



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

SISTEMA PREFABRICADO T-WALL PARA MUROS DE CONTENCIÓN

BORIS LEONEL MORALES MÉNDEZ

ASESORADO POR INGENIERO MARIO ENRIQUE BETETA JEREZ

Guatemala, mayo de 2004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA PREFABRICADO T-WALL PARA MUROS
DE CONTENCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BORIS LEONEL MORALES MÉNDEZ

ASESORADO POR INGENIERO MARIO ENRIQUE BETETA JEREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Jorge Baechli
EXAMINADOR	Ing. Julián Duarte
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Castillo
SECRETARIO	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por la vida y logros personales
Mis padres	Carlos Enrique Morales Rossbach y Regina Aide Méndez González de Morales
Mi esposa	Vilma Karina Suchini de Morales
Mis hijos	Luis Pablo e Isabella
Mis hermanos	Carlos Enrique, Patricia y Juan Carlos
En especial	Ingenieros Mario Enrique Beteta y Gustavo González.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL SISTEMA PREFABRICADO DE CONTENCIÓN T-WALL	1
1.1 Especificaciones técnicas	1
1.1.1 Dimensiones de la unidad estándar t-wall	1
1.1.2 Utilización de relleno seleccionado	3
1.1.3 Sección típica vertical e inclinada del muro	4
1.1.4 Determinación de las tablas generales de altura del muro	5
1.2 Aplicaciones y ventajas del sistema t-wall	8
1.2.1 Flexibilidad	9
1.2.2 Durabilidad	9
1.2.3 Flexibilidad geométrica	9
1.2.4 Instalación no permanente	9
1.2.5 Acabado final	10
2. ANÁLISIS DE DISEÑO DEL MURO	11
2.1 Bases de diseño	11
2.1.1 Determinación de los factores de seguridad contra posibles fallas en el sistema t-wall	12
2.1.2 Incrustación mínima del muro en el terreno	12

2.1.3	Presión de soporte	13
2.1.3.1	Teoría de Meyerhof	13
2.1.4	Estabilidad externa e interna del muro	13
2.1.5	Análisis de las presiones de tierra que pueden afectar al muro	13
2.1.5.1	Teoría de Rankine	15
2.1.5.2	Presiones laterales de tierra sobre el muro para condiciones usuales de carga	19
2.1.5.3	Peso de sobrecarga en el muro debido a tráfico	20
2.2	Detalles y consideraciones de diseño	22
2.3	Ejemplo de diseño	25
2.3.1	Enunciado del ejemplo	25
2.3.2	Resolución del ejemplo	26
3.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS UNIDADES T-WALL	31
3.1	Detalles del esfuerzo de acero y su armado	31
3.1.1	Acero de refuerzo	31
3.2	Procedimientos y especificaciones de la fundición de la cara frontal y el tronco de la unidad t-wall	39
3.2.1	Descripción de la formaleta	39
3.2.2	Transporte de concreto	40
3.2.3	Colocación del concreto	40
3.2.4	Compactación del concreto	40
3.2.5	Curado	40
3.3	Descripción de pruebas y estándares de calidad de las unidades	41
4.	CONSTRUCCIÓN BÁSICA DEL SISTEMA	45

RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO: VISUALIZACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL MURO PREFABRICADO DE CONTENCIÓN T-WALL Y FIGURAS DE SUS APLICACIONES	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Dimensiones de la unidad t-wall.	2
2	Sección vertical del muro.	4
3	Sección inclinada del muro.	5
4	Formación del ángulo β con la horizontal.	16
5	Presión debido a un relleno con superficie horizontal.	19
6	Presión debido a un relleno con superficie inclinada.	20
7	Presión debido a sobrecarga de tráfico.	21
8	Presiones de suelo que actúan en cada unidad t-wall.	22
9	Fuerzas laterales y sobrecargas que actúan en un muro típico t-wall.	23
10	Vista frontal, armado de la cara o panel con extensión de barrera.	33
11	Vista lateral, armado de la cara y el tronco con extensión de barrera.	34
12	Vista frontal, armado de la cara o panel sin extensión de barrera.	35
13	Vista lateral, armado de la cara y el tronco sin extensión de barrera.	36
14	Vista frontal del armado de troncos.	37
15	Vista superior del armado de la cara y el tronco.	38
16	Muro escalonado.	51
17	Muro desviado.	52
18	Alineamiento del primer grupo.	53
19	Levantado del muro.	54

20	Instalación de tela de filtro.	55
21	Instalación de unión horizontal (empaque de hule).	56
22	Fijación de unidad de esquina.	57
23	Detalle de pasadores de corte y anclaje.	57
24	Sección de muro, modulado de forma t-wall.	58
25	Sección de muro, sistema tradicional de hormigón armado.	59
26	Descarga de las unidades t-wall del vehículo de transporte	66
27	Levantamiento de la unidad t-wall en el punto de balance	67
28	Dispositivo de levantamiento	67
29	Preparación del sitio de construcción del muro	68
30	Fundición de la base de nivelación	68
31	Base de nivelación en forma escalonada	69
32	Primer grupo de unidades t-wall sobre la base de nivelación	69
33	Colocación del filtro de 12" de ancho en las uniones verticales	70
34	Compactación de relleno seleccionado atrás de primer grupo	70
35	Colocación de empaque de hule en uniones horizontales	71
36	Instalación de las llaves de corte envueltas en ¼" de material de unión	71
37	Colocación de grupo de unidades t-wall subsecuentes	72
38	Colocación de relleno seleccionado y compactación atrás de grupo subsecuente	72
39	Detalle de instalación de la unidad t-wall en esquina	73
40	Vista de la cara frontal del muro terminado con barrera	73
41	Uso en construcción de aproches en puentes	74
42	Uso en construcción de lagunas artificiales y protección de márgenes de ríos	74
43	Uso en la protección de taludes	75
44	Uso en construcción de vías férreas	75
45	Uso en construcción de puentes	76

TABLAS

I	Peso de la unidad t-wall según el largo de tronco.	3
II	Relación de pared vertical y relleno nivelado.	6
III	Relación de pared vertical y relleno inclinado.	7
IV	Relación de pared inclinada y relleno nivelado.	7
V	Relación de pared inclinada y relleno inclinado.	8
VI	Relación de inclinación e incrustación del muro.	12
VII	Pesos unitarios, ángulos efectivos de fricción interna Φ' y coeficiente de fricción con el concreto f_c .	18
VIII	Fuerza total de resistencia al deslizamiento.	27
IX	Fuerza total de resistencia al levantamiento.	28
X	Momento de volteo.	29
XI	Momento total de resistencia.	29
XII	Factores de seguridad en cada nivel del muro.	30
XIII	Identificación y grosor del tipo de varilla utilizado en el armado de las Unidades t-wall.	32
XIV	Aceros estandarizados de refuerzo.	42

LISTA DE SÍMBOLOS

λ_{DES}	Coeficiente de seguridad que garantiza la evaluación del deslizamiento.
λ_{VOL}	Coeficiente de seguridad que garantiza la evaluación del volteo.
λ_{LEV}	Coeficiente de seguridad que garantiza la evaluación del levantamiento.
B	Base uniforme de la distribución de la presión sobre un ancho efectivo de posición.
H	Altura dada desde la base hasta el nivel superior del relleno, también se le conoce como la altura mecánica del relleno.
P	Presión de tierra.
K_o	Coeficiente de presión en reposo
K_a	Coeficiente de presión activa, también se le identifica como C_a .
K_p	Coeficiente de presión pasiva.
β	Ángulo de inclinación que se forma con respecto a la horizontal.

KaH	Coeficiente de presión activa, cuando $\beta = 0$.
KpH	Coeficiente de presión pasiva, cuando $\beta = 0$.
ϕ'	Ángulo de fricción interna del relleno.
W	Peso específico del suelo.
q	Aumento de presión debido a una sobrecarga uniforme.
h	Altura de la sobrecarga uniforme.
Fe	Fuerza motriz horizontal ejercida a $H/2$.
Ft	Fuerza motriz horizontal ejercida a $H/3$.
V	Tensión vertical.
$V\tan\phi$	Resultante de las fuerzas de resistencia horizontal.
R	Resistencia a las fuerzas de tensión vertical.
L	Longitud de base.
e	Excentricidad.
σ	Soporte máximo de presión.

Φ	Ángulo de fricción del suelo de cimentación.
$\tan \Phi$	Coefficiente de fricción de deslizamiento.
V	Vertical.
H	Horizontal.
f_c	Coefficiente de fricción del concreto.
M	Momento resultante aplicado.

GLOSARIO

Análisis	Procedimiento de especificar bases y parámetros que se deben efectuar, para diseñar un muro prefabricado t-wall de contención; cuyo fin es dar solución a las presiones de tierra que actúan lateralmente en un muro.
Anclaje	Acción de sujetar y detener algo en un sitio.
Ángulo de fricción interna	Ángulo comprendido entre la línea recta que representa la envolvente de esfuerzos y el eje de esfuerzos normales.
Cara	Panel frontal de la unidad estándar t-wall.
Cohesivo	Propiedad del material que lo mantiene unido, debido a la fuerza que actúa en sus moléculas.
Deslizamiento	Es la distribución de espacio del desplazamiento en un miembro sometido a la acción de fuerzas externas.
Esfuerzo	Relación de dividir la fuerza que actúa sobre una superficie y el área de dicha superficie.

Estabilidad	Estado de equilibrio de un cuerpo rígido, en función a su propio peso y a las fuerzas externas que se le aplican.
Factor de seguridad	Se define como la relación entre el esfuerzo que causaría la falla en un miembro estructural y el esfuerzo de resistencia real presente en el mismo, garantizando la estabilidad interna y externa del muro.
Momento	Producto de una fuerza por la distancia a un punto de referencia que se tiene.
Peso específico	Relación de dividir la masa del suelo entre el volumen de la masa del suelo.
Prefabricado	Proceso de fabricar una pieza estandarizada de concreto armado en planta.
Presión	Fuerza aplicada a un área.
Relleno aleatorio	Material de relleno que se coloca detrás del relleno seleccionado.
Soporte máximo	Capacidad del suelo de soportar cargas de servicio sin que se produzcan fallas dentro de su masa.
T-wall	Pared en forma de "T".

RESUMEN

En el presente trabajo pretende ser una guía técnica de diseño y construcción en la que se definen los conceptos generales del sistema prefabricado t-wall para muros de contención, en cuanto a sus dimensiones, aplicaciones y ventajas. Se describe la modulación de las unidades de concreto utilizando datos de tablas generales de altura de muro.

Se aplican conceptos de mecánica de suelos para determinar las fuerzas y presiones producidas por la tierra, que en determinada aplicación del sistema afecten el muro. El proceso de diseño se ejemplifica en un caso específico, en que se toman en cuenta variables, fórmulas y tablas para satisfacer los factores de seguridad de carga, solicitados.

En el proceso de fabricación se proporcionan detalles del refuerzo de acero utilizado en las piezas de concreto t-wall, así como los procedimientos y especificaciones de la fundición de las mismas; se describen pruebas y estándares de calidad requeridos.

Para construcción básica del sistema se toma en cuenta los requerimientos de equipo, materiales, herramienta y personal a emplear. Se verifica el manejo de las unidades de concreto t-wall. El procedimiento se describe desde la entrega de piezas en planta, descarga, preparación del sitio de instalación, trazo y construcción de la base de nivelación, levantamiento del primer grupo y de los grupos subsecuentes; se utilizan figuras de cada fase.

Se realiza un análisis comparativo de costos entre la construcción de un muro de contención con el sistema tradicional de hormigón armado y el sistema prefabricado t-wall. Se determina la ventaja de la utilización del segundo sistema por ser una opción de menor costo.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar una guía técnica de diseño del sistema prefabricado t-wall para muros de contención de tierras; para beneficiar a la práctica de la Ingeniería Civil en Guatemala, con el uso de dicho sistema. Proporcionar soluciones de menor costo y tiempo , que garanticen la calidad en la construcción de muros de contención por el uso del concreto prefabricado.

ESPECÍFICOS

1. Describir los conceptos preliminares necesarios para la comprensión entendimiento del sistema prefabricado t-wall para muros de contención.
2. Presentar la teoría en que se basa el sistema t-wall, desde un punto de vista perceptible para los estudiantes de Ingeniería Civil, como orientación práctica en las ciencias aplicadas y la ingeniería.
3. Describir la metodología del sistema t-wall, de manera clara, con conceptos y definiciones importantes; determinar sus ventajas y aplicaciones, así como su fabricación e instalación mediante la resolución de un problema de aplicación de Ingeniería Civil.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido en Guatemala un aumento en la implementación de sistemas novedosos de contención de taludes, en el campo de la Ingeniería Civil, tal es el caso del sistema t-wall. Este sistema de muros de concreto es sólo la mitad de la estructura, la otra mitad es la tierra. Esta combinación hace que el muro se mantenga en pie.

Este trabajo de investigación proporciona un material de apoyo a los profesionales y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, al describir el sistema de manera natural, directa y sencilla. Se inicia con la descripción de la teoría fundamental hasta llegar al análisis de diseño del muro. Se determinan los parámetros específicos y los factores de seguridad a cumplir, se hace un breve repaso de la mecánica de suelos y se ejemplifica un caso típico de retención de tierras en que se utiliza el sistema prefabricado t-wall.

Se muestra el proceso de fabricación de las unidades t-wall, así como pruebas y estándares de calidad utilizados por el fabricante. Adicionalmente se hace una comparación de costos del sistema t-wall versus un muro de hormigón armado.

Finalmente, se establece un proceso de construcción básica del sistema, donde se describen los pasos y principios generales para la construcción de un muro. De esta forma se presenta una propuesta para la tecnificación a las nuevas generaciones de estudiantes de Ingeniería Civil en Guatemala.

1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL SISTEMA PREFABRICADO DE CONTENCIÓN T-WALL

El sistema t-wall es una estructura construida con el propósito de contener, retener o proporcionar aislamiento lateral para el suelo o para otro material suelto, que retenido, empuja contra el muro y tiende a volcarlo o desplazarlo.

Este sistema es una estructura de gravedad cuyas dimensiones están sujetas por un plano frontal formado por los paneles y una superficie trasera denominada tronco.

Con el propósito de extender las especificaciones y aplicaciones del sistema, se efectúa un estudio preliminar del mismo.

1.1 Especificaciones técnicas

1.1.1 Dimensiones de la unidad estándar t-wall

Las unidades que conforman un muro t-wall, están diseñadas para garantizar la estabilidad contra posibles fallas, sus dimensiones son sujetas por un plano frontal (cara o panel) y una superficie trasera o extensión monolítica (tronco) .

