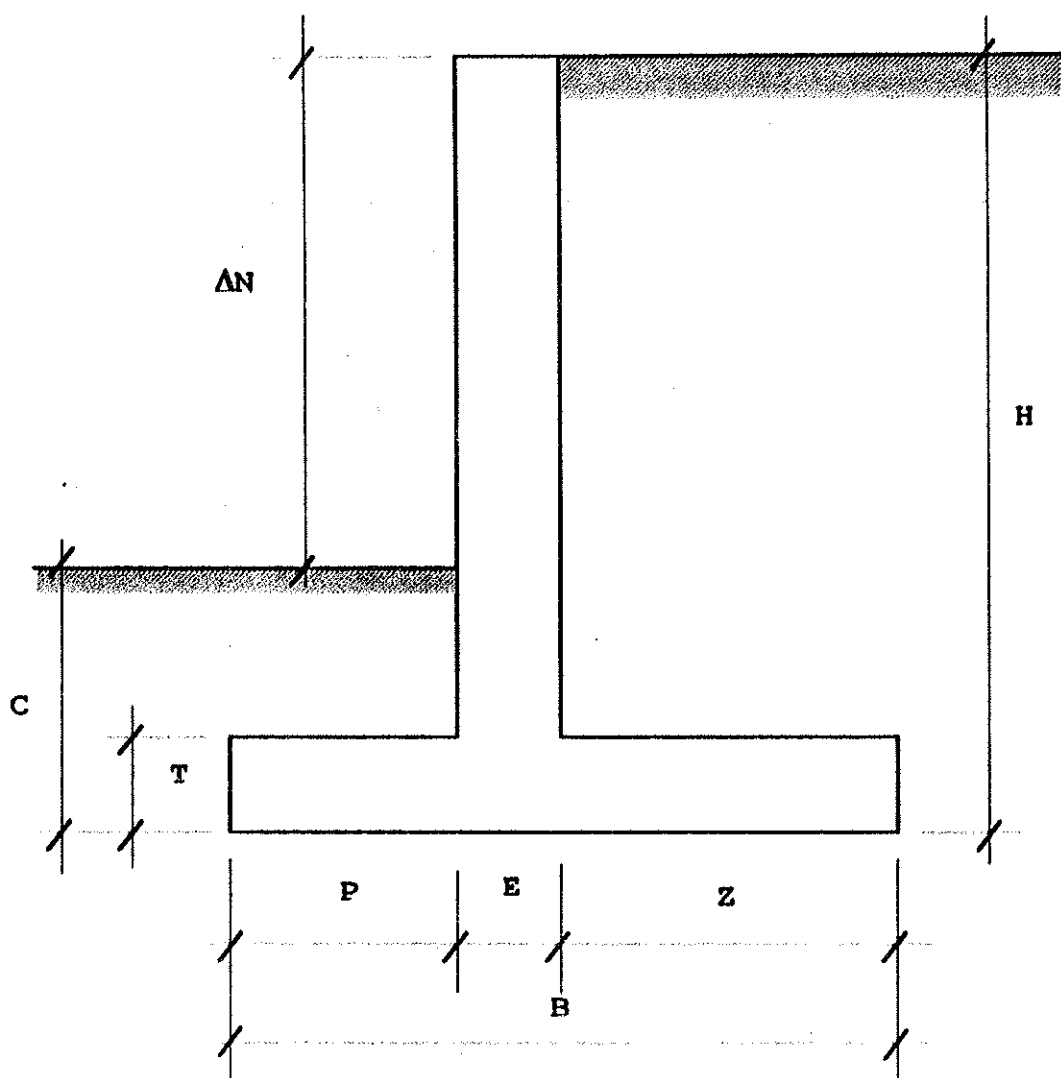


Figura 29  
Asignación de Variables a Sección de Muro de Contención para Programa

D' Programa para Microsoft QuickBasic

PRINT "Muros con Contrafuertes"

'Ingreso de informaci3n

PRINT "Ingrese informaci3n"

