NORMAS APLICABLES A LA INDUSTRIA

Y

LINEAMIENTOS DE LA PRÁCTICA DFI

PARA

MUROS PANTALLA ESTRUCTURALES

Primera edición en español
© Copyright 2014

Preparado por:

DEEP FOUNDATIONS INSTITUTE

.

NORMAS APLICABLES A LA INDUSTRIA
Y
LINEAMIENTOS PRÁCTICOS DFI
PARA
MUROS PANTALLA ESTRUCTURALES

Primera edición en español

DFI – Deep Foundations Institute
326 Lafayette Avenue
Hawthorne, NJ 07506 USA
www.dfi.org

04 de marzo de 2014

PREPARADO POR EL COMITÉ DFI DE MUROS PANTALLA Y ZANJAS

© Copyright 2012

Todos los derechos reservados.
Ninguna parte de este libro se podrá reproducir cualquiera sea la forma sin el consentimiento por escrito del editor.
Impreso en MEXICO

PRÓLOGO

La intención de esta publicación del *Deep Foundations Institute* (DFI) es poder proporcionar a la industria lineamientos modelo prácticos para el diseño y construcción de muros pantalla o *muros colados* (*slurry walls*) estructurales. El objetivo de esta publicación es proporcionar el conocimiento de las prácticas estándar de muros pantalla en la industria de construcción pesada de los Estados Unidos. Este documento no representa en sí mismo un documento o especificación para el diseño de muros pantalla; en vez de ello, es un resumen de las opiniones de ingenieros de la práctica diaria, expertos en construcción y el Comité DFI de Muros Pantalla y Zanjas.

Las normas aplicables a la industria y los principios de la práctica resumidos por el DFI se presentan para destacar las consideraciones principales para seleccionar los elementos de los muros pantalla estructurales, para usos temporales y permanentes como elementos de cimentación. Debido a que la aplicación de los elementos de muros pantalla en túneles, puentes, edificios, presas, construcciones marinas, etc. es muy amplia, en una sola publicación no se pueden abarcar todas las condiciones y reglamentos que gobiernan sus especificaciones y usos. Seguirá siendo la responsabilidad principal de los profesionales experimentados el proporcionar los documentos contractuales apropiados y usar su propio criterio en cada uno de los casos.

El Comité, no anticipa que esta publicación podrá cubrir todas las circunstancias de proyecto, ni tampoco será un sustituto de la importancia de la experiencia local. Existen muchos factores que necesitan tomarse en cuenta para cada proyecto en particular a través del personal experimentado de ingeniería y construcción. Entre ellos están los parámetros reales de diseño, las condiciones del sitio, las características del subsuelo, las condiciones del agua subterránea, la impermeabilidad de la estructura, la facilidad de acceso al sitio, el equipo disponible, las prácticas de trabajo recomendadas, etc. Estos factores se comentan en este documento y se presentan lineamientos al respecto.

La historia de la construcción de muros pantalla proporcionará una idea acerca del desarrollo del proceso usado en los Estados Unidos y alrededor del mundo. Los nombres de muchas personas y empresas que contribuyeron al desarrollo de la construcción de muros pantalla se han omitido de esta publicación por cuestiones de espacio. Algunas de las figuras mencionadas en el texto se incluyen en la Parte IV. La información obtenida de referencias se listan en la Parte V mediante el número de la misma entre corchetes [ ].A lo largo de toda la publicación se usan las unidades comunes del sistema inglés; en la Parte V, también se enumeran las conversiones métricas en unidades del SI así como unidades comunes en kilogramos. En la Parte VI se presenta una relación de proyectos de muros pantalla construidos en América del Norte. Se recomienda a los usuarios de esta publicación comunicarse con el DFI para aclarar dudas y presentar comentarios.