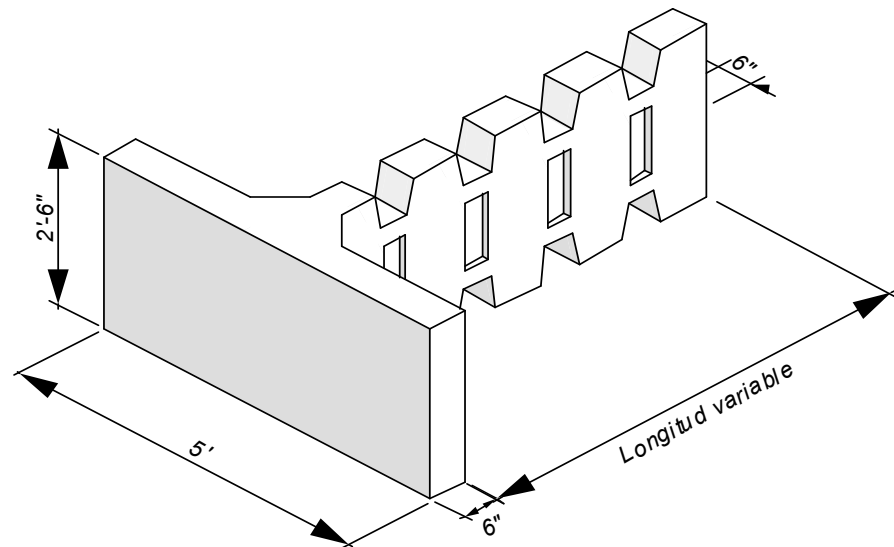
La estabilidad del sistema es una función del peso del concreto en cada nivel de la estructura y el relleno de selección.

Se combina el peso de un muro de contención externamente estabilizado, con la resistencia de fricción de su estabilización interna.

Las unidades t-wall son prefabricadas en un lugar distinto de la obra, en moldes que permiten la regularidad en sus dimensiones.

En la figura 1 se muestra la dimensión estándar de cada unidad t-wall.

Figura 1. Dimensiones de la unidad t-wall



El peso de la unidad de la estructura es proporcionado en base al largo de su tronco, (ver tabla I).

Tabla I. Peso de la unidad t-wall según el largo de tronco

Largo del tronco (pies)	Peso (lb)
4	1,600
6	1,850
8	2,100
10	2,350
12	2,600
14	2,900
16	3,150
18	3,400
20	3,650

FUENTE: TENCO (Tecnología en Concreto) y The Neel Company, Engineered Precast Products, Design guide & Technical Information. Pág. 5

1.1.2 Utilización de relleno seleccionado

El relleno entre el tronco, es una parte importante de la estructura del t-wall; ésta se realizará con un relleno adecuado cuyas especificaciones dependen de la carga de la estructura, las condiciones del agua y el material disponible.

Un 25 % como máximo del material a utilizar como relleno entre los troncos, deberá pasar el tamiz No. 200 y debe lograrse un 95% de compactación de densidad estándar.

1.1.3 Sección típica vertical e inclinada del muro

En las secciones siguientes se analizan los tipos de inclinación en que puede sustentarse un muro modulado con unidades t-wall, pero en cualquiera que sea el tipo usado, existirán fuerzas que deben ponerse en equilibrio, tales como las cargas de gravedad del muro y del suelo encima de la cimentación, la presión lateral y la capacidad soporte del suelo. Además, los esfuerzos dentro de la estructura deben estar bajo valores permisibles y las cargas deben ser soportadas de manera que no ocurran asentamientos indebidos. En las figuras 2 y 3 se presentan las secciones típicas del muro y se describe su conformación.

Figura 2. Sección vertical del muro

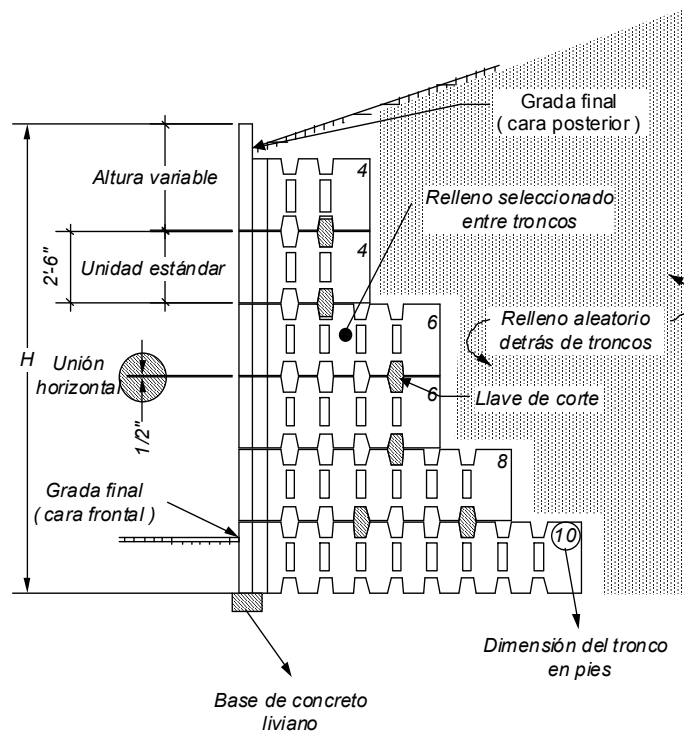
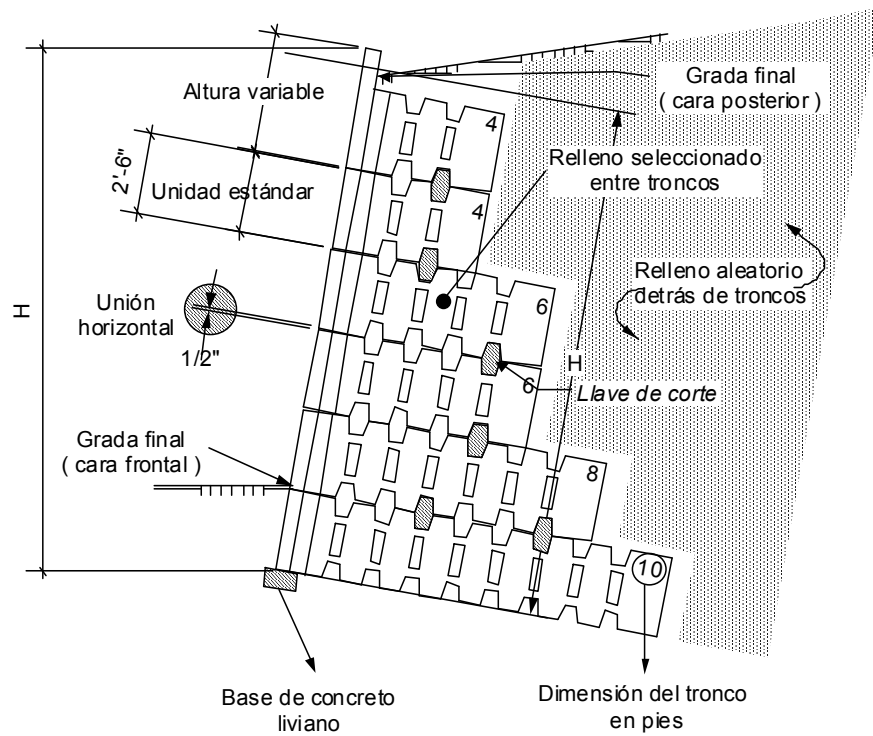


Figura 3. Sección inclinada del muro



1.1.4 Determinación de las tablas generales de altura del muro

La información presentada en las tablas II, III, IV y V es una relación entre la altura de pared (cara o panel) y la longitud de la superficie trasera (tronco), las tablas son casos generales donde se toman en cuenta tipos de relleno a utilizar y el grado de inclinación del mismo en la parte posterior del muro.

Las tablas proporcionan el largo específico que debe tener el tronco de cada unidad t-wall en cada nivel, en base a la altura total de la pared.

De esta forma se modula el muro y se determinan las piezas que se utilizan en cada nivel. Por ejemplo, para un muro de 10 pies de altura, de pared vertical y relleno nivelado por detrás, se utiliza la tabla II. La cara de la unidad t-wall es estándar, sólo varía la longitud del tronco, y en este caso se utilizan 2 piezas de 6 pies de longitud de tronco y 2 piezas de 4 pies de longitud de tronco, repitiéndose esta modulación cada 5 pies de longitud de muro.

Tabla II. Relación de pared vertical y relleno nivelado

PARED VERTICAL-RELLENO NIVELADO									
Distancia	Altura de pared (pies)								
De arriba	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5
De la pared	Longitudes de tronco (pies)								
(pies)									
2.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10.0		6	6	6	6	6	6	6	6
12.5			8	8	8	8	8	8	8
15.0				10	10	10	10	10	10
17.5					10	10	10	10	10
20.0						12	12	12	12
22.5							14	12	12
25.0								14	14
27.5									16

Tabla III. Relación de pared vertical y relleno inclinado

PARED VERTICAL-RELLENO INCLINADO									
Distancia	Altura de pared (pies)								
De arriba	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5
De la pared	Longitud de tronco (pies)								
(pies)									
2.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10.0		8	8	8	8	8	8	8	8
12.5			10	10	8	8	8	8	8
15.0				12	10	10	10	10	10
17.5					12	12	12	12	12
20.0						14	14	14	14
22.5							16	16	16
25.0								18	18
27.5									20

Tabla IV. Relación de pared inclinada y relleno nivelado

PARED VERTICAL-RELLENO NIVELADO									
Distancia	Altura de pared (pies)								
De arriba	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5
De la pared	Longitudes de tronco (pies)								
(pies)									
2.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10.0		6	6	6	6	6	6	6	6
12.5			8	8	8	8	8	8	8
15.0				10	10	10	10	10	10
17.5					10	10	10	10	10
20.0						12	12	12	12
22.5							14	12	12
25.0								14	14
27.5									16

Tabla V. Relación de pared inclinada y relleno inclinado

PARED INCLINADA- RELLENO INCLINADO										
Distancia	Altura de pared (pies)									
De arriba	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	
De la pared (pies)	Longitud de tronco									
2.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7.5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10.0		6	6	6	6	6	6	6	6	6
12.5			8	8	8	8	8	8	8	8
15.0				10	10	10	10	10	10	10
17.5					10	10	10	10	10	10
20.0						12	12	12	12	12
22.5							14	12	12	
25.0								14	14	
27.5										16

Tablas II, III, IV y V.

FUENTE: TENCO (Tecnología en Concreto) y The Neel Company, Engineered Precast Products, Design guide & Technical Information. Pág. 5

1.2 Aplicaciones y ventajas del sistema t-wall

El muro de contención t-wall, se utiliza en muchos casos donde existen cambios abruptos en la pendiente del terreno, en cortes y terraplenes que se presentan a lo largo de carreteras o vías férreas. También se aplican en obras expuestas al agua de forma parcial o totalmente sumergidas, como en ríos y lagos, en los cuales durante el proceso erosivo el flujo remueve y arrastra principalmente las partículas del pie y de la zona baja de talud de la orilla; y en muchos otros casos, se incluye aquí los estribos de puentes, muros de sótanos y alcantarillados.

1.2.1 Flexibilidad

Le permite adaptarse a terrenos con propiedades geotécnicas malas en donde los asentamientos no permiten estructuras rígidas como podrían ser las de hormigón armado.

Sus uniones verticales actúan como una superficie deslizante en intervalos de cinco pies, que cuales pueden acomodar movimientos diferenciales debidos a sismos y vibraciones de tierra en la cimentación. Esta flexibilidad minimiza la preparación del cimientto.

1.2.2 Durabilidad

El concreto prefabricado combinado con el refuerzo de acero, da como resultado un sistema que logra una excelente durabilidad a largo plazo.

1.2.3 Flexibilidad geométrica

Este tipo de muro puede acomodar fácilmente ángulos y curvas. Su instalación en grada permite que el largo del tronco sea más corto, y la excavación resulte menor. El muro puede ser construido con una inclinación arriba de 4%.

1.2.4 Instalación no permanente

La estructura t-wall es un muro que puede reubicarse en el futuro, puesto que el relleno es fácilmente excavado entre el tronco por la parte de atrás, y por ser unidades de concreto independientes pueden ser fácilmente removidas, transportadas y reinstaladas.

1.2.5 Acabado final

La estética de las obras se logra a través de sus elementos de concreto prefabricado de color gris, con una superficie lisa, debido a su forma de paneles que dan un efecto de tablero, también existe la posibilidad de lograr animaciones en su cara exterior al momento de su fabricación.

2. ANÁLISIS DE DISEÑO DEL MURO

Para el análisis del diseño del muro de contención t-wall, se procede a especificar las bases y parámetros del mismo, debido a que una razón del gran número de fallas en muros de retención, es el hecho de que los diseños con frecuencia se basan en métodos adecuados para ciertas situaciones específicas.

Un requisito para diseñar el muro es utilizar un relleno adecuado (material granular seco), por lo que si se le coloca por detrás una arcilla saturada (condición no conveniente), se tendrían problemas con el desempeño futuro del mismo. La estimación detallada de las fuerzas laterales aplicadas al muro son claramente un problema teórico de la mecánica de suelos. Por tal razón el análisis que se hizo se refiere a un intervalo de casos, en el que se determinó un rango de rellenos seleccionados a utilizar. Con un ejemplo en el que se utilizan unidades prefabricadas, se analiza la estabilidad del muro, satisfaciendo los factores de seguridad de carga, solicitados.

2.1 Bases de diseño

Las bases de diseño determinan que al fijar las unidades t-wall al terreno, los troncos o extensiones monolíticas en cada nivel, deben ser largos, para formar una sección en cruz que resista volteo y deslizamiento en dicho nivel, así como para garantizar la interacción de la estructura con la tierra.

2.1.1 Determinación de los factores de seguridad contra posibles fallas en el sistema t-wall

Se determinan con la relación entre los esfuerzos producidos por la falla en el miembro estructural y los esfuerzos de trabajo presentes en el mismo. Los factores a satisfacer en la estructura son los siguientes:

Deslizamiento	$\lambda_{DES} \geq 1.5$
Volteo	$\lambda_{VOL} \geq 2.0$ en suelo (1.5 en roca)
Levantamiento	$\lambda_{LEV} \geq 1.5$

2.1.2 Incrustación mínima del muro en el terreno

Ésta se proporciona en la cara del muro, se indica la penetración mínima de la extensión monolítica o tronco por debajo de la base de nivelación y se determina como una función de la altura de la estructura (H) desde abajo del nivel de cimentación.

Tabla VI. Relación de inclinación e incrustación del muro

Inclinación frente a la estructura	Incrustación mínima
Horizontal	H/10
3H: 1V	H/10
2H: 1V	H/7
1.5H: 1V	H/5

FUENTE: TENCO (Tecnología en Concreto) y The Neel Company, Engineered Precast Products, Design guide & Technical Information. Pág. 4

2.1.3 Presión de soporte

Esta fuerza de presión es el soporte máximo del suelo de cimentación, resulta de la resistencia a las tensiones verticales y se estima utilizando la distribución de Meyerhof.

2.1.3.1 Teoría de Meyerhof

Meyerhof considera una base uniforme de la distribución de la presión sobre un ancho efectivo de posición, en donde:

$$B = L - 2e \quad (2.1)$$

2.1.4 Estabilidad externa e interna del muro

El cálculo de la estabilidad externa se hace al asumir que el sistema actúa como un cuerpo rígido. Se basa en lo mismo para todos los muros de contención mecánicamente estables. Se hace notar que en el caso de t-wall hay más contención que en otros sistemas de concreto reforzado.

Los cálculos de la estabilidad interna se hacen en cada nivel para demostrar que las fuerzas de fricción absorbentes en el tronco, sobrepasan cualquier fuerza horizontal y actúan sobre la cara del panel.

2.1.5 Análisis de las presiones de tierra que pueden afectar al muro

Las presiones reales que se presentan detrás de un muro son muy difíciles de estimar, debido a un número de variantes implicadas.

Entre éstas se cuentan los tipos de materiales de relleno, su compactación y grado de humedad; los tipos de materiales debajo de la cimentación, la presencia o ausencia de sobrecarga en el relleno y otras más.