INPUT "H="; H

INPUT "Den.S="; S

INPUT "Angulo de reposo="; O

INPUT "Sobrecarga="; S1

INPUT "Nu="; U

INPUT "Den.C="; S2

INPUT "EY="; Y

INPUT "Es="; H2

INPUT "ic="; H1

'C leulo de C1 y C2

$C1 = (1 - \sin(O)) / (1 + \sin(O))$

$C2 = (1 + \sin(O)) / (1 - \sin(O))$

30 'Ingreso de otros datos

INPUT "C="; C

INPUT "T="; T

INPUT "E="; E

INPUT "P="; P

'C leulo

$P1 = C1 * H * S$

$P2 = C1 * S1$

$P3 = C * C2 * S$

$F1 = P1 * H * .5$

$F2 = P2 * H$

$F3 = P3 * C * .5$

$M1 = F1 * H / 3$

$M2 = 2 * H * .5$

$M3 = F3 * C / 3$

'Impresi3n de resultados

PRINT "FA="; F1

PRINT "MA="; M1

PRINT "FS="; F2

PRINT "MS="; M2

PRINT "FP="; F3

PRINT "MP="; M3

INPUT "Ingreso base"; B

$Z = B - P - E$

$V1 = (C - T) * P * S$

$V2 = B * T * S2$

$V3 = E * (H - T) * S2$

```
V4 = Z * (H - T) * S
V5 = Z * S1
```

```
140 INPUT "Separación de CF="; L
INPUT "Espesor de CF="; E1
```

```
V6 = .5 * Z * (H - T) * E1 * S2 / L
V7 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6
```

```
PRINT "Peso total="; V7
```

```
X1 = V1 * P * .5
X2 = V2 * B * .5
X3 = V3 * (P + E * .5)
X4 = V4 * (P + E + Z * .5)
X5 = V5 * (P + E + Z * .5)
X6 = V6 * (P + E + Z / 3)
X7 = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6
```

```
PRINT "Chequeos"
Y1 = (F3 + U * V7) / (F1 + F2)
PRINT "FS="; Y1
```

```
IF Y1 > 1.5 THEN
  PRINT "No chequea"

  INPUT ""Desea continuar (S/N)?"; A$
  IF A$ = "S" THEN
    PRINT "Aumente dimensiones"
    GOTO 30
  ELSE
    END
  END IF
END IF
```

```
Y2 = (M3 + M7) / (M1 + M2)
PRINT "FSV="; Y2
```

```
IF Y2 > 1.5 THEN
  PRINT "No chequea"

  INPUT ""Desea continuar (S/N)?"; A$
  IF A$ = "S" THEN
    PRINT "Aumente dimensiones"
    GOTO 30
  ELSE
    END
  END IF
END IF
```

```
PRINT "Diseño de Contrafuertes"
Y3 = .5 * Y
A = ((M1 + M2) * (H ^ 2 + Z ^ 2)) / (Y3 * Z * H)
PRINT "A/M="; A

A1 = A * L
PRINT "A Total="; A1

G = (Z * 100 - 10) * E1 * 100
J1 = A1 / G
PRINT "Ro.Tot.="; J1

J2 = 14.1 / Y * A
PRINT "Ro.Min.="; J2

W = Y / H2
J3 = (.85 ^ 2 * H1 * .003) / (Y * (W + .003))
J4 = J3 * .5
PRINT "Ro.Max.="; J4

IF J1 >= J2 THEN
    IF J1 <= J4 THEN
        GOTO 370
    ELSE
        GOTO 460
    END IF
ELSE
    GOTO 450
END IF

370 PRINT "Diseño terminado"

INPUT ""Desea afinar (S/N)?"; AS
IF AS = "S" THEN
    GOTO 140
ELSE
    END
END IF

450 PRINT "Aumente separación"
GOTO 140

460 PRINT "Disminuya separación"
GOTO 140

END
```

## TABULACIONES

Las tablas que se presentan a continuación fueron determinadas tomando en cuenta los siguientes valores constantes.

### ESPECIFICACIONES DE DISEÑO CONSTANTES

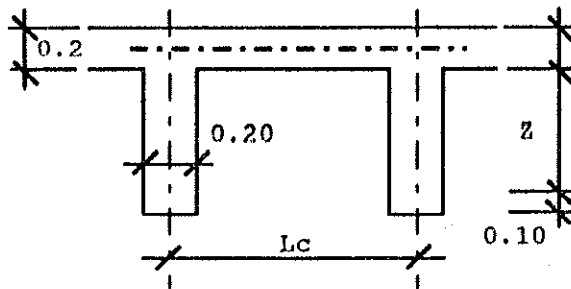
$f'c$	210 Kg/cm <sup>2</sup>
$Fy$	2,810 Kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del concreto	2,400 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad del suelo	1,600 Kg/m <sup>3</sup>
Profundidad de cimentación	1 mt.
Espesor de contrafuertes	0.20 mts.
Espesor cortina	0.20 mts.

Se recomienda para su utilización cumplir estas condiciones como mínimo.

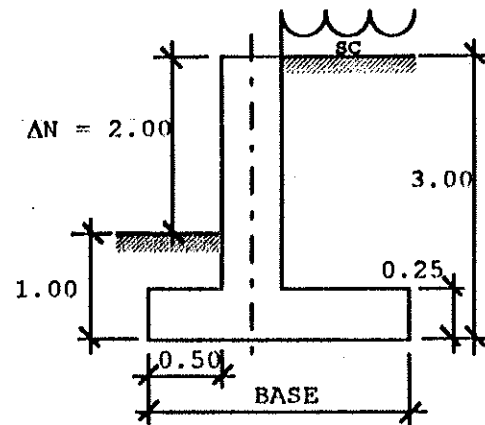
Si las condiciones de diseño se varían, puede utilizarse el programa de computación que se presenta y obtener resultados para un diseño en particular.

Nomenclatura:

N	Diferencia de nivel (en metros)
BASE	Cimiento del muro de contención (en metros)
SC	Sobrecarga (Kg/m <sup>2</sup> )
LC	Distancia a ejes entre contrafuertes (en metros)
AS	Área en acero (cm <sup>2</sup> )