Ésta y otras publicaciones del DFI se pueden conseguir en:
The Deep Foundations Institute
326 Lafayette Avenue
Hawthorne, NJ 07506
Tel: (973) 423-4030
Fax: (973) 423-4031
Correo electrónico: dfihq@dfi.org

MIEMBROS DEL COMITÉ DE MUROS PANTALLA Y ZANJAS

PRESINDENTE	
NICOLAS WILLIG-FRIEDRICH	CASE FOUNDATION COMPANY
MIEMBROS	
LAURENT LEFEBVRE	NICHOLSON CONSTRUCTION COMPANY
RAYMOND J. POLETTO	MUESER RUTLEDGE CONSULTING ENGINEERS
GEORGE ARISTORENAS	SCHNABEL ENGINEERING
GIOVANNI BONITA	GEI CONSULTANTS INC.
BROOK E. BROSI	US Army Corps of Engineers
MARY ELLEN BRUCE	geotechnica s. a. Inc.
DOMENIC D'ARGENZIO	MUESER RUTLEDGE CONSULTING ENGINEERS
GIANFRANCO DI CICCO	GDConsulting LLC
CARLOS ENGLERT	SCHNABEL ENGINEERING
DOUGLAS P. HORVATH	ADVANCED CONSTRUCTION TECHNIQUES INC.
FABIO LISCIDINI	UNDERPINNING & FOUNDATION SKANSKA INC.
NASSER MASSOUDI	Bechtel Corporation
PETER J. NICHOLSON	Nicholson Consulting Co.
WALTER PANIAGUA	Pilotec
AMR RAGY	TREVIICOS CORPORATION
GREGORY SANCHEZ	TREVIICOS CORPORATION
DANIEL P. STARE	GANNETT FLEMING, INC.
GILBERT R. TALLARD	Liquid Earth Support
JEFF TAYLOR	TREVIICOS CORPORATION
DANIEL TILTGES	Denovo Group
MICHAEL P. WALKER	GEI CONSULTANTS INC.
ANDREW VERITY	Gerdau
IHAB ALLAM	Bencor Corporation of America
JUSTIN SEAGO	CETCO
KENNETH GOODHUE	KB Technology
WILLIAM (BUBBA) KNIGHT	Loadtest
MEEOK KIM	Weidlinger Associates, Inc.
THOMAS JOUSSELLIN	NICHOLSON CONSTRUCTION COMPANY
JORGE CAPITAOMOR	GEO - Ground Engineering Operations LTD
DOMINIQUE NAMY	Inquip Associates, Inc.

Traducción al español: Raúl Esquivel Díaz
Edición: Claudia Pineda Hernández
Coordinación: Walter I. Paniagua Z.

NOMENCLATURA USADA EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS PANTALLA