Con respecto a su comportamiento físico, los suelos y otras masas granulares ocupan una posición intermedia entre los líquidos y los sólidos.

Por ejemplo, si se descarga arena desde un camión ésta fluye pero, a diferencia de un líquido sin fricción, no asumirá una superficie horizontal, ella se mantiene por sí misma en una pila estable cuyos lados conforman un ángulo de reposo con la horizontal cuya tangente es casi igual al coeficiente de fricción intergranular.

Si se excava un hueco en suelo arcilloso, sus lados en general pueden mantenerse verticales hasta profundidades considerables sin necesidad de soporte lateral; es decir, la arcilla se comportará como un sólido y mantendrá la forma que se le da. Sin embargo, si el hueco se inunda los lados cederán y en muchos casos la arcilla saturada se convertirá prácticamente en líquido. La arcilla es capaz de mantener su forma mediante su cohesión interna, pero la inundación reduce esa cohesión en forma sustancial, a menudo hasta cero.

Al construir el muro en contacto con un sólido, por ejemplo, un corte en roca, no se ejercerá presión sobre él. Por otro lado, si el muro se construye para contener un líquido como en el caso de un embalse, estará sometido en cualquier nivel a la presión hidrostática wH , donde w es el peso unitario y H es la distancia desde la superficie. Asimismo, si el muro se coloca de forma vertical conteniendo el suelo, la presión de tierra aumentará en forma proporcional a la profundidad, su magnitud es:

$$p = KowH \quad (2.2)$$

donde:

w = peso unitario del suelo

K_o = constante conocida como el coeficiente de presión de tierra en reposo.

El valor de K_o depende no solamente de la naturaleza del relleno, sino también del método de colocación y compactación del mismo.

Se ha determinado experimentalmente que para suelos no cohesivos sin compactar, como arenas y gravas, K_o varía entre 0.4 y 0.5, mientras que para los mismos suelos en estados de alta compactación puede llegar a ser tan alto como 0.8. Para suelos cohesivos, K_o puede estar en el orden de 0.7 a 1.0.

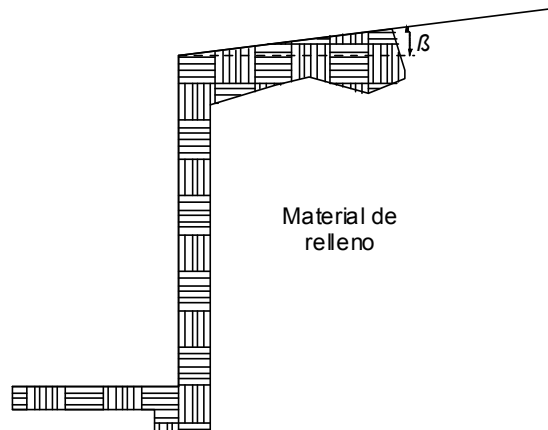
Las arenas y las gravas limpias se consideran superiores a todos los demás suelos porque son altamente permeables, no son susceptibles a la acción del congelamiento y no pierden estabilidad con el paso del tiempo. Por esta razón, los rellenos se especifican por lo general en material no cohesivo.

En general, el muro puede moverse ligeramente bajo la acción de la presión de la tierra, deflectándose bajo esta situación, y ya que generalmente puede darse el caso de descansar sobre suelos compresibles, tiende a inclinarse y alejarse del relleno. Por consiguiente el muro puede construirse con una ligera pendiente hacia el relleno en la cara expuesta y así la presión de tierra disminuye de modo efectivo.

2.1.5.1 Teoría de Rankine

Rankine indica que si la superficie de suelo conforma un ángulo β con la horizontal como se observa en la figura 4, entonces se ejerce sobre el muro una presión correspondiente que se conoce como presión de tierra activa.

Figura 4. Formación del ángulo β con la horizontal



El coeficiente de presión activa de la tierra es:

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (2.3)$$

y el coeficiente de presión pasiva es :

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi'}} \quad (2.4)$$

β = ángulo de inclinación arriba del muro

ϕ' = ángulo de fricción del relleno atrás del muro

Para el caso frecuente de una superficie horizontal, es decir, $\beta = 0$, para la presión activa:

$$K_{aH} = \frac{1 - \text{sen}\phi'}{1 + \text{sen}\phi'} \quad (2.5)$$

y para la presión pasiva

$$K_{pH} = \frac{1 + \text{sen}\phi'}{1 - \text{sen}\phi'} \quad (2.6)$$

Esta teoría es válida sólo para suelos no cohesivos como arenas y gravas, pero con los correspondientes ajustes, puede utilizarse también en forma apropiada para suelos arcillosos cohesivos.

A partir de las ecuaciones (2.3) a (2.6) se observa que la presión de tierra a determinada profundidad H depende de la inclinación de la superficie β , del peso unitario w y del ángulo de fricción ϕ' . Los primeros dos parámetros mencionados pueden determinarse fácilmente, mientras que hasta ahora no se ha logrado un margen de acuerdo con respecto a los valores adecuados de ϕ' .

Para el caso ideal de un relleno seco no cohesivo, el valor de ϕ' podría determinarse mediante ensayos de laboratorio y luego utilizarse en las fórmulas.

Esto es imposible para las arcillas, porque apenas una parte de su resistencia la suministra la fricción intergranular, mientras que el resto es por causa de cohesión interna.

Por esta razón, los valores reales de ϕ' se incrementan a menudo en una cantidad arbitraria para tener en cuenta implícitamente la cohesión adicional. Sin embargo, ésto resulta a menudo en contra de la seguridad pues como se demostró con el ejemplo del hueco inundado, la cohesión puede desaparecer casi completamente por saturación e inundación.

Los valores representativos de w y ϕ' utilizados a menudo en la práctica de ingeniería se presentan en la tabla VII, (los valores de ϕ' no toman en cuenta probables presiones adicionales generadas por agua intersticial, filtración, escarcha, etc). También presenta valores del coeficiente de fricción f entre el concreto y varios tipos de suelos. Los valores de ϕ' para los suelos 3 a 5 pueden ser bastante conservadores; bajo condiciones saturadas las arcillas y los limos pueden convertirse totalmente en líquidos (es decir, $\phi' = 0$). Siempre que sea posible, deben utilizarse los suelos tipo 1 ó 2 como relleno en los muros de contención.

Tabla VII. Pesos unitarios, ángulos efectivos de fricción interna ϕ' y coeficiente de fricción con el concreto f

Suelo	Peso Unitario, lb/pie ³	ϕ' Grados	f
1. Arena o grava sin partículas finas, altamente permeables	110-120	33-40	0.5-0.6
2. Arena o grava con mezcla de limo, baja permeabilidad	120-130	25-35	0.4-0.5
3. Arena limosa, arena y grava con alto contenido de arcilla	110-120	23-30	0.3-0.4
4. Arcilla media o rígida	100-120	25-35 ^a	0.2-0.4
5. Arcilla blanda, limo	90-110	20-25 ^a	0.2-0.3

Para condiciones saturadas, el valor de ϕ para arcillas y limos pueden ser cercano a cero
FUENTE: Nilson, Arthur/ Winter, George Diseño de estructura de concreto, pág. 575.

2.1.5.2 Presiones laterales de tierra sobre el muro para condiciones usuales de carga

Con frecuencia se encuentran varias condiciones usuales de carga, tales como: (a) relleno con superficie horizontal en la parte superior del muro, (b) relleno con superficie inclinada y pendiente hacia arriba y hacia atrás desde la parte superior del muro.

La distribución de presiones en el muro se presenta en los casos (a y b) representados en las figuras 5 y 6 respectivamente.

Figura 5. Presión debido a un relleno con superficie horizontal

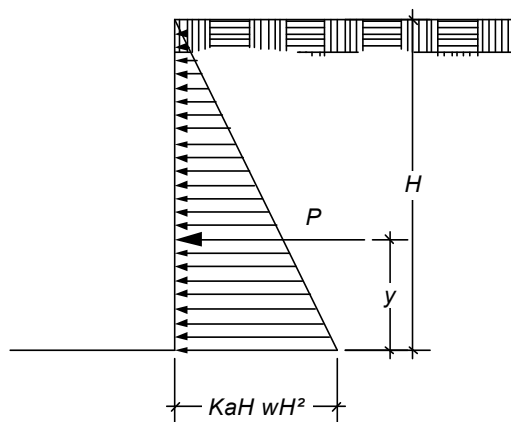
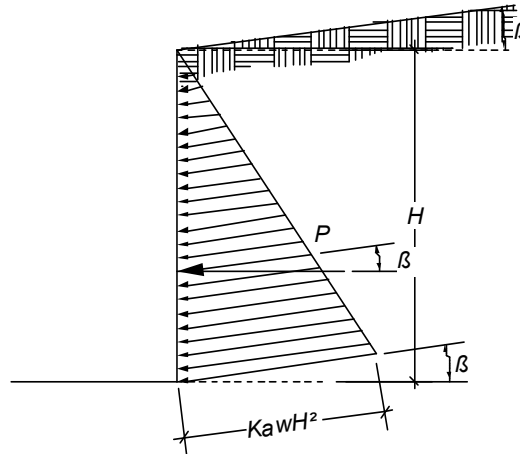


Figura 6. Presión debido a un relleno con superficie inclinada



2.1.5.3 Peso de sobrecarga en el muro debido al tráfico

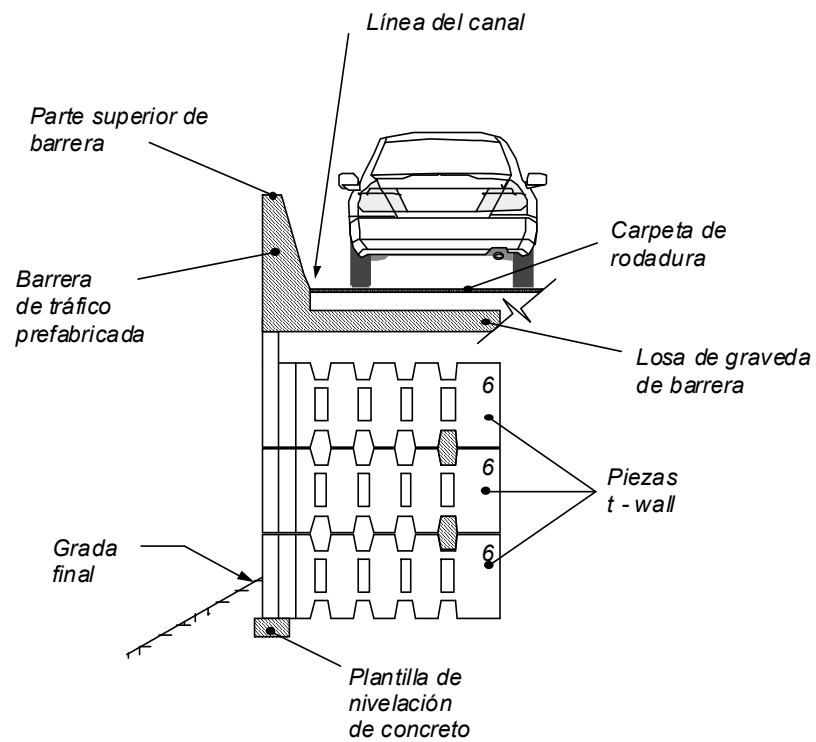
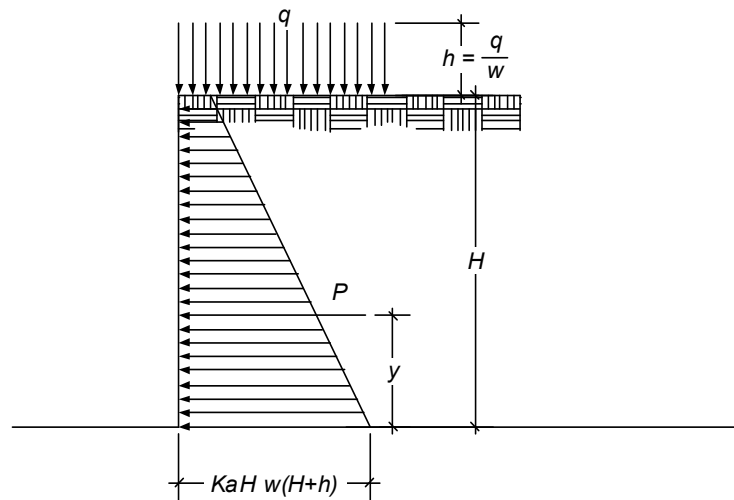
Si ocurre dentro de una distancia horizontal de $1 \frac{1}{2}$ de altura de la estructura, la sobrecarga de tráfico aplica una presión uniforme equivalente en la parte trasera del muro, igual a 2 pies de altura arriba del nivel superior del relleno. El peso de la sobrecarga de tráfico genera momentos de volteo.

El aumento de la presión que produce esta sobrecarga uniforme (q) se determina por la siguiente ecuación:

$$q = w h \quad (2.7)$$

La distribución de presiones para este caso se presenta en la figura 7, que da la información referente, puntos de aplicación y dirección de P .

Figura 7. Presión debido a sobrecarga de tráfico



2.2 Detalles y consideraciones de diseño

Con el objeto de entender claramente los detalles y consideraciones del muro, es necesario verificar el análisis de los factores de seguridad (resistencia y de volteo), presiones o fuerzas laterales (resistencia y motriz horizontal), presión de soporte (debido a la tensión vertical) y sobrecargas que lo afectan en un caso específico, se detallan a continuación en la figuras 8 y 9.