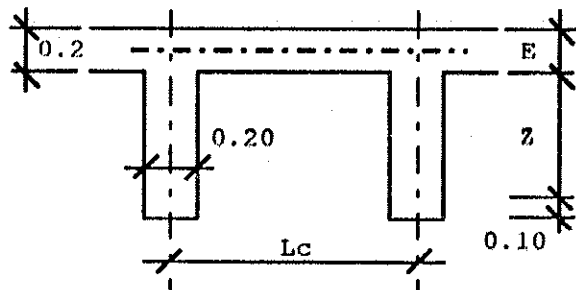
PLANTA



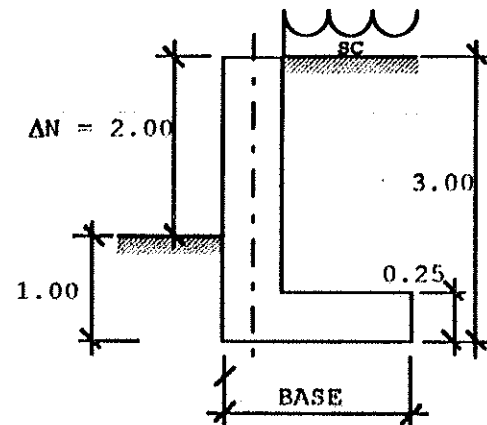
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 3  
Diseño de Muros con Pte ( $\Delta N=2.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
2.00	1.20	1.25	6.97	**	**	**	**
2.00	1.50	3.25	9.99	2.75	9.99	**	**
2.00	1.50	4.00	11.60	4.00	14.36	**	**
2.00	1.50	5.00	14.50	5.00	17.96	**	**
2.00	1.50	6.00	17.40	6.00	21.54	**	**
2.00	2.00	**	**	**	**	5.25	15.00
2.00	2.00	**	**	**	**	6.00	16.65



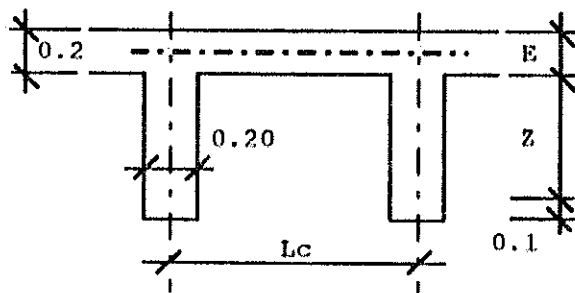
PLANTA



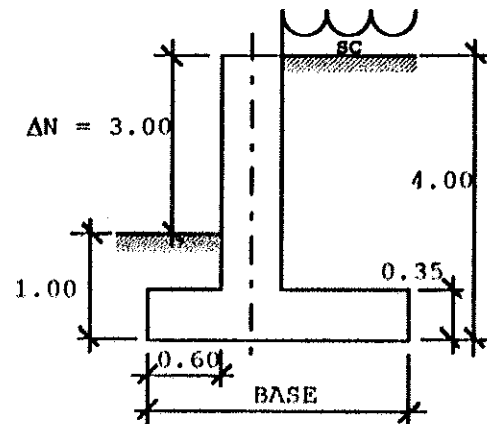
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 4  
Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N = 2.00$ )

$\Delta N$	BASE	$SC \approx 500 \text{ Kg/m}^2$		$SC \approx 1,000 \text{ Kg/m}^2$		$SC \approx 1,500 \text{ Kg/m}^2$	
		lc	As	lc	As	lc	As
2.00	1.20	5.00	12.00	**	**	**	**
2.00	1.20	6.00	14.18	**	**	**	**
2.00	1.50	**	**	6.00	15.00	5.00	15.00
2.00	1.50	**	**	**	**	6.00	16.64



PLANTA

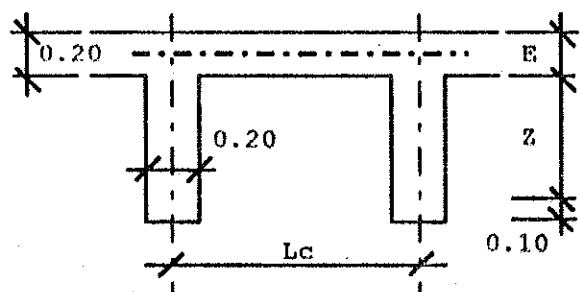


SECCIÓN TÍPICA

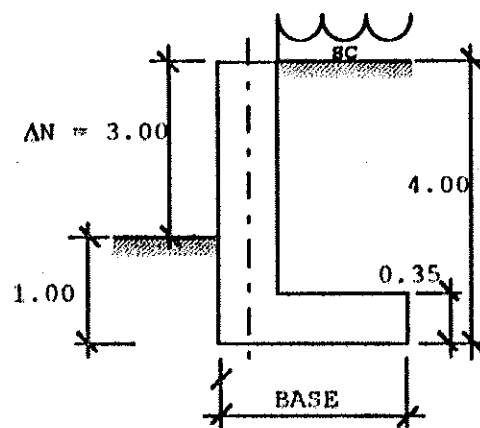
Tabla No. 5  
Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=3.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
3.00	1.60	**	**	**	**	**	**
3.00	2.00	1.25	14.00	**	**	**	**
3.00	2.50	5.75	19.02	5.00	19.02	2.50	19.02
3.00	2.50	7.00	22.36	6.00	22.80	**	**
3.00	2.50	8.00	25.56	7.00	26.61	**	**
3.00	2.50	**	**	8.00	30.40	**	**
3.00	2.75	**	**	**	**	5.00	21.63
3.00	2.75	**	**	**	**	7.00	27.54
3.00	2.75	**	**	**	**	8.00	31.48