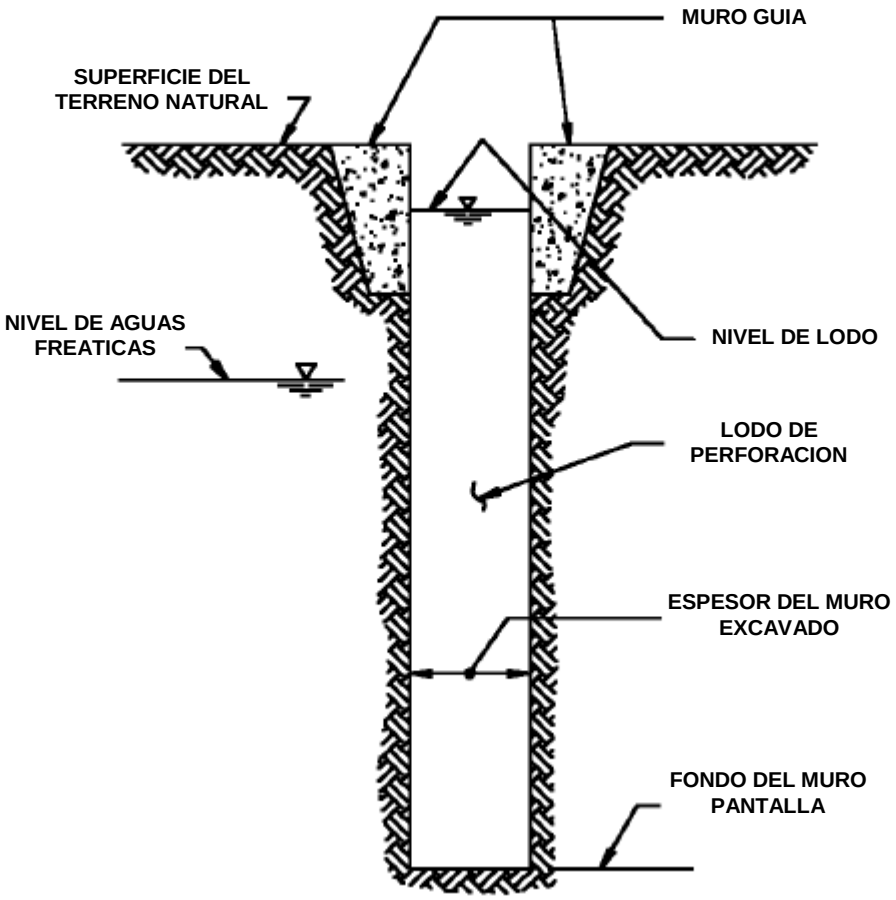


Figura 1: Términos estándar

TÉRMINOS AFINES Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

El término “Muro pantalla o Muro Colado” (*Slurry Wall*) se usa cotidianamente en los Estados Unidos y se refiere a la construcción de elementos de concreto (hormigón) mediante el uso de un fluido en suspensión o lodo de perforación, para estabilizar las paredes de la excavación, antes de que el lodo sea reemplazado por concreto vaciado (colado) utilizando una tubería Tremie y por otros elementos estructurales. Los términos “Muro diafragma” (*Diaphragm Wall*) y “Muro Milán” (*Milán Wall*) se emplean en otras partes y se refieren al elemento final de cimentación, terminado. Las Pantallas impermeables (*Cutoff Walls*) y las Zanjas de lodos (*Slurry Trenches*) se construyen de manera parecida a los muros pantalla estructurales usando una gran variedad de materiales de relleno, pero su finalidad es la de proporcionar ya sea una pantalla impermeable, una barrera ambiental o un sistema de recolección relacionado con el control del agua subterránea o con la mitigación ambiental y no son tema de esta publicación.

DEFINICIÓN DE MURO PANTALLA Y DE OTRA TERMINOLOGÍA ESTÁNDAR (véase la Figura 1)

Un “muro pantalla o muro colado” (*Slurry Wall*) es un elemento estructural de cimentación construido bajo tierra usando un lodo de perforación controlado, formado por una suspensión coloidal ya sea de bentonita, arcillas pulverizadas o polímeros perfectamente mezclados con agua para estabilizar las paredes laterales de una excavación, que se llenará posteriormente con concreto vaciado utilizando una tubería Tremie y que puede estar reforzada con una armadura de acero, tendones o alambres de acero, vigas metálicas o un tablero precolado (prefabricado). En la práctica, el nivel del lodo controlado en suspensión dentro de la zanja se mantiene cercano a la superficie del terreno natural y varios pies por encima del nivel de aguas subterráneas (Nivel freático). Se coloca un brocal o muro guía a cada lado del eje del muro para proporcionar alineamiento vertical y horizontal a la excavación y ser apoyo subsecuente para el equipo de colado (tubería y tolva Tremie) y para los elementos de refuerzo que se van a colocar dentro de la unidad excavada. El muro pantalla se construye en unidades discretas denominadas “tableros o paneles”, que generalmente están unidos en sus extremos por juntas ranuradas formadas por un tubo o perfil junta extraído, luego del vaciado del concreto, o que se puede preparar fresando a lo largo de un plano vertical en el extremo del tablero ya fraguado. A menudo se usan vigas de acero como juntas o conectores entre tableros. Las dimensiones en planta de los tableros generalmente varían entre 2 y 5 pies de ancho y entre 7 y 25 pies de largo. Los tableros se excavan en uno o más posiciones, con traslape de los cucharones o almeja de excavación, o de las máquinas perforadoras dependiendo de las condiciones de suelos y rocas así como de la geometría del sistema de muros pantalla. Definiciones adicionales de términos de la construcción de muros pantalla estándar y del equipo se presentan en la Parte III.

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS PANTALLA

El origen del uso de los lodos de arcilla en suspensión coloidal o lodo de perforación para estabilizar las paredes laterales y el fondo de una zanja excavada se puede remontar a los primeros métodos de perforación de pozos profundos conocidos por los chinos en el siglo III A.C. Ellos aprendieron que la eficiencia de sus herramientas en roca mejoraba con la adición de agua; las formaciones se reblandecían y los recortes (detritus) se removían más fácilmente con herramientas de achique.

Esta práctica de vaciar agua en los barrenos de perforación continuó hasta mediados del siglo XIX cuando en Francia se desarrollaron sistemas de lavado a presión con fluidos y perforadoras rotatorias. Hacia finales de ese mismo siglo, las características selladoras y estabilizadoras de lodos de arcilla y agua fueron identificadas y puestas en práctica en la industria petrolera incipiente de los Estados Unidos.