Figura 8. Presiones de suelo que actúan en cada unidad t-wall

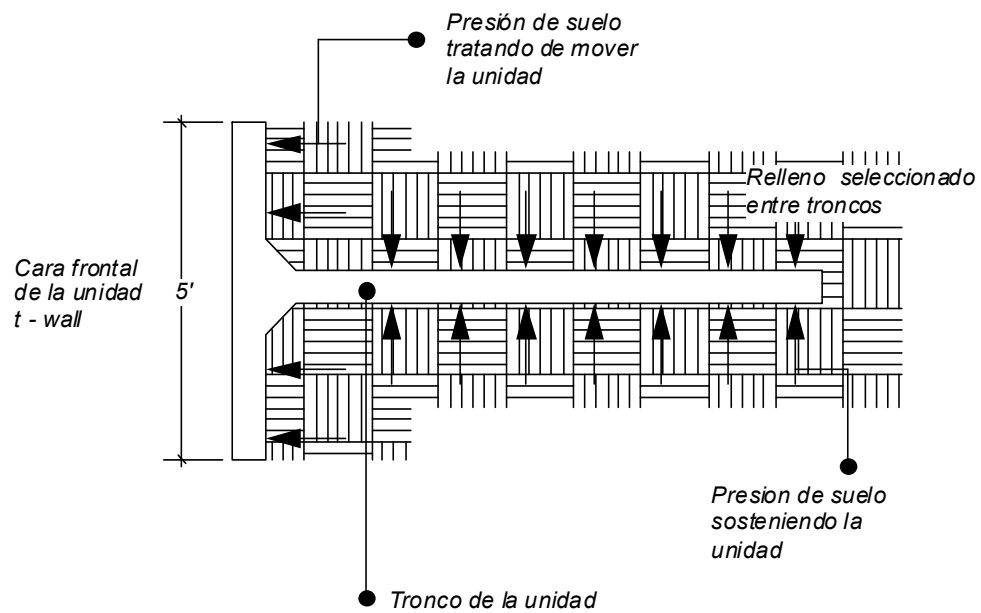
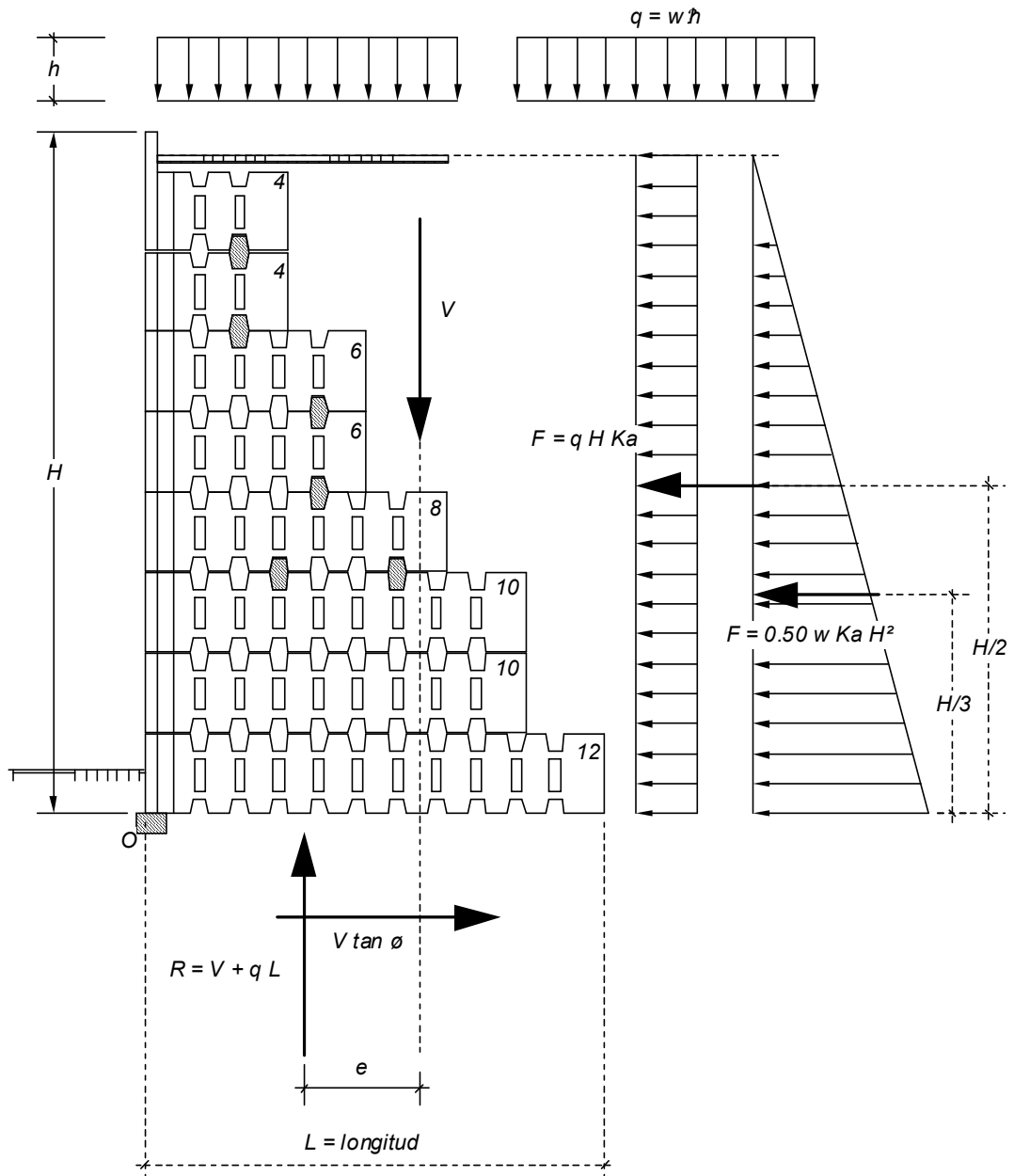


Figura 9. Fuerzas laterales y sobrecargas que actúan en un muro típico t-wall



Luego de haber definido todos los posibles factores que afectan el muro, se procede a la determinación de los mismos a través de:

□ Factor de seguridad contra volteo (momento en el punto 0):

$$\lambda_{\text{vol}} = \frac{\sum \text{Momentos de resistencia}}{\sum \text{Momentos de volteo}} = \frac{V(L/2)}{F_e(H/3) + F_t(H/2)} \geq 2 \quad (2.8)$$

□ Factor de seguridad contra deslizamiento:

$$\lambda_{\text{des}} = \frac{\sum \text{Fuerzas de resistencia horizontal}}{\sum \text{Fuerzas motrices horizontales}} = \frac{V \tan \phi}{F_e + F_t} \geq 1.5 \quad (2.9)$$

Para lo cual el cálculo del coeficiente de presión activa de la tierra (k_a) en base a ec. (2.3) determina que:

nivel de sobrecarga = 0.3

carga ilimitada = 0.54

y las fuerzas laterales son igual a:

$$F_e = 0.5 w k_a H^2 \quad \text{dada a } H/2 \text{ de la altura total del muro} \quad (2.10)$$

$$F_t = q H k_a \quad \text{dada a } H/3 \text{ de la altura total del muro} \quad (2.11)$$

con un soporte máximo de presión debido a la tensión vertical, equivalente a:

$$\sigma_v = \frac{V + qL}{L - 2e} \quad (2.12)$$

$$\text{Exentricidad} = e = \frac{L}{2} = \frac{(V+qL)L/2 - [F_e(H/3) + F_t(H/2)]}{V+qL} \quad (2.13)$$

$$\text{Sobrecarga de tráfico} = q = wh \quad (2.14)$$

en donde

ϕ = ángulo de fricción de la cimentación

$\tan\phi$ = coeficiente de fricción de deslizamiento

K_a = coeficiente de presión activa

w = peso

h = altura de sobrecarga

V = tensión vertical

2.3 Ejemplo de diseño

Para propósitos de la presente investigación se analizaron los factores de seguridad con que cumple un muro t-wall, aunque no es necesario hacer esto porque ya existe una modulación específica de las unidades t-wall, que se obtiene de las tablas generales de altura de muro vistas con anterioridad, que cumplen con los factores mínimos requeridos.

2.3.1 Enunciado del ejemplo

Análisis de los factores mínimos de seguridad con que debe cumplir un muro t-wall de 20 pies (H) de altura (de la base hasta el nivel superior de relleno), con una (h) de sobrecarga de tráfico de 2 pies, la estructura presenta una sección vertical, con un relleno seleccionado de peso 120 lb/pie³, con una base de 12 pies (largo de tronco en la cimentación) y 8 niveles. Para representar este caso específico se toma la figura 10.

2.3.2 Resolución del ejemplo

Parte del análisis es tomar en cuenta la inclinación geométrica de la estructura. Así como datos proporcionados del relleno, de lo cual se tiene lo siguiente:

- distancia a la inclinación(d) = 0 pies
- sobrecarga del relleno = 0 pies
- distancia para romper = 0 pies
- ángulo de inclinación (β) = 0°
- sobrecarga de tráfico = 2 pies

Las especificaciones del relleno son valores representativos de w y ϕ' (ver tabla VII), ya que en base al peso unitario resultan ángulos efectivos de fricción interna y coeficientes de fricción con el concreto de la siguiente forma:

- relleno seleccionado
 - ángulo de fricción interna (ϕ') = 32° $Ka = 0.307$
 - peso (w) = 120 lb/pie³ $Ko = 0.470$
 - cohesión = 0 (asumida)
- relleno aleatorio
 - ángulo de fricción interna (ϕ') = 30° $Ka = 0.333$
 - peso (w) = 120 lb/pie³
 - cohesión = 0 (asumida)
- suelo de cimentación
 - ángulo de fricción interna (ϕ) = 30° $Kp = 3.00$
- coeficiente de fricción de unión
 - del material de suelo al concreto = 0.59
- coeficiente de fricción de relleno
 - seleccionado al concreto = 0.50

- coeficiente de relleno aleatorio
al concreto = 0.50
- coeficiente de fricción de la
cimentación – tan (ϕ) = 0.58
- coeficiente de fricción de suelo a suelo = 0.62
- soporte de la llave de corte = 2460 lb

A continuación se presenta el proceso de cálculo de los factores de seguridad mínimos de volteo, deslizamiento, levantamiento y la presión máxima de soporte, utilizando las ecuaciones (2.8,2.9,2.10,2.11, 2.12 , 2.13 y 2.14). Como ejemplo: se realizan los cálculos en el nivel 8 de la figura 9.

- Fuerzas debido a presiones laterales de tierra:
Feh = 40000.00 lb.
- Fuerza debido al peso de la sobrecarga de tráfico:
Ft = 8000.00 lb.
- Fuerza de deslizamiento:
Fdes = 48,000.00 lb.

Luego del dato resultante de la fuerza, que influye en el deslizamiento, se determina la fuerza total de resistencia al mismo, (ver tabla VIII).

Tabla VIII. Fuerza total de resistencia al deslizamiento

Relación	Peso (lb.)	Factor de fricción	Fuerza de resistencia (lb.)
Suelo a suelo	125590.10	0.58	72842.258
A Través del material de unión	21663.00	0.50	10831.50
Total de la fuerza resistente			83673.758

De lo cual se obtiene que el factor de seguridad al deslizamiento es de:

$$\lambda_{DES} = \frac{83,673.76 \text{ lb.}}{48,000.00 \text{ lb.}} = 1.74 \geq 1.5$$

□ Fuerza de levantamiento

$$F_{lev} = 6,913.32 \text{ lb.}$$

Teniendo la fuerza de levantamiento, se procede a determinar la fuerza de resistencia total al mismo, (ver tabla IX).

Tabla IX. Fuerza total de resistencia al levantamiento

Relación	Peso (lb.)	Factor de fricción	Fuerza de resistencia (lb.)
Sobre el tronco (suelo a suelo)	22060.84	0.62	13677.72
Sobre el tronco (suelo a concreto)	35091.59	0.50	17545.80
Concreto a material de unión	21663.00	0.50	10831.50
Total de la fuerza resistente			42055.0158

De lo cual se obtiene que el factor de seguridad al levantamiento es de:

$$\lambda_{LEV} = \frac{42,055.02 \text{ lb.}}{6,913.32 \text{ lb.}} = 6.08 \geq 1.5$$

Para definir el factor de seguridad de volteo en el muro, se obtienen primero los momentos de volteo y de resistencia al mismo, (ver tablas X y XI respectivamente).

Tabla X. Momento de volteo

Fuerza (lb.)	Brazo de Momento (pies)	Momento de Volteo (lb.-pie)
Feh = 40,000.00	6.67	266,666.67
Ft = 8,000.00	10.00	80,000.00
Momento de volteo =		346,666.67

Tabla XI. Momento total de resistencia

Elemento	Peso (lb.)	Brazo horizontal (pies)	Brazo vertical (pies)	Momento de resistencia (lb.-pie)
Panel L1	1,575.00	0.98	0.00	1,543.50
Panel L2	1,575.00	0.98	0.00	1,543.50
Panel L3	1,837.00	1.59	0.00	2,924.50
Panel L4	1,837.00	1.59	0.00	2,924.50
Panel L5	2,094.00	2.31	0.00	4,837.14
Panel L6	2,361.00	3.09	0.00	7,295.49
Panel L7	2,361.00	3.09	0.00	7,295.49
Panel L8	2,623.00	3.91	0.00	10,255.93
Relleno seleccionado L1	4,740.61	2.25	0.00	10,666.38
Relleno seleccionado L2	4,740.61	2.25	0.00	10,666.38
Relleno seleccionado L3	7,530.98	3.25	0.00	24,475.70
Relleno seleccionado L4	7,530.98	3.25	0.00	24,475.70
Relleno seleccionado L5	10,321.36	4.25	0.00	43,865.76
Relleno seleccionado L6	13,111.73	5.25	0.00	68,836.57
Relleno seleccionado L7	13,111.73	5.25	0.00	68,836.57
Relleno seleccionado L8	15,902.10	6.25	0.00	99,388.12
Grada L2	0.00	4.00	0.00	0.00
Grada L3	6,000.00	5.00	0.00	30,000.00
Grada L4	0.00	6.00	0.00	0.00
Grada L5	12,000.00	7.00	0.00	84,000.00
Grada L6	15,000.00	9.00	0.00	135,000.00
Grada L7	0.00	10.00	0.00	0.00
Grada L8	21,000.00	11.00	0.00	231,000.00
Sobrecarga	0.00	8.00	0.00	0.00
Fe vertical	0.00	12.00	0.00	0.00
			Momento de resistencia =	869,831.25

De lo cual se obtiene que el factor de seguridad al volteo es de:
869,831.25 lb.-pie

$$\lambda \text{ VOL} = \frac{869,831.25 \text{ lb.-pie}}{346,666.67 \text{ lb.-pie}} = 2.51 \geq 2.0$$

□ Soporte máximo de presión

Σ de cargas verticales = 161,596 lb / 5' de unidad

base(L)=12'

e = 2.23'

$$\sigma_v = \frac{(161,596 \text{ lb}/5')}{(12' - 2(2.23'))} = 4,287 \text{ lb}/\text{pie}^2$$

Para la determinación de los factores de seguridad en todos los niveles del muro, se presenta un resumen de los mismos en la tabla XII.

Tabla XII. Factores de seguridad en cada nivel del muro

Nivel	Altura(Pies)	Largo de Tronco (pies)	Volteo	Dezlizamiento	Levantamiento
1	2.50	4.00	6.89	3.91	8.50
2	5.00	4.00	2.66	2.28	4.27
3	7.50	6.00	3.23	2.29	4.48
4	10.00	6.00	2.05	1.83	4.11
5	12.50	8.00	2.51	1.97	4.95
6	15.00	10.00	2.88	2.09	5.87
7	17.50	10.00	2.21	1.84	5.76
8	20.00	12.00	2.51	1.74	6.10

3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS UNIDADES T- WALL

El proceso de fabricación se logra mediante la producción de unidades estandarizadas, esto se produce en patios de prefabricación en condiciones de planta.

Una de las ventajas de la construcción prefabricada es el empleo de una menor mano de obra por unidad, a causa de la producción mecanizada en serie, se alcanza una mejor calidad y resistencia del concreto.

En el contexto del presente análisis, se establece el proceso de fabricación y un control de calidad para las unidades t-wall.

3.1 Detalles del refuerzo de acero y su armado

3.1.1 Acero de refuerzo

La resistencia útil tanto a tensión como a compresión de los aceros , es decir, la resistencia a la fluencia, aproximadamente es 15 veces la resistencia a la compresión del concreto estructural común y más de 100 veces su resistencia a la tensión. Por tal razón el acero es un material mucho más costoso que el concreto. En consecuencia en los muros t-wall se utiliza una mejor combinación, donde el concreto se encarga de resistir los esfuerzos de compresión y el acero los esfuerzos de tensión.

En el uso del concreto prefabricado, es evidente una tendencia a la utilización de materiales de alta resistencia tanto para el acero como para el concreto. Las barras de refuerzo utilizadas en el armado de las unidades son de grado 60, ya que su uso permite reducir la congestión de acero en la formaleta.

El acero de refuerzo se coloca en la formaleta antes de vaciar el concreto, se usan varillas No. 3 y 4, por conveniencia en la fabricación se utiliza soldadura para hacer los empalmes; la nomenclatura para describir el tipo y grosor de las varillas utilizadas en las unidades t-wall, se identifica en la tabla XIII, que se presenta a continuación.