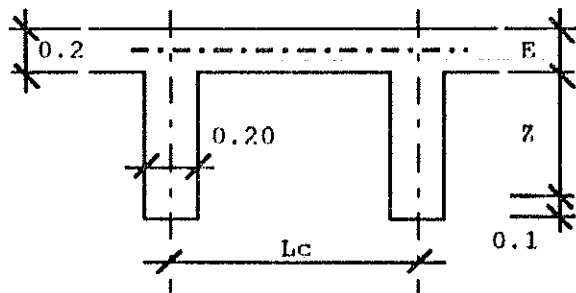
PLANTA



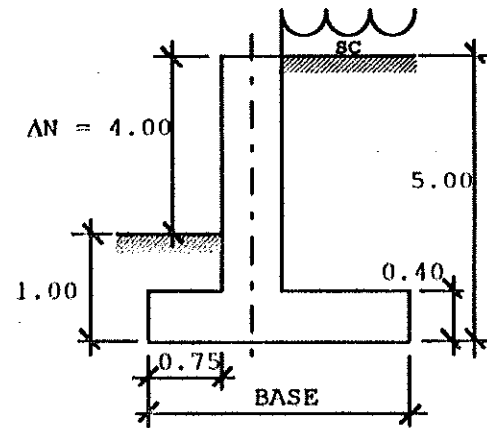
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 6  
Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=3.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
3.00	1.60	1.25	16.00	**	**	**	**
3.00	2.00	6.00	20.02	5.50	20.02	1.75	20.02
3.00	2.00	7.00	21.31	6.00	21.73	**	**
3.00	2.00	8.00	24.35	7.00	25.36	**	**
3.00	2.00	**	**	8.00	28.98	**	**
3.00	2.00	**	**	**	**	**	**
3.00	2.50	**	**	**	**	7.00	25.03
3.00	2.50	**	**	**	**	8.00	27.66



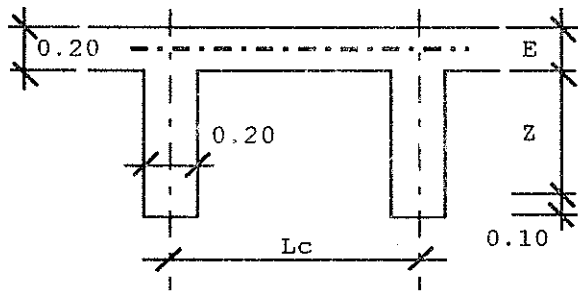
PLANTA



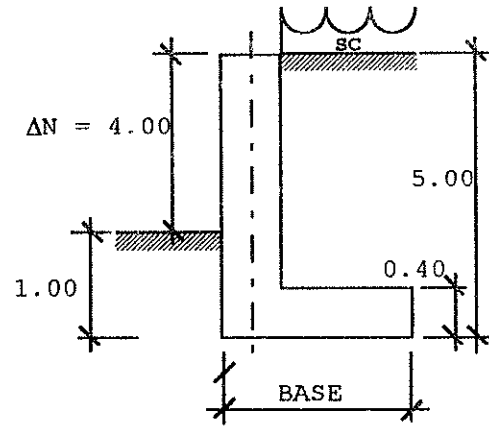
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 7  
Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=4.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
4.00	3.00	4.00	22.53	1.00	22.53	**	**
4.00	3.00	5.00	24.73	**	**	4.00	27.54
4.00	3.00	6.00	29.70	**	**	**	**
4.00	3.00	8.00	39.61	**	**	**	**
4.00	3.25	**	**	4.00	25.03	1.00	25.03
4.00	3.25	**	**	6.00	31.22	**	**
4.00	3.25	**	**	8.00	41.63	**	**
4.00	3.50	**	**	**	**	5.00	27.54
						6.00	32.63
4.00	3.50	**	**	**	**	8.00	43.51



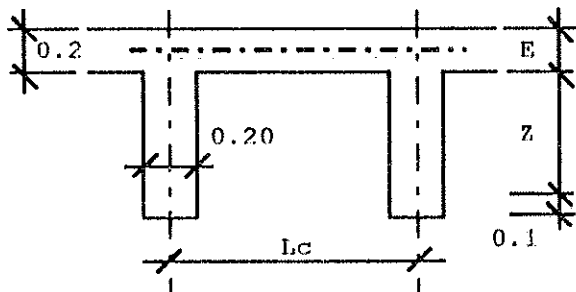
PLANTA



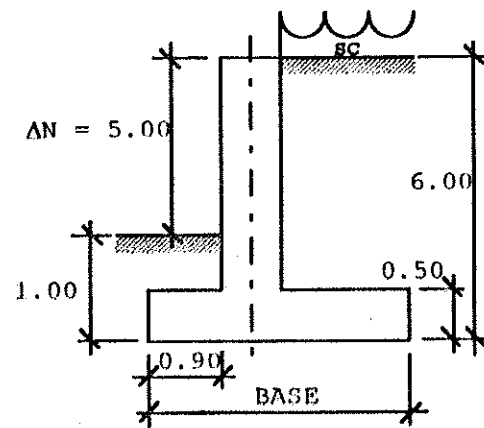
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 8  
Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=4.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
4.00	2.00	**	**	**	**	**	**
4.00	2.50	5.50	25.03	2.00	25.03	**	**
4.00	2.50	6.00	26.97	**	**	**	**
4.00	2.50	7.00	31.46	**	**	**	**
4.00	2.50	8.00	35.95	**	**	**	**
4.00	2.75	**	**	5.50	27.55	3.00	27.54
4.00	2.75	**	**	6.00	28.72	**	**
4.00	2.75	**	**	8.00	38.29	**	**
4.00	3.00	**	**	**	**	6.00	30.34