En los primeros 30 años del siglo XX, las propiedades de los fluidos de perforación se volvieron cada vez más importantes a medida que las profundidades de perforación sobrepasaban la milla. Entre 1926 y 1929 se usó bentonita por primera vez como agente de suspensión y de formación de geles en lodos de perforación.

El uso de lodos para estabilizar las paredes laterales y el fondo de zanjas excavadas fue el resultado directo de la experiencia con pilotes excavados (pilas perforadas), adquirida en Europa. En las aplicaciones iniciales con muros pantalla se experimentó el uso de diferentes materiales de concreto y de concreto plástico para formar barreras, llamadas pantallas, para evitar la infiltración de agua a través de varias capas de suelos. El entrelazamiento de pilotes excavados para formar muros continuos (de 1930 a 1950 en Italia y Francia) marcó la siguiente etapa lógica en el desarrollo de la tecnología de muros pantalla [1].

En la década de 1950, contratistas italianos desarrollaron métodos para excavar tableros alargados usando equipos de perforación por percusión y un lodo estabilizador. La técnica se patentó y las primeras pantallas impermeables (*cutoff walls*) se instalaron en la presa Santa María cercana a Venafro, Italia.

En el curso de las siguientes décadas, empresas de construcción y fabricantes preferentemente italianos y franceses desarrollaron una gran variedad de equipos para la instalación de muros pantalla empleando la técnica de “tableros acoplados”. El equipo desarrollado para los muros pantalla incluía: cucharones de almeja mecánicos, operados con cable y guiados con Kelly, almejas activadas hidráulicamente, métodos de circulación inversa con herramientas de corte, barretones de percusión o trépanos, perforación con cable, unidades de mezclado y limpieza de lodos bentoníticos, equipo Tremie para colar concreto, sistemas de juntas y dispositivos para monitorear la efectividad de la técnica. Los avances logrados en Italia y en Francia rápidamente se extendieron a países orientales y occidentales en forma de convenios de licenciamiento y de exportación de equipos y tecnología. A la fecha, los contratistas siguen mejorando las técnicas de la industria y las excavadoras modernas hidráulicas o “hidrofresas” son los actuales colosos (máquinas monstruosas) usados en la construcción de muros pantalla.

El método de excavación continua de zanjas para la construcción de pantallas impermeables con lodos fue desarrollado en los Estados Unidos en paralelo con el enfoque europeo de muros a base de tableros. A mediados de la década de 1940, las dragas de cucharón de cadena y las máquinas de dragado con cable se mantenían ocupadas a lo largo del río Mississippi y en la Costa Oeste de los Estados Unidos excavando zanjas largas continuas estabilizadas con lodos que se rellenaban con arcilla para formar pantallas impermeables para proteger terrenos adyacentes y estructuras contra las inundaciones. Los avances en el equipo de excavación (excavadoras hidráulicas de gran alcance) y el diseño de las mezclas de relleno (materiales bien graduados con una fracción significativa de suelos plásticos de grano fino) durante las últimas cinco décadas han dado lugar al uso de zanjas excavadas continuamente con lodos y rellenadas con suelo el cual constituye el método más efectivo desde el punto de vista técnico y el más

rentable en cuanto a costo para el control de filtraciones y para el confinamiento de desperdicios en los Estados Unidos.

La construcción de muros pantalla a base de tableros se utiliza en todo el mundo para la construcción de grandes estructuras subterráneas. Las aplicaciones más espectaculares y a la vez las pruebas más estrictas del método han sido en proyectos de rehabilitación de presas en Norteamérica, donde los muros de tableros se han llevado a profundidades de más de 400 pies con una tolerancia más estricta que la lograda en la práctica anterior de construcción. El éxito de estos proyectos debe atribuirse a la inventiva de los ingenieros, contratistas, fabricantes de equipos y expertos en lodos de perforación del presente y del pasado.

La primera construcción de un muro pantalla estructural se usó en los Estados Unidos en 1962 en el proyecto de un túnel ubicado en Brooklyn, ciudad de Nueva York, para una lumbrera (fosa) de acceso, de 25 pies de diámetro excavada por debajo del río East [2]. Se llevó hasta una profundidad cercana a los 80 pies. (Véase la Fotografía 1.)