Tabla XIII. Identificación y grosor del tipo de varilla utilizado en el armado de las unidades t-wall

Identificación	# de grosor de la varilla
V - 1	# 3
H - 1	# 4
S - 1	# 3
TB - 1	# 4

Para lograr una efectiva acción del refuerzo, se realiza el armado en la estructura de la forma presentada en las figuras (10,11,12,13,14y 15).

Figura 10. Vista frontal, armado de la cara o panel con extensión de barrera

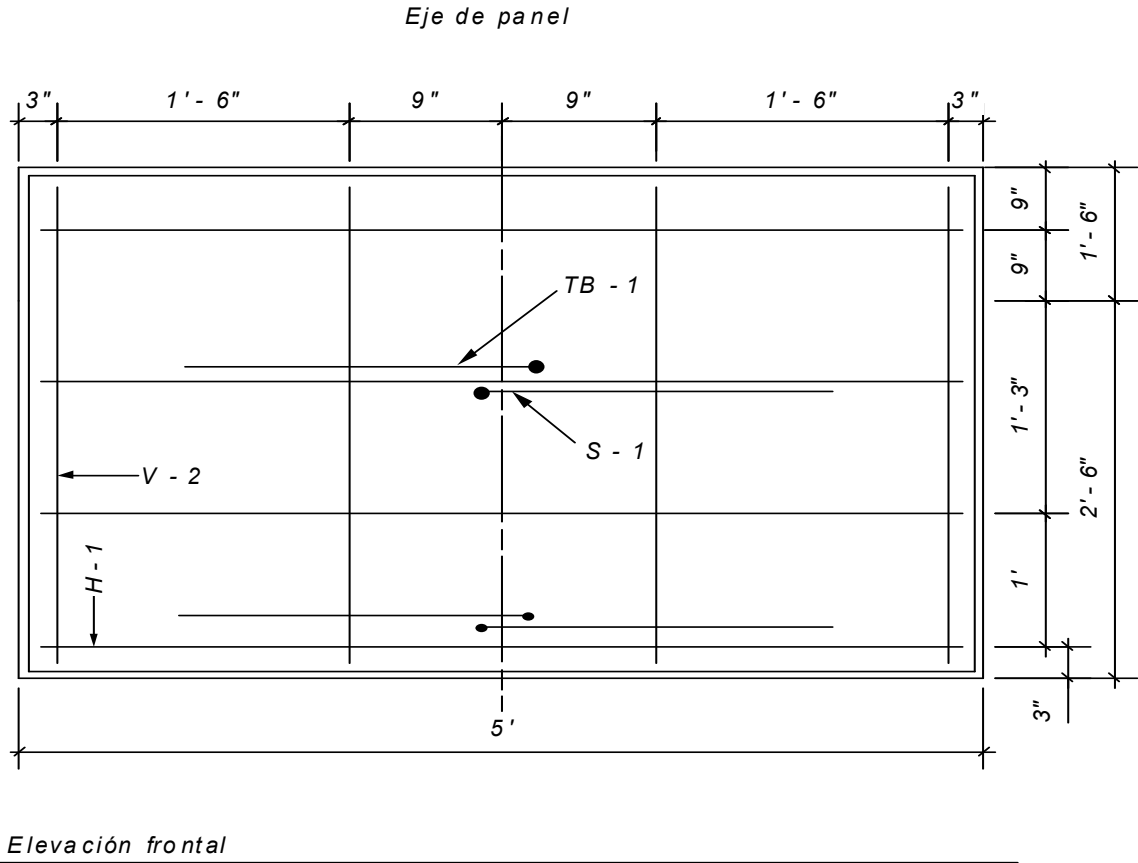
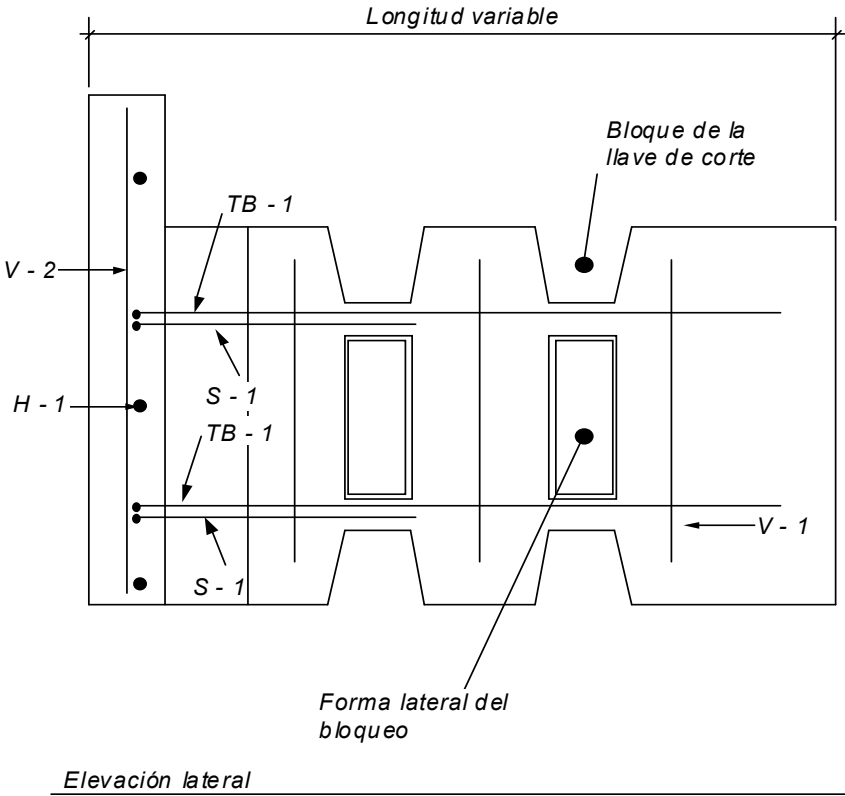
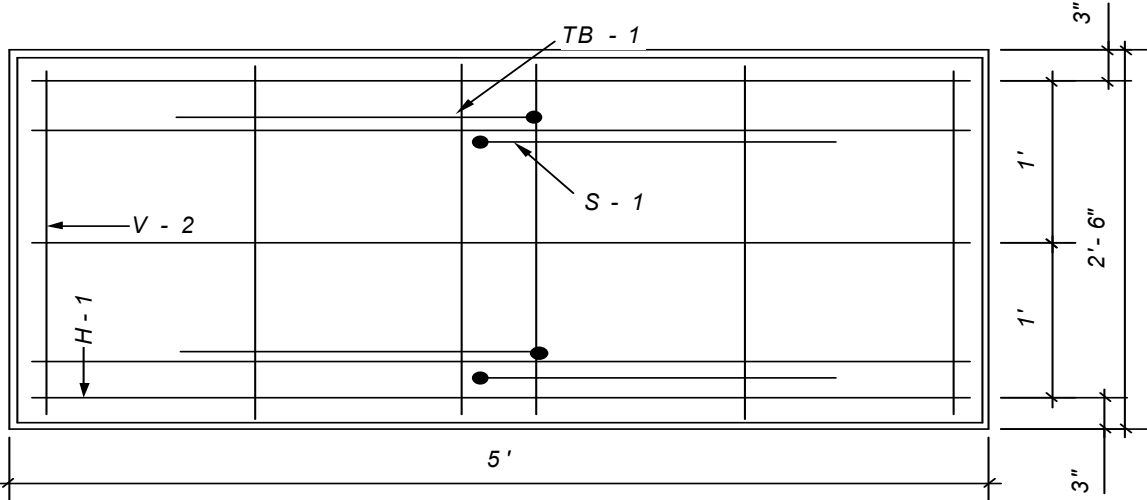


Figura 11. Vista lateral, armado de la cara y el tronco con extensión de barrera



Elevación lateral

Figura 12. Vista frontal, armado de cara o panel sin extensión de barrera



Elevación frontal

Figura 13. Vista lateral, armado de la cara y el tronco sin extensión de barrera

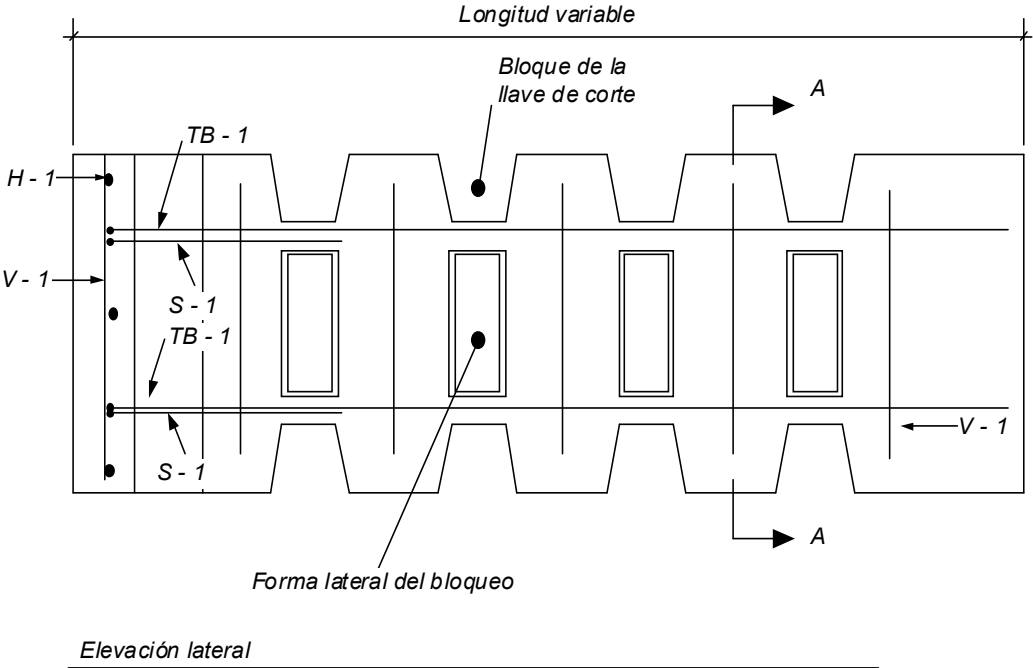


Figura 14. Vista frontal del armado de troncos

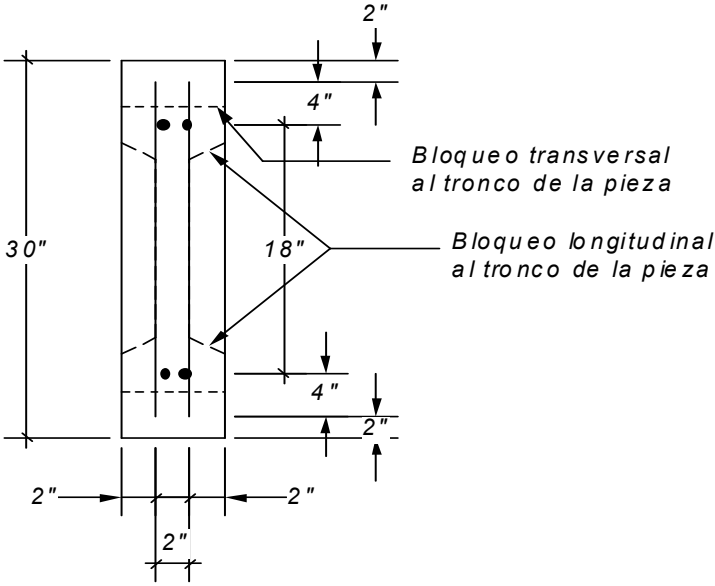
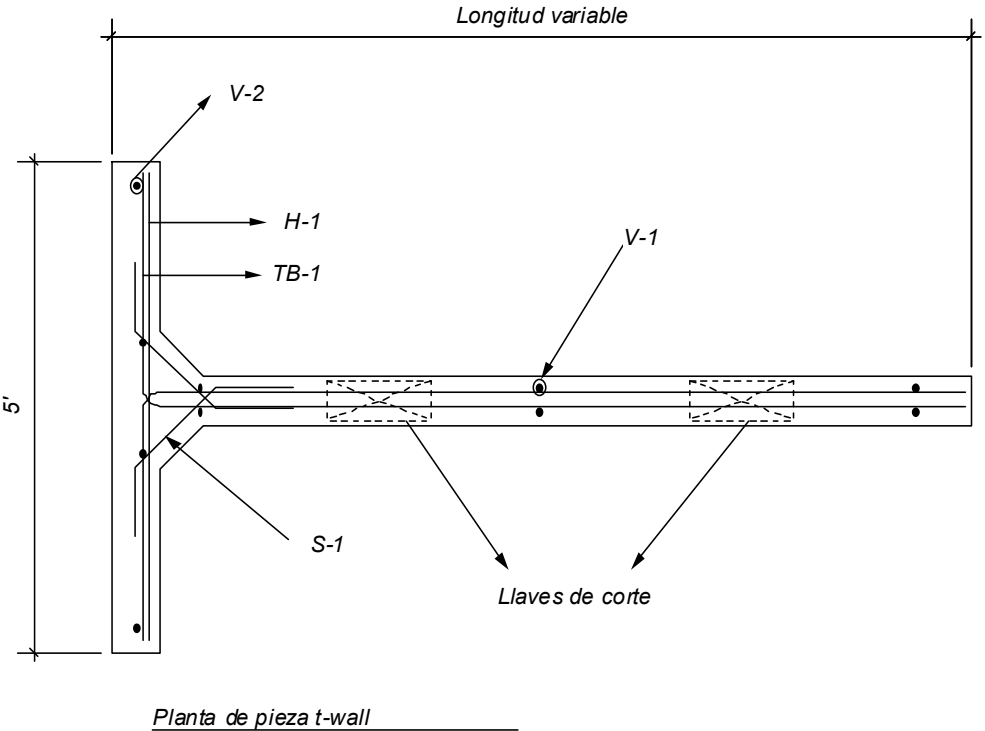


Figura 15. Vista superior del armado de la cara y el tronco



3.2 Procedimientos y especificaciones de la fundición de la cara frontal y el tronco de la unidad t-wall.

Los diferentes componentes de un buen concreto se dosifican de manera que éste tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo. Este último factor obliga a la utilización de la mínima cantidad de cemento y que asegure unas propiedades adecuadas.

Este sistema prefabricado de contención utiliza un concreto de 4000 psi. Todos los trabajos de mezclado se llevan a cabo en una planta dosificadora especial. El principal propósito es producir una mezcla sólida entre el cemento, el agua, los agregados finos y gruesos y lograr así una consistencia uniforme para el concreto.

3.2.1 Descripción de la formaleta

La formaleta utilizada para la fabricación de las piezas es de metal y cumple con la forma, los lineamientos y las dimensiones de los elementos, según lo especificado en las bases del diseño. Debe ser suficientemente impermeable para impedir la fuga del concreto.

El diseño de la formaleta toma en cuenta la velocidad y el método de colocación de concreto, las cargas de construcción, tanto verticales como horizontales.

La formaleta no se retira, excepto cuando la estructura tiene suficiente resistencia y se hace de tal forma que no se perjudique la seguridad y servicialidad de la estructura.

3.2.2 Transporte de concreto

El transporte de concreto para la construcción de las unidades, desde el camión mezclador a la formaleta, se realiza mediante bombeo a través de conductos (trompas de elefante), pues de esta manera se evita la segregación entre el agregado grueso y el mortero, o la del agua de los demás componentes.