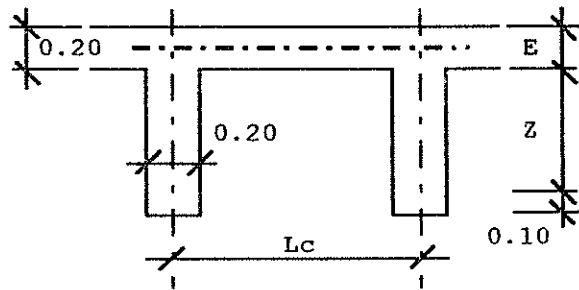
PLANTA



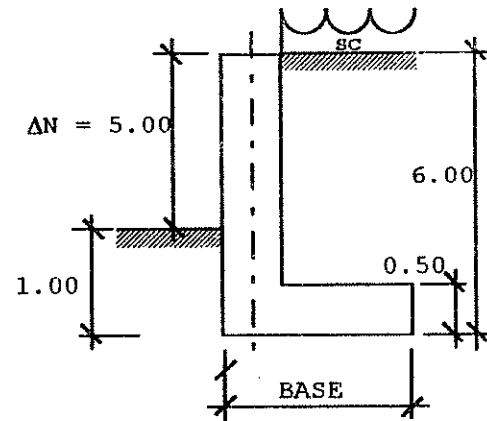
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 9  
Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N=5.00$ )

AN	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
5.00	2.40	**	**	**	**	**	**
5.00	3.00	**	**	**	**	**	**
5.00	3.75	2.75	28.55	**	**	**	**
5.00	4.00	5.00	31.06	4.00	31.06	2.00	31.06
5.00	4.00	6.00	36.31	**	**	**	**
5.00	4.00	7.00	42.36	**	**	**	**
5.00	4.00	8.00	48.41	**	**	**	**
5.00	4.25	**	**	5.00	33.57	4.00	33.57
5.00	4.25	**	**	6.00	38.59	5.00	35.98
5.00	4.25	**	**	8.00	51.45	6.00	43.18



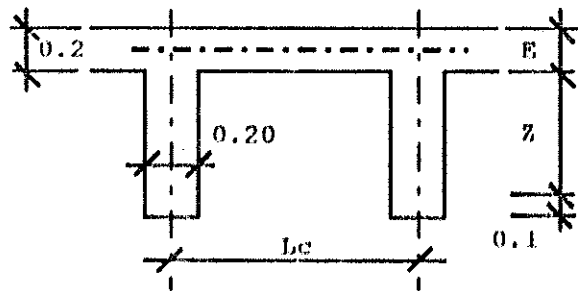
PLANTA



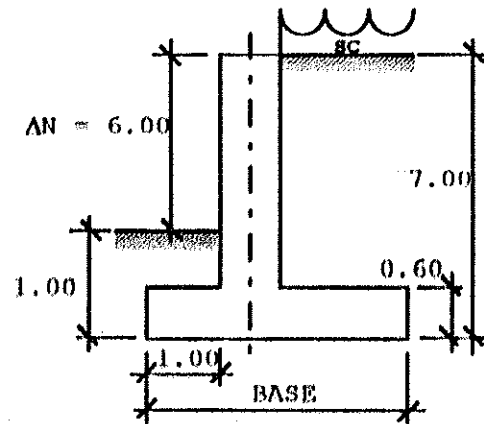
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 10  
Diseño de Muros sin Pie ( $\Delta N=5.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
5.00	2.40	**	**	**	**	**	**
5.00	3.00	2.50	30.06	**	**	**	**
5.00	3.50	6.00	35.07	5.00	35.07	5.00	35.07
5.00	3.50	7.00	38.25	6.00	37.21	6.00	41.65
5.00	3.50	8.00	43.71	8.00	49.62	8.00	55.53



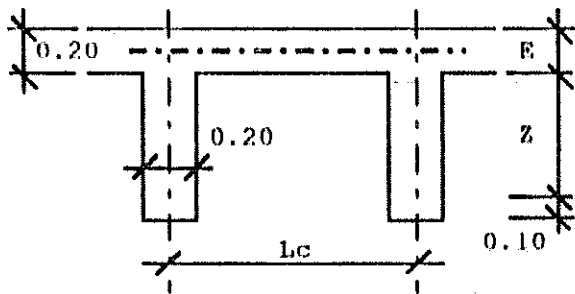
PLANTA



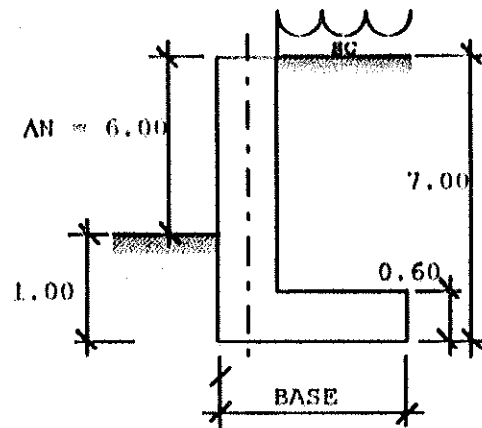
SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 11  
Diseño de Muros con Pie ( $\Delta N = 6.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
6.00	2.75	**	**	**	**	**	**
6.00	3.00	*	**	**	**	**	**
6.00	3.50	**	**	**	**	**	**
6.00	4.00	**	**	**	**	**	**
6.00	4.50	2.90	35.07	**	**	**	**
6.00	4.90	5.00	39.08	4.50	39.08	2.75	39.08
6.00	4.90	6.00	45.13	6.00	50.46	**	**
6.00	4.90	8.00	60.18	8.00	67.29	**	**
6.00	5.00	**	**	**	**	4.50	40.99