Cortesía de Rodio

Fotografía 1: Primer proyecto de muro pantalla estructural en los Estados Unidos realizado en Brooklyn, NY. Se empleó una perforadora rotatoria de circulación inversa para formar tableros circulares

Un poco después, en varios proyectos de edificios y de Metros en Boston y en San Francisco se usó el método de muros pantalla para construir las cimentaciones de estas estructuras. Después de iniciados estos proyectos, se construyó un muro pantalla en 1966-1968 a una escala monumental (US$10 millones) para los muros de contención del sótano del *World Trade Center*. (Véase la fotografía 2.) A partir

de estos proyectos precursores, más de 280 obras de muros pantalla se han terminado en los Estados Unidos. Un total de más de 18 millones de pies cuadrados de muros pantalla estructurales se han instalado en ese país durante las últimas cuatro décadas.

La aplicación individual más grande de construcción de muros pantalla dentro de un solo proyecto en los Estados Unidos se refiere al *Central Artery Tunnel* de Boston para la *Massachusetts Turnpike Authority* entre 1993 y 2004. (Véase la fotografía 3.) Más de seis millas o 2,900,000 pies cuadrados de tableros de muros pantalla estructurales se construyeron para este proyecto a un costo de más de 300 millones de dólares.

Cortesía del Doctor Tamaro, Mueser Rutledge Consultor de obra

Fotografía 2: Muro pantalla y etapa de excavación del World Trade Center en 1969.

Se ha recopilado información acerca de 361 proyectos terminados en los Estados Unidos, Canadá, partes del Caribe y México. Estos proyectos se enumeran en la Parte VI, Lista de proyectos. Dichos proyectos se clasifican alfabéticamente (en inglés) para cada una de esas ubicaciones. Muchas obras de muros pantalla se concentran en el Distrito de Columbia, Boston y Nueva York y se agrupan entre sí.

Algunos otros proyectos (por ejemplo, tramos de Metro) son similares por su naturaleza y también se combinan en un solo grupo. Se incluyen seis tipos de información del proyecto (espesor y profundidad del muro pantalla, tipo de muro y soporte de la excavación, tamaño del proyecto, descripción y año de construcción) como datos básicos en el resumen de las aplicaciones de muros pantalla estructurales.

Cortesía de *Big Dig*, Proyecto *Central Artery Tunnel*

Fotografía 3: Hidrofresa Bauer para baja altura libre trabajando en el proyecto *Central Artery Tunnel* de Boston.

CONTENIDO

	Página
Prólogo	iii
Miembros del Comité DFI sobre Muros Pantalla y Zanjas	vi
Nomenclatura usada en la construcción de muros pantalla	vii
Términos afines y procedimientos constructivos	vii
Definición de un muro pantalla y de otra terminología estándar	viii
Historia de la construcción de muros pantalla	viii
Contenido	xiii
PARTE I NORMAS APLICABLES A LA INDUSTRIA	
1. Clasificación de tableros para muros pantalla	1
2. Tamaños típicos de tableros para muros pantalla	5
3. Profundidades de los tableros	6
4. Equipos	7
5. Lodos de perforación	20
6. Etapas de la construcción de tableros	21
7. Inspección, registros y observaciones de la condición finales	22
Las figuras mencionadas en la Parte I y en la Parte II se Muestran en la Parte IV.	
PARTE II LINEAMIENTOS DE LA PRÁCTICA DFI	
1. Alcance	25
2. Aptitudes del contratista	25
3. Investigación del subsuelo	26
4. Consideraciones de diseño y del sitio	27
5. Materiales	30
6. Lodos de perforación	32
7. Requisitos generales de la entrega	32
8. Preparativos para excavación	33

9. Excavaciones 34
10. Colocación del refuerzo 37
11. Colocación del concreto 38
12. Tolerancias 40
13. Condiciones variables del sitio 40
14. Terminación del trabajo 41
15. Criterios de impermeabilidad 41
16. Compensación 43

PARTE III DEFINICIONES

PARTE IV FIGURAS

Figura 1 – Clasificación de tableros 56
Figura 2 – Configuraciones de tableros para muros pantalla 57
Figura 3 – Tipos de juntas entre tableros 58
Figura 4 – Tipos de cucharones de almeja 59
Figura 5 – Operaciones durante la excavación con lodos 60
Figura 6 – Limpieza con la unidad separadora de arena 61
Figura 7 – Etapas de la construcción de muros pantalla 62
Figura 8 – Formato de reporte de inspección de muros pantalla 63
Figura 9 – Formato de reporte de pruebas del lodo fluido 64
Figura 10 – Formato de reporte de inspección del concreto Tremie 65
Figura 11 – Tipos principales de construcción y aplicación de muros pantalla 66
Figura 12 – Guía típica para construcción de muros pantalla 67
Figura 13 – Muro guía construido dentro de una zanja preparada 68
Figura 14 – Tolerancias para muros pantalla 69