3.2.3 Colocación del concreto

Antes de proceder a colocar el concreto se eliminan todos los desechos que se acumulen dentro de las formaletas, el refuerzo debe estar completamente libre de mugre, polvo de óxido, escoria de fundición y demás capas, retirándose también el exceso de agua de la formaleta.

La colocación del concreto se da por medio del vaciado, el proceso de transferir el concreto fresco del dispositivo de conducción a su sitio final de descarga en la formaleta.

3.2.4 Compactación del concreto

Una vez que se termina la colocación, el concreto se compacta con vibradores mecánicos de alta frecuencia, que son de tipo interno y se sumergen en el concreto.

3.2.5 Curado

Se verifica que el concreto fresco gane resistencia más rápidamente durante los primeros días y semanas.

El diseño estructural del sistema t-wall se fundamenta en la resistencia a los 28 días, pero al utilizar cemento de alta resistencia, se reduce su período de curado a la mitad, manteniendo continuamente húmedas las superficies que están expuestas mediante un rociado o emposamiento de agua.

3.3 Descripción de pruebas y estándares de calidad de las unidades

La calidad de materiales producidos en planta, como los aceros estructurales o de refuerzo, utilizados en la fabricación de las unidades, es garantizada por el productor quien practica controles sistemáticos de calidad, especificados usualmente por las normas pertinentes de ASTM.

El productor se fundamenta en las disposiciones de la norma ASTM A706, la cual establece restricciones especiales, tanto del tipo de acero utilizado como sobre el procedimiento de soldadura de barras al empalmarse; que por conveniencia en la fabricación de los entramados de refuerzo y para su colocación en la formaleta, pueden producirse cambios metalúrgicos que reduzcan la resistencia y la ductilidad del acero de refuerzo.

Otro estándar de calidad tomado en cuenta, es el código ACI, éste establece que los aceros de alta resistencia por lo general fluyen en forma gradual pero no tienen una plataforma de fluencia.

Según esta situación, se exige que la deformación unitaria total para resistencia a la fluencia mínima especificada no exceda de 0.0035.

Con el fin de distinguir en forma fácil el grado del acero y su resistencia mínima a la fluencia y la tensión, se establece la tabla XIV de aceros estandarizados de refuerzo.

Tabla XIV. Aceros estandarizados de refuerzo

Producto	Especificación	Resistencia mínima a la fluencia		Resistencia mínima a la tensión		
		Grado o tipo	klb/pulg ²	Mpa	klb/pulg ²	Mpa
Barras de refuerzo	A615	40	40	276	70	483
		60	60	414	90	620
	A616	50	50	345	80	552
		60	60	414	90	620
	A617	40	40	276	70	483
		60	60	414	90	620
	A706	60	60	414	80	552
			(78 máx)	(538 máx)		

FUENTE: Nilson, Arthur/ Winter, George Diseño de estructura de concreto, pág 49.

La principal medida de la calidad estructural del concreto es su resistencia a la compresión. Los ensayos para medir esta propiedad se realizan sobre muestras de cilindros con altura igual a dos veces su diámetro, de 6 X 12 pulgadas. Los moldes impermeables con esta configuración se llenan con concreto durante el proceso de vaciado siguiendo el procedimiento especificado por las normas ASTM C172, y ASTM C31. Los cilindros se curan húmedos a 21°C, en general a 28 días y después se ensayan en el laboratorio a una tasa de carga especificada. La resistencia a la compresión obtenida de estos ensayos se conoce como la resistencia del cilindro fc' y es la principal propiedad estipulada para propósitos de diseño.

En resumen, el control de calidad en la fabricación de las piezas t-wall, se da con la inspección sistemática del ingeniero a cargo de la producción, en donde se asegura una correspondencia entre los planos, las especificaciones y la estructura determinada.

Las principales funciones del inspector, con relación al control de calidad de los materiales, son el muestreo, el examen y el ensayo de los materiales, el control de la dosificación del concreto, la inspección del proporcionamiento, el mezclado, el transporte, el vaciado, la compactación, el curado y la supervisión en la preparación de los cilindros para los ensayos de laboratorio.

Esta breve descripción del proceso del control de calidad, representa un esbozo de un tema muy importante. La persona que realiza este control, es verdaderamente responsable de todas las fases de producción y se familiariza con todos los detalles con mayor profundidad.

4. CONSTRUCCIÓN BÁSICA DEL SISTEMA

Desde el inicio de la década del sesenta hasta la actualidad, los costos de construcción han aumentado una tasa considerablemente más alta que la de la mayor parte de los productos industriales.

Una de las principales razones para estos altos costos, es la gran cantidad de mano de obra en el sitio que se involucra en los tradicionales procesos de construcción. Aún así, sin considerar el costo, la demanda por mano de obra experimentada para construcción en el sitio supera la oferta y esto seguirá siendo así en la mayor parte de los países en desarrollo. Esta tendencia puede desacelerarse o detenerse sólo a través de un aumento en la industrialización de la construcción.

Al atender esta necesidad surge el sistema prefabricado de muro de contención, que debido a su forma fácil y rápida de construcción continúa ganando importancia.

Sus requerimientos de equipo para el proceso de construcción son básicos y están en el lugar de la obra para otros propósitos. Para describir el procedimiento, se presenta una guía técnica y un análisis de costos.

4.1 Materiales, equipo, herramientas y personal a utilizar en la construcción de un muro prefabricado t-wall

4.1.1 Materiales

Se requieren los materiales descritos a continuación:

4.1.1.1 Unidad t-wall de concreto prefabricado

Estructura de concreto prefabricado en forma de T, constituida por un cara (panel frontal) y una extensión monolítica (tronco).

4.1.1.2 Llave de corte

Se le conoce como llave de corte a la pieza de concreto que sirve como guía de alineación y previene el movimiento de la unidad durante el relleno y la compactación, también provee resistencia adicional al levantamiento.

4.1.1.3 Unión horizontal

Son franjas de hule de 3/8" de espesor por un ancho de 5", que actúan como un amortiguador, previenen el contacto concreto a concreto entre las caras o paneles del muro y el derramamiento del relleno, en todas las juntas horizontales.

4.1.1.4 Unión vertical

Se les conoce de esa manera a las franjas de filtro de tela, que con un ancho específico de 12" previenen la migración del material de relleno, a través de las uniones verticales de las caras o paneles del muro.

4.1.2 Equipo

Se necesita del equipo descrito a continuación, para la construcción de un muro t-wall.

4.1.2.1 Equipo de levantamiento y excavación

Se requiere de una grúa pequeña, la cual permite realizar operaciones de carga y acomodamiento de piezas t-wall.

En la excavación se utiliza una retroexcavadora, la cual permite hacer el corte del material no adecuado para el relleno y lo carga a los camiones para retirarlo del lugar.

4.1.2.2 Equipo para acarreo y distribución de relleno

Para el acarreo del relleno seleccionado, así como el material cortado de desperdicio proveniente del corte, es preferible utilizar camiones de volteo.

En la distribución del material de relleno se puede utilizar la retroexcavadora pues ésta cuenta con un cargador frontal y si las condiciones lo ameritan un tractor para arrastre del material entre los troncos.

4.1.2.3 Equipo de compactación

Para compactar el relleno seleccionado, se utiliza una vibrocompactadora pequeña, que logre una compactación de 95% de densidad estándar.

4.1.3 Herramientas y accesorios

Las herramientas y los accesorios complementarios a utilizar son los siguientes.

- Barra de hierro
- Nivel
- Cal para trazar
- Escobas y cepillos
- Plomada
- Palas
- Taladro (broca de 10"x 3/4" de carburo para taladrar agujeros en unidades de esquina).

4.1.4 Personal requerido

El personal típico para construir el muro se conforma de:

- Un operador para el equipo de levantamiento.
- Un supervisor para chequear alineación.
- Dos operadores para colocar las unidades y los materiales de unión.
- Dos albañiles y dos ayudantes para trazo y fundición de base.

4.2 Manejo de las unidades

4.2.1 Entrega de unidades t-wall

Antes del inicio de la construcción, se debe desarrollar una agenda para las entregas de las unidades. Este plan de tiempos permitirá al productor empatar la producción de unidades con la agenda de construcción.

4.2.2 Descarga de las unidades

Bajo circunstancias normales, se estiman dos horas de descarga. Durante este período de tiempo, las unidades pueden ser descargadas y apiladas en el suelo usando el dispositivo de levantamiento. Si el tiempo lo permite, las unidades pueden ser colocadas directamente en la estructura del muro.

La manipulación debe hacerse con cuidado para proteger de daños a las unidades y los materiales de unión. No se deben apilar sobre sí más de dos unidades.

4.3 Preparación del sitio de instalación

Se debe realizar la excavación del sitio hasta la elevación mostrada en los planos para la pisada entera de la estructura, incluyendo el área cubierta por el relleno seleccionado entre los troncos.

Bajo circunstancias especiales, la excavación puede incrementarse por el número de cortes. Todos los materiales no utilizables deben ser removidos y sustituidos con el relleno seleccionado.

Se debe tomar en cuenta que cualquier desagüe subterráneo, tubería o drenaje se instalen al mismo tiempo que las unidades.

4.4 Construcción de la base de nivelación

Usualmente la base de nivelación es de 12 pulgadas de ancho y un mínimo de 6 pulgadas de espesor, y es de forma similar a una acera de paso.

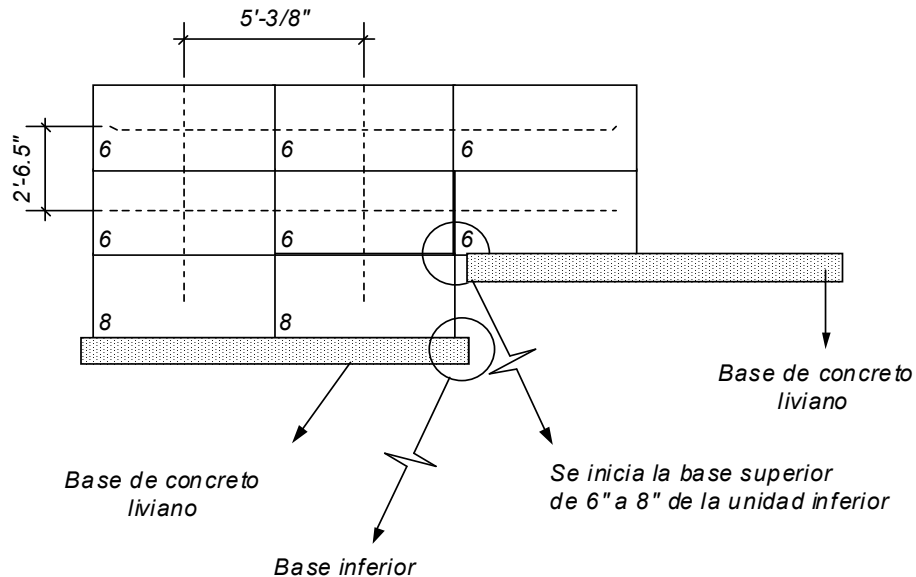
Las formas de los bordes deben revisarse con el nivel para asegurar que se tenga la elevación y tolerancia adecuadas. El máximo de tolerancia aceptada es de $\frac{1}{4}$ de pulgada por cada 10 pies de longitud.

Al revisar la alineación, el borde frontal de la base debe tener 3 pulgadas fuera de la línea de la cara frontal del muro. La base de nivelación es solamente para alineación de la construcción; el concreto puede ser de baja solidez, 2500 psi. La superficie de concreto terminada debe ser plana y lisa.

Es pertinente revisar primero la base de nivelación en línea, grado y tolerancia antes de colocar las unidades. Y si la base de nivelación está fuera de tolerancia, se deben hacer las correcciones necesarias en este punto.

Al construir la base de nivelación en gradas, en la grada inferior se deja un espacio de 6 a 8 pulgadas antes de construir la grada superior; este espacio asegura que la base superior no va a interferir con la colocación de las unidades en la base inferior. Para un muro vertical, se recomienda que el escalón típico (cambio en la elevación) sea de 2 pies y 6.5 pulgadas. En la figura 16 se presenta un escalonado de la base y la distancia entre ejes horizontales y verticales.

Figura 16. Muro escalonado



En áreas en las que el muro es escalonado hacia arriba y la base de nivelación no es muy ancha, se pueden utilizar bases de nivelación prefabricadas, previo a la compactación y nivelación del sitio, para evitar cualquier hundimiento o ladeo de la unión de las unidades de concreto.

4.5 Trazado de la base de nivelación

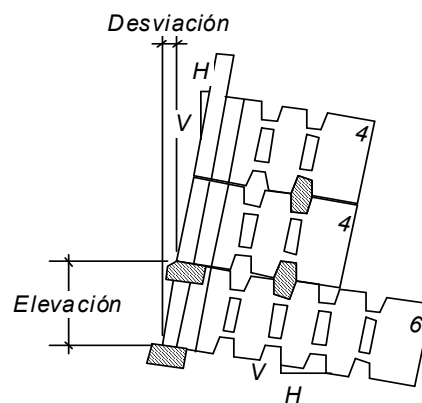
Para establecer la alineación del muro, se marca con una línea de cal en la superficie de la base de nivelación, 3 pulgadas atrás del frente de la base y a todo lo largo de la misma. Esta marcación centrará las primeras unidades en la base de nivelación.

Se comienza a 2 ½ pies del inicio del muro y se marca la base de nivelación en incrementos de 5 pies y 3/8 de pulgada. La unidad de t-wall es de 5 pies de largo con una apertura para la unión vertical de 3/8 de pulgada. Estas marcas indican el centro de la unidad y dónde los troncos de las unidades descansan en el subnivel.

El material en el subnivel se nivela con la base como máxima profundidad, de tal forma que la cara frontal de las unidades esté totalmente perpendicular. Cuando la unidad está colocada es mucho más fácil acuñar el tronco y luego excavar hacia abajo si se amerita.

Para un muro desviado, la base y el material que se utilizan deben estar nivelados a la inclinación apropiada; normalmente 6 horizontales a 1 vertical o 4 horizontales a 1 vertical, tal como se indica en la figura 17.

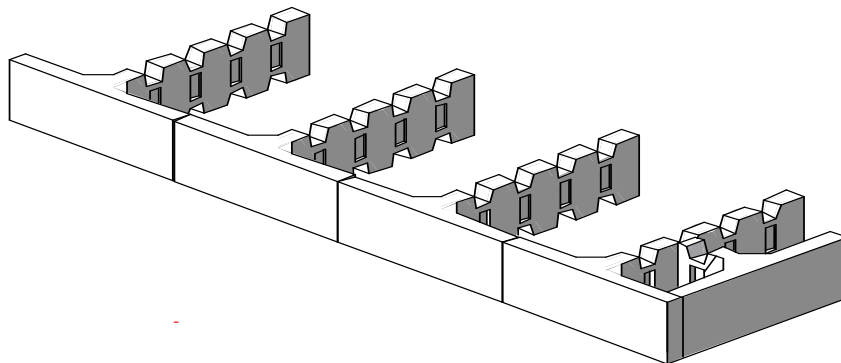
Figura 17. Muro desviado



4.6 Levantamiento del primer grupo

El levantamiento de las unidades, empieza en un punto fijo como una esquina, paso o conexión a una estructura existente. Si no existe el punto fijo, simplemente se empieza en la base de nivelación inferior. Entre la base de nivelación y las unidades prefabricadas no se requiere material de unión. Las primeras unidades se colocan usando líneas de cal y guías para centrar los troncos y alinear la cara frontal, tal como se indica en la figura 18.