PLANTA



SECCIÓN TÍPICA

Tabla No. 12  
Diseño de Muros sin Ple ( $\Delta N=6.00$ )

$\Delta N$	BASE	SC = 500 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,000 Kg/m <sup>2</sup>		SC = 1,500 Kg/m <sup>2</sup>	
		lc	As	lc	As	lc	As
6.00	2.80	**	**	**	**	**	**
6.00	3.00	**	**	**	**	**	**
6.00	3.50	1.00	35.07	**	**	**	**
6.00	4.00	5.00	40.09	5.00	41.19	2.00	40.09
6.00	4.00	6.00	44.21	6.00	49.43	**	**
6.00	4.00	7.00	51.58	7.00	57.67	**	**
6.00	4.00	8.00	58.95	8.00	65.91	5.40	45.11
6.00	4.50			**	**	6.00	49.81
6.00	4.50		49.12	**	**	**	**

## USO DE TABLAS

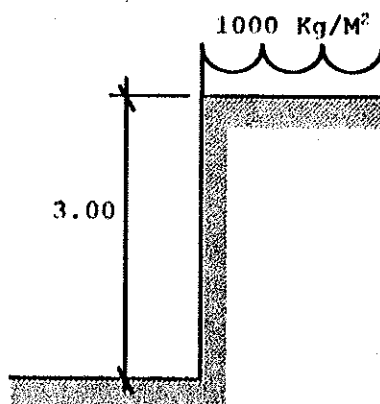


**EJEMPLO 3:**

Se desea construir un muro de contención a lo largo de un terreno de 8.00 metros de longitud. La diferencia de nivel a retener es de 3.00 mts. y existe una sobrecarga en la parte superior del desnivel de  $1,000 \text{ Kg/m}^2$ .

**SOLUCIÓN:****PASO No. 1**

Esquematizar condiciones de diseño



**Figura 30**  
**Condiciones de Diseño**  
**(Ejemplo 3)**

**PASO No. 2**

Seleccionar tabla

Como no existe ninguna limitante en cuanto a colindancia, se escogerá un muro con pie.

De Tabla No. 3:

Base = 2.50 mts.

Lc = 5.75 mts.

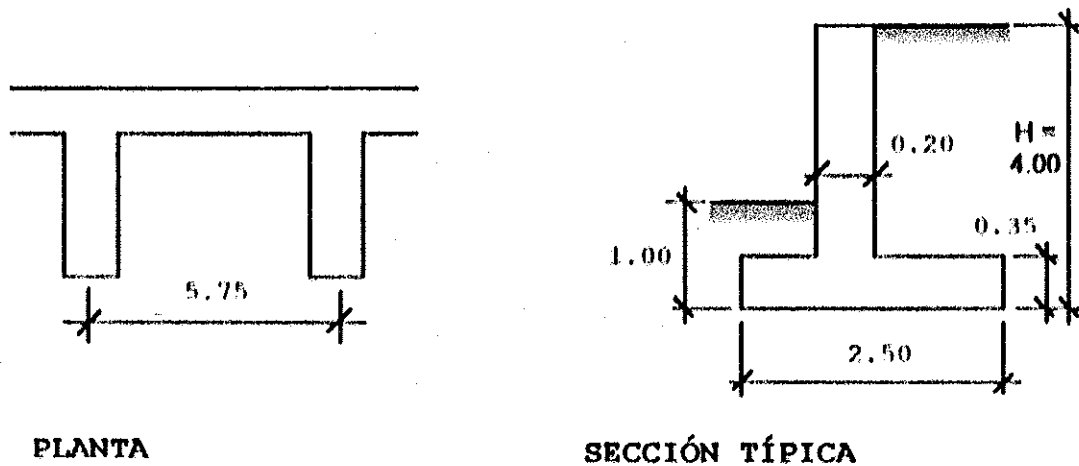
$$Ref = 19.02 \text{ cm}^2$$

$$T = 0.35$$

$$E = 0.20$$

$$d = 0.20$$

### PASO No. 3



PLANTA

SECCIÓN TÍPICA

Figura 31  
Información de Tabla (Ejemplo 3)  
Graficar Información de tabla

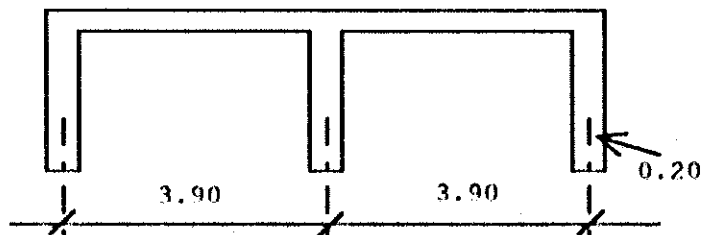
Como  $lc_{max} = 5.75 \text{ mts} = lc_{\text{óptima}}$