PARTE V INFORMACIÓN ADICIONAL

Referencias 70

Bibliografía 71

Tabla de conversión al sistema métrico 75

PARTE VI LISTA DE PROYECTOS

Parámetros para la lista de muros pantalla 76

Proyectos de muros pantalla en Norteamérica 77-98

PARTE I NORMAS APLICABLES A LA INDUSTRIA

1. CLASIFICACIÓN DE TABLEROS PARA MUROS PANTALLA

Existen muchas formas para clasificar los elementos de muros pantalla estructurales pero el comité del DFI opta por limitar estas descripciones a tres requisitos funcionales: función del diseño, configuración en planta y tipo de refuerzo de tableros. (Véase en la Figura 1 de la Parte IV la clasificación de tableros.)

Los muros pantalla pueden funcionar como:

1. Elementos curvilíneos o lineales para estructuras temporales y/o permanentes para resistir fuerzas laterales transmitidas por el terreno, el agua, los sismos y diversas sobrecargas.

2. Elementos de soporte de carga en diferentes configuraciones en planta para resistir fuerzas verticales.

3. Elementos de combinación para resistir fuerzas combinadas de acuerdo con las condiciones 1 y 2. Por ejemplo, se han usado comúnmente lumbreras elípticas con diversas aberturas para túneles y conductos en excavaciones profundas.

Los muros pantalla se pueden construir en cualquier configuración en planta, únicamente limitados por las dimensiones del equipo de excavación, el tipo de geología y la imaginación práctica del ingeniero y del contratista. (Véase la Figura 2 de la Parte IV).

Los muros pantalla se pueden reforzar mediante los siguientes elementos estructurales:

1. Varillas de acero de refuerzo o fibras de refuerzo – (tablero de concreto convencional).

2. Vigas de acero estructural – (pilote montante y tablero de concreto colado con sistema Tremie, o una adaptación del muro tipo Berlín).

3. Elementos de acero pretensados – (tablero de concreto precolado).

4. Varillas de acero, torones de alambre o elementos de alambre tensados – (tablero de concreto postensado).

Todos los muros pantalla estructurales están fabricados con concreto estructural constituido por cemento Portland, ocasionalmente ceniza volante, agregados finos y gruesos, agua y aditivos para concreto que se especifica generalmente dentro del rango de 3000 a 5000 psi de resistencia a la compresión en 28 días.

Los tableros de muros pantalla con diversos tipos de refuerzo se ilustran en la Figura 1 de la Parte IV y son de uso común en la práctica de construcción de los

Estados Unidos. En un tablero convencional, un perfil se coloca generalmente para formar la junta entre tableros adyacentes. En algunos casos, las juntas se pueden cortar al final del tablero usando una herramienta rotatoria de esmerilado o una fresadora (hidrofresa). Los tableros de concreto no reforzado se usaron originalmente para pantallas impermeables, elementos portantes, y para lumbreras o ataguías circulares o elípticas. Las lumbreras y las ataguías circulares y de forma elíptica son ejemplos de aplicaciones de muros pantalla que han alcanzado resultados excelentes cuando están diseñadas adecuadamente y han permitido la construcción de estructuras sin apuntalamiento o trabesaños de hasta 250 pies de diámetro y 80 pies de profundidad. En otros sistemas de muros pantalla se pueden usar diferentes tipos de juntas que se describen posteriormente dependiendo de sus aplicaciones especiales en cimentaciones profundas.

Cuando se usa como parte de un sistema de soporte de tierra o de un muro permanente de cimentación, un tablero reforzado, resiste los momentos flexionantes y los esfuerzos cortantes y está soportado por puntales de acero, concreto o madera, anclajes de suelo o roca y/o los sistemas de piso de una estructura. Un tablero reforzado puede incluir una gran variedad de insertos tales como placas (planchas), pasajuntas (dovelas), reservaciones o cilindros sujetados al acero de refuerzo y a menudo se usa como muro permanente de cimentación para edificios y estructuras subterráneas. (Véase la fotografía 4.)