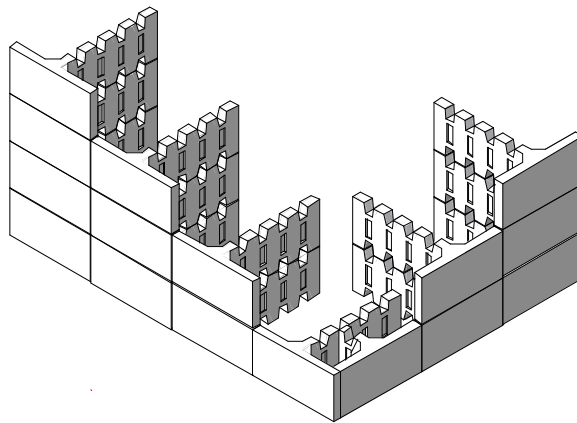
Figura 18. Alineamiento del primer grupo



Se debe ajustar la elevación en la parte trasera del tronco, verticalmente a la cara frontal de la unidad. Luego de la alineación se revisa la parte superior de la cara frontal, de tal forma que tenga el mismo nivel y la misma altura que las otras unidades en el grupo. Si la parte superior de la cara frontal es irregular, se coloca el nivel en la línea donde la parte superior de la cara frontal es cortada y se acuña como sea necesario para lograr el mismo nivel.

Finalmente se debe revisar que en la colocación de una unidad no se haya desviado otra mientras se ajustaba la primera. Luego de asegurar que el primer grupo de unidades está debidamente alineado y nivelado, se procede a construir el muro en levantamiento horizontal, tal como se indica en la figura 19.

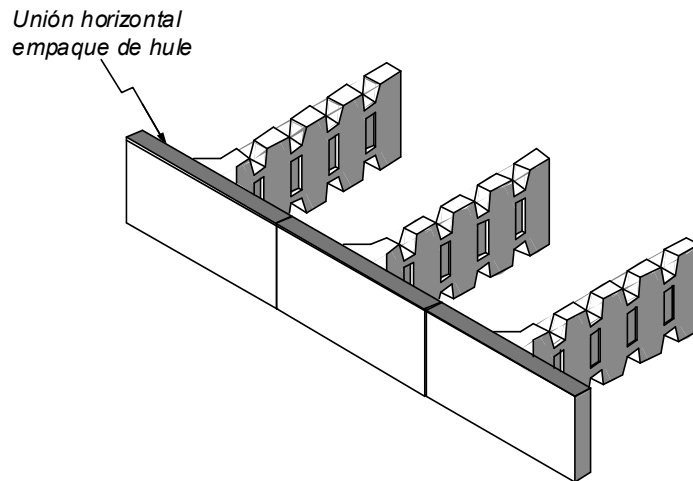
Figura 19. Levantado del muro



4.7 Construcción de grupos subsecuentes y relleno

Antes de iniciar el relleno, se debe colocar el filtro estándar, el cual tiene un ancho de 12 pulgadas y se corta en tamaños iguales a lo alto de la unión vertical del muro; con esto se evita la migración del material de relleno a través de las uniones, las franjas se centran en las uniones verticales existentes entre los paneles o caras de las unidades y que son de 3/8 pulgada de abertura. (ver figura 20)

Figura 21. Instalación de unión horizontal (empaques de hule)



La llave de corte, se envuelve en $\frac{1}{4}$ pulgada de material de unión y se coloca en el espacio entre los dientes, donde los troncos superior e inferior se unen.

El número de llaves requeridas por unidad, debe mostrarse en los planos que se realizarán del proyecto. Típicamente, una llave es usada por cada 6 pies de longitud en los troncos. Además deben espaciarse equitativamente desde el principio.

Para las unidades de esquina, es necesario fijar las mismas al tronco de la última pieza colocada y se utilizan pernos de expansión de $\frac{3}{4}$ " x 12" de acero inoxidable con washers y tuerca, tal como se indica en las figuras 22 y 23.

Figura 22. Fijación de unidad de esquina

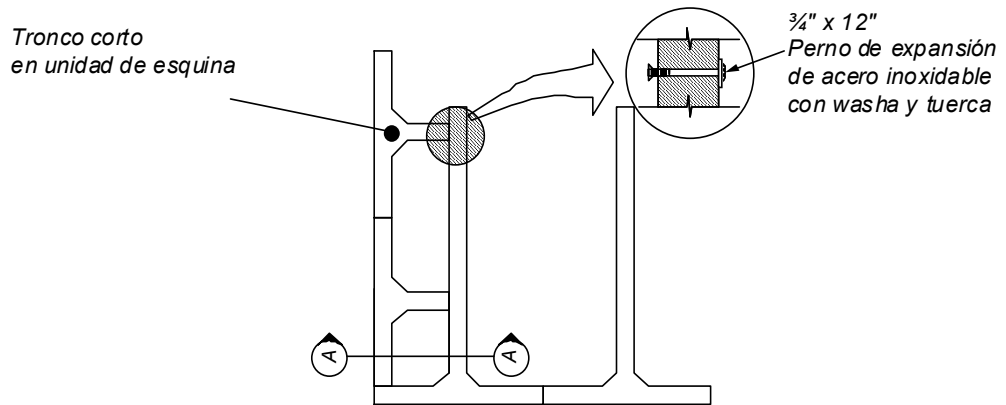
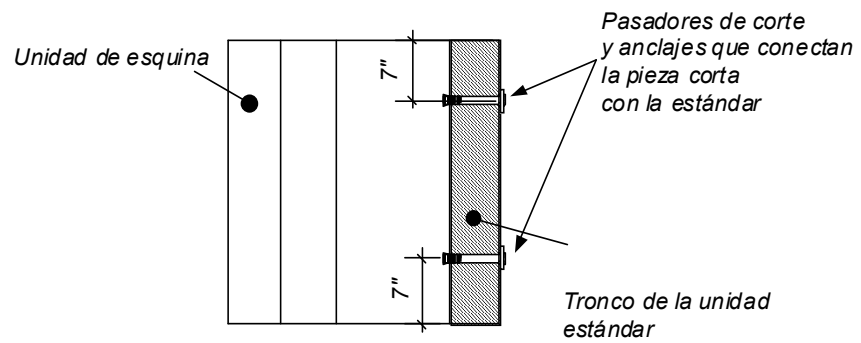


Figura 23. Detalle de pasadores de corte y anclaje



4.8 Trabajo de tierras

Las unidades de concreto constituyen sólo la mitad de la estructura; la otra mitad es la tierra. Esta combinación hace que el muro se mantenga de pie. Es importante que el cimiento sea inspeccionado y aprobado antes de colocar la base de nivelación y la compactación adecuada del relleno, se debe lograr para la integridad estructural del muro y prevenir el derramamiento de la tierra en la parte de arriba del mismo. La falla para cumplir las especificaciones cualquiera de los puntos anteriores implicaría movimiento del muro.

4.9 Comparación de costos del sistema prefabricado t-wall versus muro de hormigón armado

Para efectos de cuantificación se ha analizado un muro en ambos casos de 11'-6" de altura y 328 pies de longitud. Ver sección de muros (fig. 24 y 25).

Figura 24. Sección de muro, modulado de forma t-wall

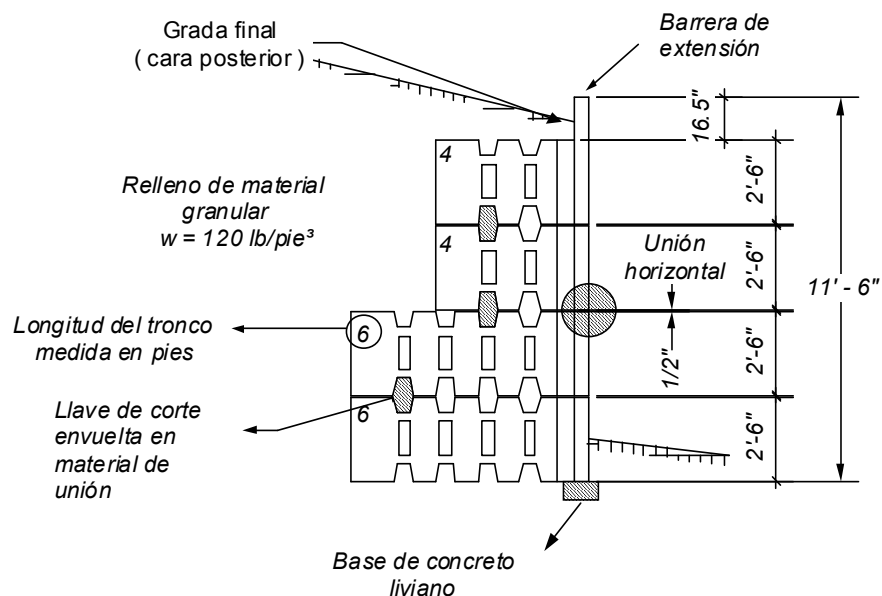
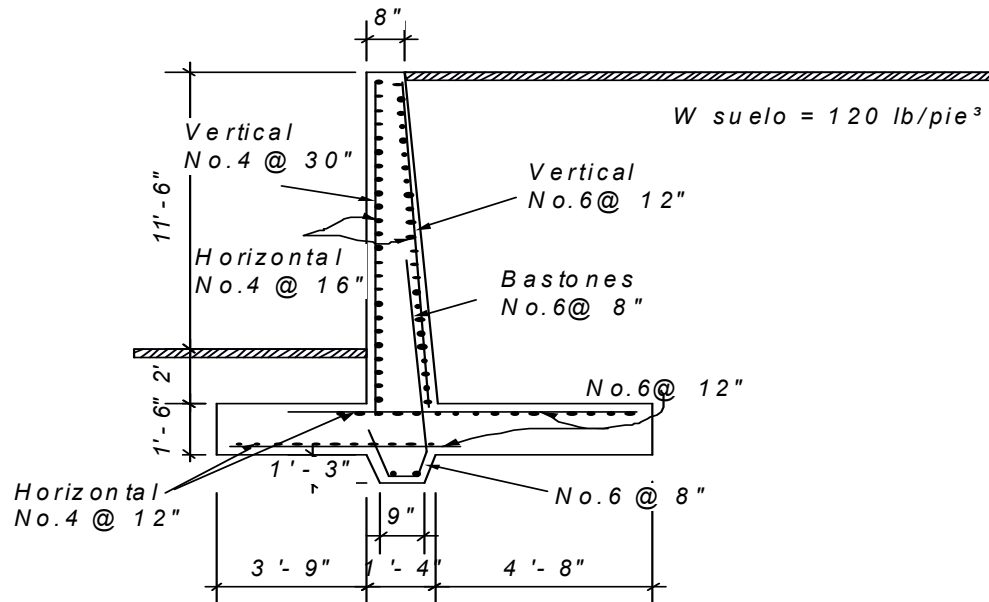


Figura 25. Sección de muro, sistema tradicional de hormigón armado



4.9.1 Cuantificación del muro de hormigón armado

Concreto:

sección : 28 pie²

longitud: 328 pie

28 pie² X 328 pie = 9184 pie³ (260.24 m³)

información proporcionada por RENTACO

precio m³ de concreto 4000 puesto en obra según Mixto Listo

= Q 750.00 /m³

= Q 195,180.00

Hierro legítimo de refuerzo:

539 varillas de 1/2 " = 68 qq de hierro de 1/2"

688 varillas de 3/4" = 230 qq de hierro de 3/4"

información proporcionada por Aceros Suárez

precio qq de hierro = Q 275.00 /qq

= Q81,950.00

Alambre de amarre:

4 lb por qq de hierro = 12 qq de alambre

información proporcionada por Ferretería Súper Mayén

precio de alambre de amarre = Q 350.00/qq

= Q 4,200.00

Madera:

cantidad de tabla por pie = 6 tablas por pie lineal

328 pies X 6 = 1968 tablas/ 3 usos = 656 tablas

656 tablas X 6 pie longitud = 3936 pie tabla

información proporcionada por Aserradero Maselli

precio pie tabla pino = Q 3.50

precio pie tabla ciprés = Q 6.00

= Q 11,808.00

Clavo:

1 lb por cada 10 pie² de construcción

información proporcionada por Ferretería Súper Mayén

precio lb de clavo de 3" = Q 3.50

= Q 1,320.20

Mano de obra:

cantidad de empleados = 10 armadores + 10 ayudantes

cantidad de días a emplear = 40 días

salario de albañil por día = Q 65.00

salario de ayudante por día = Q 35.00

= Q 40,000.00

Costo total del muro sistema tradicional

= Q 334,458.20

4.9.2 Cuantificación del muro utilizando sistema prefabricado t-wall

Preparación del sitio incluyendo excavaciones y corte de talud para colocación de piezas t-wall: 19680 pie³ , nivelación de sitio: 1968 pie² , acarreo distribución de relleno seleccionado y compactación: 16380 pie³ .

Maquinaria y equipo a utilizar:

1 retroexcavadora : 128 h/máquina

2 camiones de volteo: 16 días

1 equipo de levantamiento para carga y acomodamiento de piezas t-wall: 10 días

1 vibrocompactadora pequeña(bailarina) : 8 días

información proporcionada por Hirconsa

precio de retroexcavadora: Q.185.00/h con operador y diesel

= Q. 23,680.00

precio camión: Q.1,000.00/día con operador y diesel

= Q.16,000.00

precio grúa pequeña de 2 toneladas: Q. 2,500.00/día con operador y diesel

= Q. 25,000.00

precio vibrocompactadora: Q. 300/día con operador y combustible

= Q. 2,400.00

= Q. 67,080.00

Entrega de unidades t-wall de concreto prefabricado, unidad estándar con panel (cara) de 2'-6" de altura y 5' de ancho y longitud de tronco variable:

132 unidades t-wall con extensión monolítica (tronco) de 6 pies, y 132 de 4 pies.

66 extensiones de barrera, 264 llaves de corte, 1312 pies lineales de uniones horizontales, 660 pies lineales de uniones verticales.