Calcular separación real de contrafuertes

$$\Rightarrow lc_{\text{real}} = \frac{\text{Longitud Total de Terreno} - b}{lc_{\text{óptima}}}$$

$$lc = (8.00 - 0.20) / 5.75 = 1.35 \text{ espacios usar } 2$$

$$lc = 3.90 \text{ mts}$$

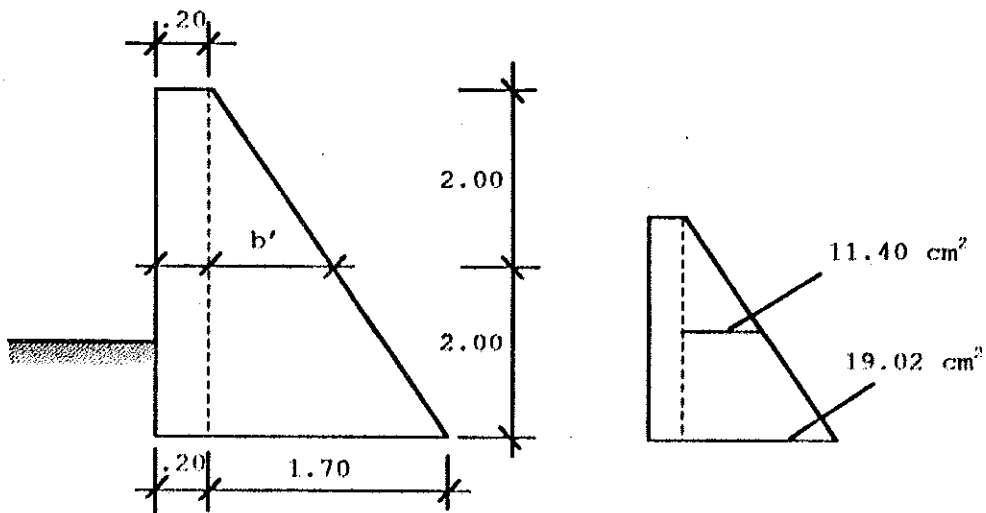


**Figura 32**  
**Separación Real de Contrafuertes**

### REFUERZO

$A_s \approx 19.02 \text{ cm}$  (en la base)

Se recomienda hacer un análisis a mitad del contrafuerte para optimizar el  $A_s$ .



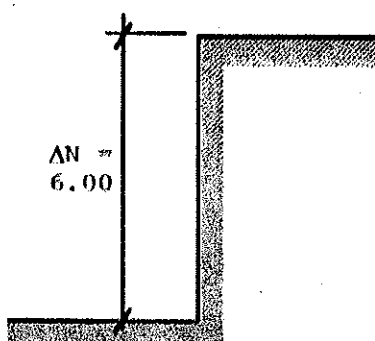
**Figura 33**  
**Análisis de Área de Acero**

#### EJEMPLO 4

Se desea construir una serie de viviendas en un terreno quebrado, por lo que se necesita construir plataformas, con una diferencia de nivel de 6.00 mts. Se debe considerar que el muro de contención se encuentra en el terreno de la parte superior y su largo total será de 15.00 metros.

#### SOLUCIÓN

##### PASO No. 1



**Figura 34**  
Condiciones de Diseño  
(Ejemplo 4)

##### PASO No. 2

#### SELECCIONAR TABLA

Debido a las limitantes, se seleccionará un muro sin pie.

De Tabla No. 10:

$S_c \approx 500$  (mínima)

Base  $\approx 3.50$

$l_c \approx 1.00$

$A_s \approx 35.07$

$T \approx 0.60$

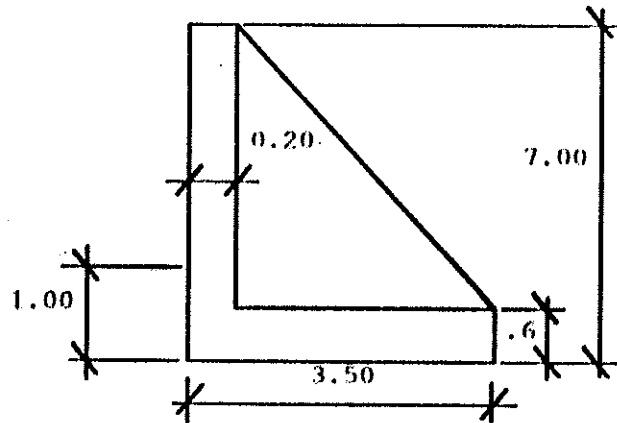
$E \approx 0.20$

$d \approx 0.20$

**PASO No. 3**

Graficar información de tablas.

Sección:

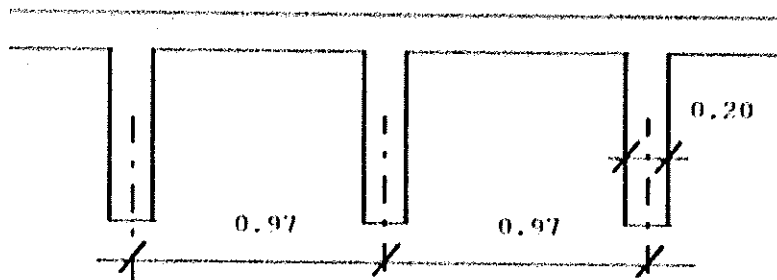


**Figura 35**  
**Información de Tablas**  
**(Ejemplo 4)**

Planta:

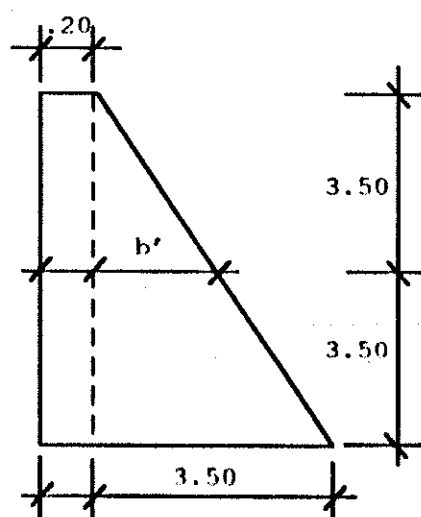
Como  $l_c \text{ max} = 1.00$ 

Calcular separación real

No espacios  $= 14.80/1.00 = 14.80 \approx 15$  $\Rightarrow 14.80/15.00 = 0.97$ 

**Figura 36**  
**Separación Real de Contrafuertes**

Refuerzos:



$$A_s = 35.07 \text{ cm}^2$$

Análisis a mitad del contrafuerte

$$\frac{3.50}{7} = \frac{b'}{3.50} = 1.75 \text{ mts.}$$

$$A_{s \text{ min}} = 19.57 \text{ cm} (b')$$

$$A_{s \text{ necesario}} = 8.07 \text{ cm}^2$$

**Figura 37**  
**Análisis de Área de Acero**

## CONCLUSIONES

- Los contrafuertes a tensión para muros de contención, son elementos estructurales que por su naturaleza se encuentran entre los elementos más económicos para contrarrestar los efectos de empuje lateral de suelos.
- Debido a las recomendaciones dadas por los códigos para el predimensionamiento de los contrafuertes y su separación entre sí, la mayoría de éstos trabajan con áreas de acero mínimas.
- De acuerdo al análisis y tabulaciones realizadas se logró determinar que la sección de muro que no posee pie (ver Figura 26) es la más efectiva en la utilización de contrafuertes a tensión, debido a que el volumen de material a retener es mayor sobre el talón y la componente del peso estabiliza el muro más rápido.

## RECOMENDACIONES

1. Al aumentar el contenido de humedad en el material a retener, éste aumenta su peso por unidad de volumen, y como consecuencia de esto, las fuerzas y momentos que se consideraron al diseñar la estructura se incrementan, por lo que se recomienda proveer sistemas y elementos de eliminación de agua.
2. En lo referente a la separación de los contrafuertes, se recomienda lo siguiente:
  - 2.1. Separación mínima 1.00 mts a ejes.
  - 2.2. Separación máxima 1.5 veces la diferencia de nivel entre plataformas.  
 $1.00 \text{ mt.} \leq l_c \leq 1.5 \Delta N$  (ver Figura 18)
3. Al determinar el área de acero necesaria para reforzar la base del contrafuerte (b) se recomienda hacer otro análisis en H/2 por efectos de economía; si el área de acero necesaria en H/2 es menor que el área de acero mínima, usar área de acero mínima.
4. Para la correcta aplicación de las tablas que se presentan, cuando el peso específico del material a retener sea menor de  $1600 \text{ Kg/m}^3$ , éste debiera ser sustituido, a todo el ancho que se extiende la base, por otro que cumpla como mínimo esta condición, esto para poder cumplir con las condiciones de equilibrio que se plantearon.
5. Se recomienda la utilización de las tablas de contrafuertes en casos de urgencia o para predimensionar estructuras para efectos de presupuestos. Si existiese algún caso especial de contrafuerte, es conveniente seguir el procedimiento presentado en la sección 2.1.3.4.



## BIBLIOGRAFÍA

- ACI 3-18-83  
Reglamento de las Construcciones del Concreto Reforzado y Comentarios. American Concrete Institute U.S.A. 1,983. Instituto Mexicano del Cemento y de Concreto. 1,984. 595 páginas.
- Beer, Ferdinand y John Stan, E.  
Mecánica Vectorial para Ingenieros Estática. Cuarta Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 1,987. 429 páginas.
- Donis Quevedo, Hernán René  
Muros de Contención. Tesis de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 125 páginas.
- Ferguson, Phil M.  
Teoría Elemental del Concreto Reforzado. Traducción por Manuel Alías S. e Ignacio Faure. Editorial Continental. México. 1,963. 618 páginas.
- Figueroa Ortiz, Héctor Vitello  
Diseño de Muros de Retención en Sótanos. Tesis de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Año 1,980. 95 páginas.
- Franco Pérez, Samuel  
Determinación de Empuje en Muros de Retención. Tesis de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Año 1,954. 75 páginas.
- García de León, Mario E.  
Muros de Contención. Tesis de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 47 páginas.
- Herrarte Castejón, E.  
Muros de Contención. Tesis de Graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería Civil. Año 1,969. 93 páginas.
- Nolwy, Edward G.  
Concreto Reforzado, Un Enfoque Básico. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México. 1,988. 743 páginas.
- Sower, George B.  
Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Versión Española de José Menéndez Menéndez. Editorial Linnas Willey. 1,972. 677 páginas.