Información proporcionada por TENCO

costo de unidades t-wall, con accesorios incluidos:

1 pie²= Q 50.00

área de muro= 3,804 pie²

= Q 190,200.00

Base de nivelación:

fundición de concreto de baja resistencia : 164 pie³ (4.65 m³)

Información proporcionada por Mixto Listo

precio de concreto : Q 680.00 m³

= Q 3,162.00

Herramientas a utilizar:

información de precios proporcionada por Ferretería Súper Mayén

1 barra de hierro = Q125.00

1 nivel = Q 75.00

1 plomada = Q 30.00

2 palas = Q 80.00

1 cepillo de limpieza = Q 15.00

2 bolsas de cal = Q 40.00

= Q 365.00

Mano de obra:

cantidad de empleados para colocar unidades y materiales de unión, así como la fundición de la base de nivelación:

1 supervisor durante 20 días

2 operarios de instalación durante 10 días

2 albañiles durante 8 días

2 ayudantes durante 20 días

salario de supervisor por día = Q200.00

salario de operario por día = Q100.00

salario de albañil = Q 65.00

salario de ayudante = Q 35.00

= Q 8,440.00

Costo total de muro prefabricado t-wall

=Q 269,247.00

CONCLUSIONES

1. El método prefabricado de contención t-wall, representa una solución de diseño apropiada, ya que puede construirse relativamente rápido, obteniéndose una flexibilidad geométrica que minimiza los trabajos de construcción y prolonga la durabilidad del muro.
2. La investigación realizada implementa los métodos de construcción en muros de contención, dándole así soluciones técnicas a la Ingeniería Civil. Se logra en sí la capacitación del profesional y del estudiante que necesita resolver los constantes problemas de estabilización de suelos.
3. El sistema tradicional de construcción de muros de contención a base de hormigón armado muestra una diferencia de costo de aproximadamente 25% más que el muro prefabricado t-wall. Al viabilizar las distintas opciones constructivas que existen para muros de contención en Guatemala dichas cifras puedan servir de parámetros comparativos.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere la utilización de la presente investigación como una guía técnica de diseño y un manual de construcción del sistema prefabricado t-wall para muros de contención.
2. Es indispensable que el personal encargado de la construcción del sistema, revise y aplique estrictamente todas las especificaciones y controles de calidad, ya que la falla en cumplir los mismos implicaría movimiento del muro de contención.
3. Debe presentarse previo a la construcción del sistema, un análisis de la estabilidad de la base de cimentación, donde exista la posibilidad de falla o la profundidad del valor soporte.
4. Al utilizar el sistema prefabricado t-wall para muros de contención, nunca debe de ser construido sin los planos debidamente autorizados por un Ingeniero Civil con experiencia en el tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. A.H. Nilson y G. Winter, Design of Concrete Structures. (11a. edición, Estados Unidos: Editorial McGraw- Hill, 1994). p.26-50 y 572-585.
2. Design guide & technical information: Users Manual. (Estados Unidos: The Neel Company, Engineered Precast Products, T-Wall Retaining Wall System, 1992). pp. 1-17.
3. Construction Information: Users Manual (Estados Unidos: The Neel Company, Engineered Precast Products, T-Wall Retaining Wall System, 1992). pp. 1-9.
4. ACI 318-83, Building Code Requirements for Reinforced Concrete. (Estados Unidos: Editorial American Concrete Institute,1983). pp. 103-121,427-428.
5. AASHTO, Annual Book of AASHTO Standards Specifications,3.01:345.1994.
6. Design of Precast Concrete Wall Panels, Information of ACI. (Estados Unidos: Editorial American Concrete Institute,1971). pp. 504-513.
7. ASTM, Annual Book of ASTM Standards, Method of Sampling Freshly Mixed Concrete and Practice for Making Curing Concrete Test Specimens in the Field, 31:17:706,1994.

ANEXO: VISUALIZACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL MURO PREFABRICADO DE CONTENCIÓN T-WALL Y FIGURAS DE SUS APLICACIONES

Generalidades

Se presentan fotos que sirven de guía para determinar las fases de construcción del muro y sus posibles aplicaciones. La fuente de las fotos proviene de la empresa de prefabricados TENCO (tecnología en concreto) y *The Neel Company, Engineered Precast Products, Construccion Manual Information*. Págs. 2,3,4,5,6,7,8).

Figura 26. Descarga de las unidades t-wall del vehículo de transporte



Figura 27. Levantamiento de la unidad t-wall en el punto de balance



Figura 28. Dispositivo de levantamiento



Figura 29. Preparación del sitio de construcción del muro



Figura 30. Fundición de la base de nivelación



Figura 31. Base de nivelación en forma escalonada

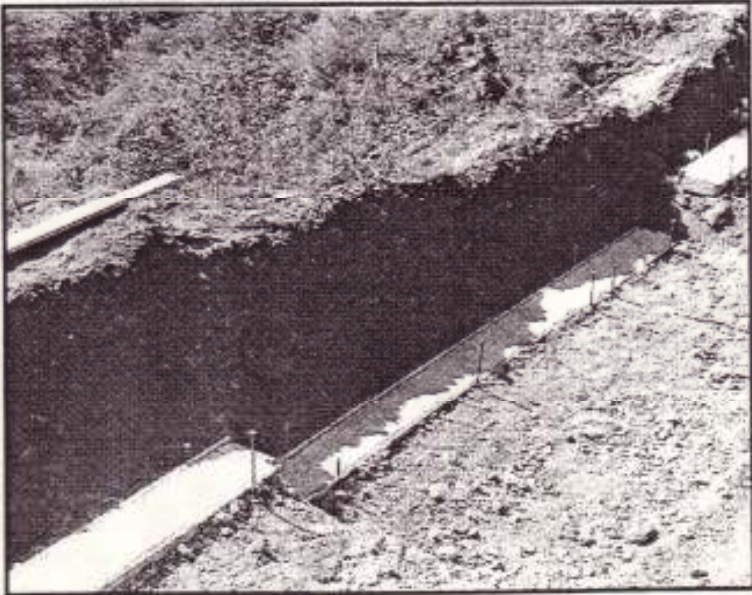


Figura 32. Primer grupo de unidades t-wall sobre la base de nivelación

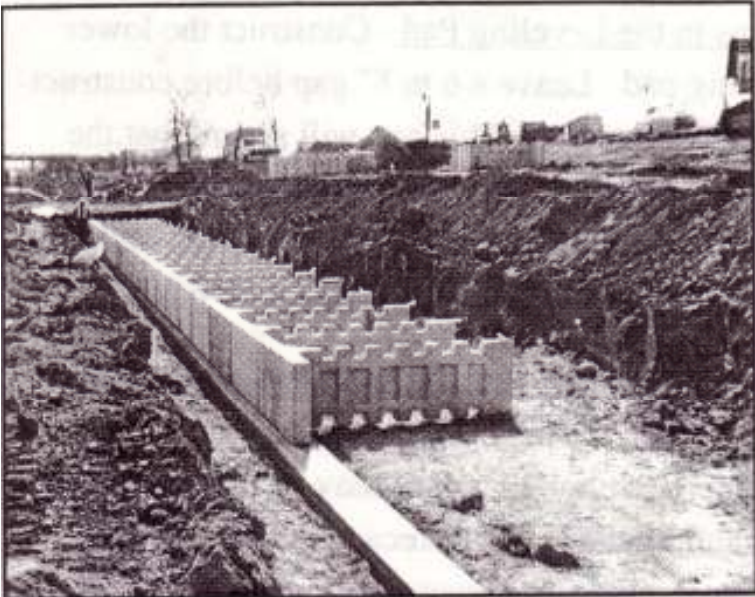


Figura 33. Colocación del filtro de 12" de ancho en las uniones verticales



Figura 34. Compactación de relleno seleccionado atrás de primer grupo

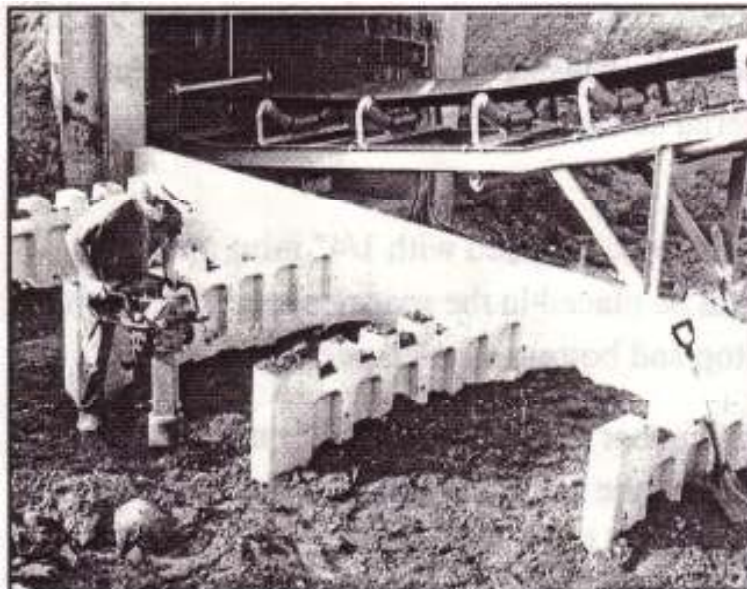


Figura 35. Colocación de empaque de hule en uniones horizontales



Figura 36. Instalación de las llaves de corte envueltas en 1/4" de material de unión



Figura 37. Colocación de grupo de unidades t-wall subsecuentes



Figura 38. Colocación de relleno seleccionado y compactación atrás de grupo subsecuente



Figura 39. Detalle de la instalación de la unidad t- wall en esquina

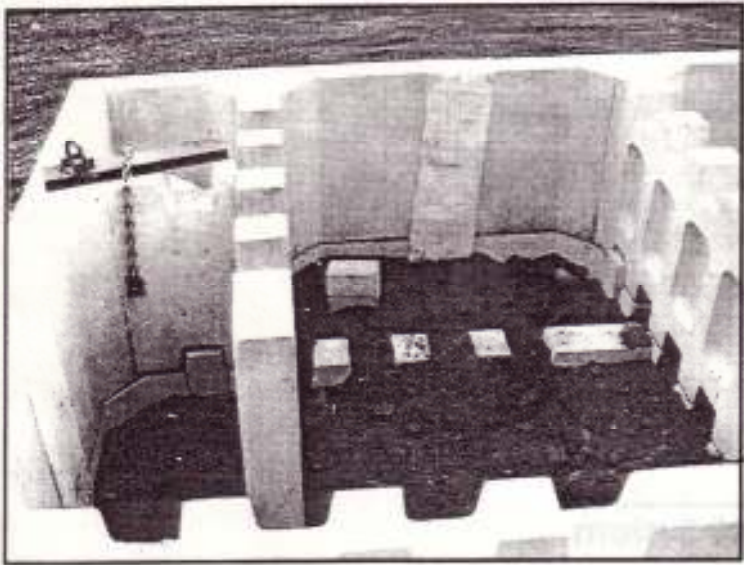


Figura 40. Vista de la cara frontal del muro terminado con barrera

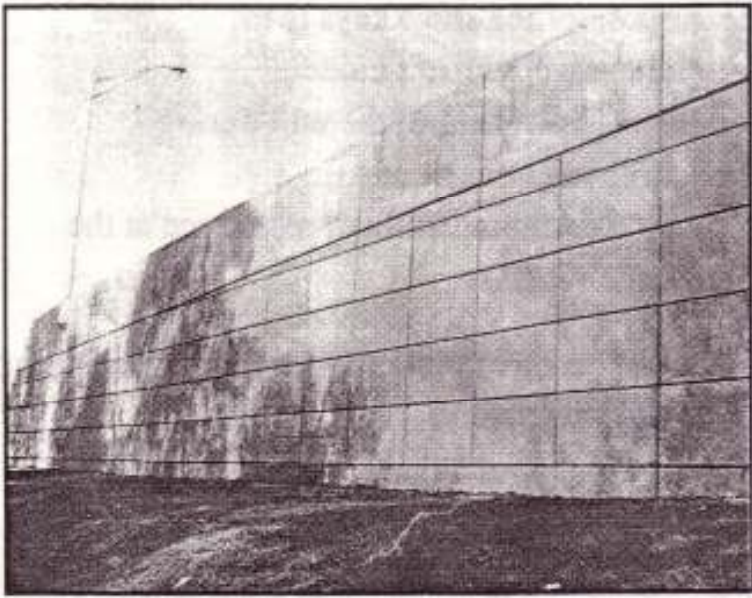


Figura 41. Uso en construcción de aproches en puentes

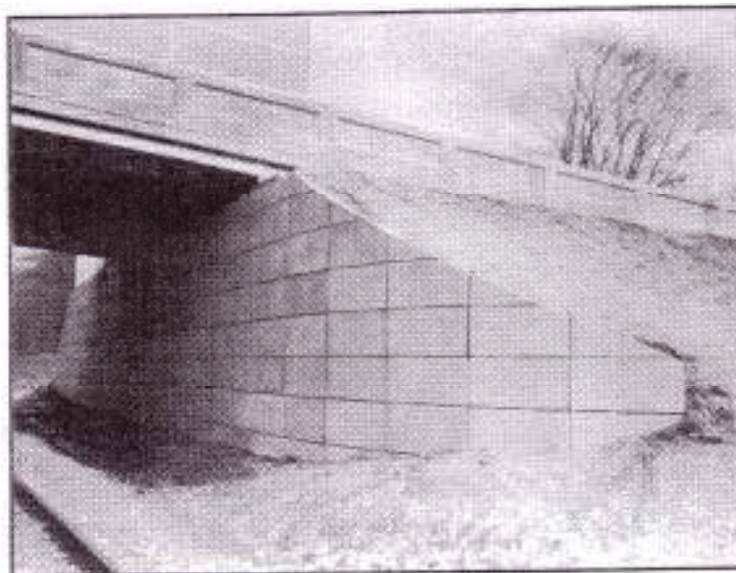


Figura 42. Uso en construcción de lagunas artificiales y protección de márgenes de ríos



Figura 43. Uso en la protección de taludes

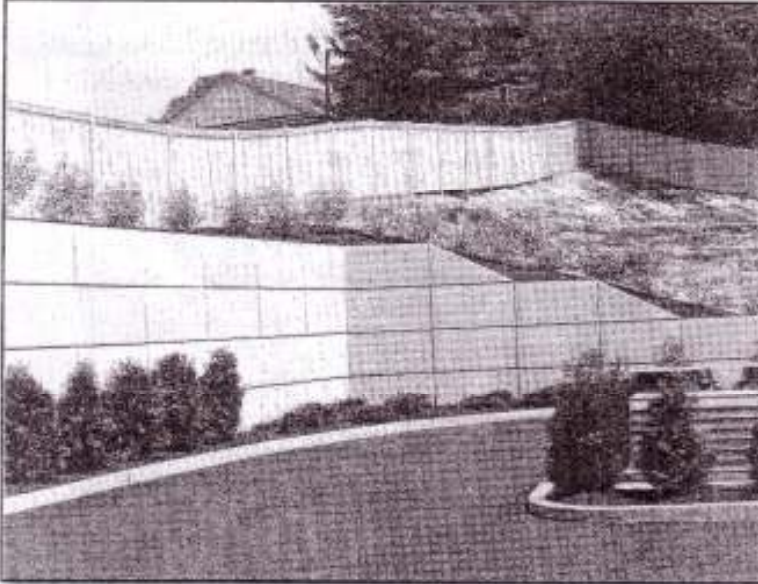


Figura 44. Uso en construcción de vías férreas

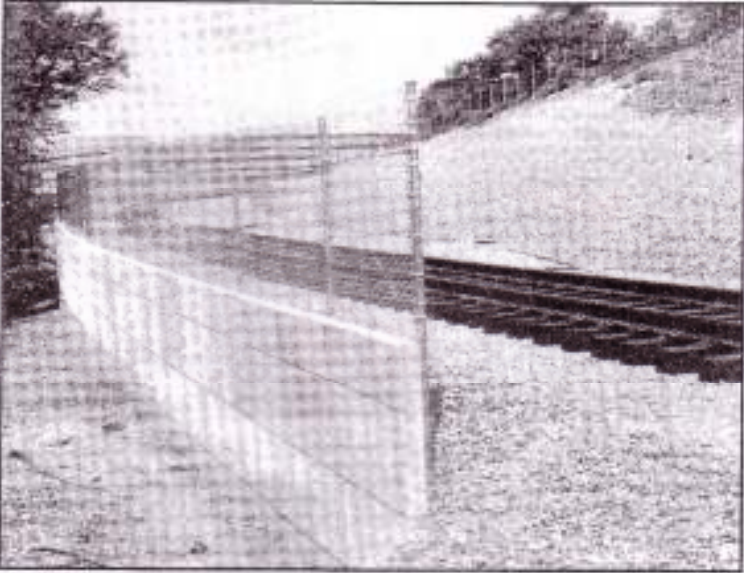


Figura 45. Uso en construcción de puentes