Cortesía de *The Architect of U.S. Capitol*

Fotografía 4: Acero de refuerzo con cilindros para anclajes y reservaciones para acoplamiento estructural de las losas de piso para la construcción de tableros convencionales en Washington D.C.

Otro tipo de tablero reforzado es el denominado “SPTC” (por sus siglas en inglés) o pilote montante y tablero de concreto colado con sistema Tremie. Este tipo de tablero tiene aplicaciones especiales en sistemas constructivos “a cielo abierto” y de “excavar y tapar” (*cut and cover*) donde excavaciones angostas, largas y profundas, se sostienen lateralmente de manera temporal mediante puntales de tubo o de vigas. El primer muro con tableros SPTC se instaló en San Francisco en 1967 para la construcción de la estación del Metro *Powell Street* del sistema de tránsito BART. Este muro se puede construir con dos métodos alternativos: perforación previa y colocación de vigas (pilotes montantes) separadas cada 6 a 8 pies antes

de proceder a la excavación de tableros o colocando las vigas dentro de una zanja excavada y llena de lodo. Las vigas de acero pueden trabajar como refuerzo vertical y como juntas entre tableros. El concreto se vacía con el método Tremie entre las vigas para formar una pantalla impermeable que dependerá de la calidad de la instalación de los tableros. Si la separación entre vigas es grande entonces se instala un armado de refuerzo entre las mismas para servir como “entubado de concreto”.

Los tableros con nervadura y los de esquina tienen una geometría especial en forma de T y de L y se usan como muros de contención y esquinas respectivamente. El tablero de contrafuerte es altamente adaptable para servir como muro en voladizo sin apuntalamiento o como muro delgado con refuerzo ligero que puede librar grandes distancias con un número mínimo de apoyos laterales. Estos dos tipos de tableros de concreto convencionales se construyen como un colado monolítico de concreto con sistema Tremie con un solo armado para acomodar la disposición en planta de los muros.

Cortesía de TREVI-ICOS Corp.

Fotografía 5: Instalación de tableros precolados para muro durante la construcción de una línea de Metro en Massachusetts.

Los tableros de concreto precolado se usan donde haga falta un muro terminado con un paramento texturizado uniforme o decorativo. Un tablero precolado se introduce en una zanja de dimensiones suficientes llena de un lodo de cemento-bentonita (C-B). (Véase la Fotografía 5.) La lechada C-B fragua poco después de haber alineado el tablero en las direcciones vertical y horizontal. En el sistema de tableros de concreto precolado, se coloca un tapón hermético vertical de hule o waterstop, generalmente un producto patentado, y se inyecta la lechada C-B dentro del armado del tablero. Con estos materiales se sellan las juntas entre tableros y se forma un sistema a prueba de agua. En ocasiones, se procede a hacer una excavación para un tablero precolado bajo lodo bentonítico. Luego se suspende un tablero precolado dentro del tablero excavado y el tablero se inyecta en su parte inferior para funcionar como base de sustentación y como reemplazo de

parte del lodo. Posteriormente, el hueco entre las paredes de la zanja y el concreto puede ser rellenado con cemento-bentonita u otro tipo de material cementante con endurecimiento propio.

Los tableros de concreto precolado se usaron inicialmente en Francia a principios de la década de 1970 y se emplean con menos frecuencia en los Estados Unidos, salvo donde se cuente con mano de obra especialmente calificada y grandes instalaciones de precolado. La desventaja de este sistema es la dificultad inherente de instalar tableros secuenciales en sitios urbanos, sobre todo donde los servicios urbanos cruzan el alineamiento del muro. En estos casos, la excavación se detiene y las tuberías se reubican antes de proseguir con la excavación del siguiente tablero. Resulta difícil instalar un elemento de tablero precolado perfectamente dentro del hueco dejado para reubicar posteriormente los servicios públicos y como resultado, la conexión de juntas estanca, entre los tableros se puede ver comprometida.

Durante la década de los años 1970 en Italia y Gran Bretaña se desarrollaron sistemas patentados de tableros postensados. Un tablero postensado se construye de la misma manera que un tablero de concreto reforzado convencional, pero se añaden ductos colgados al acero de refuerzo, provistos con torones de postensado. (Véase la Fotografía 6.)

Los torones se postensan dentro de los ductos una vez que el concreto ha fraguado y se inyectan con lechada. Con este sistema se reducen las cantidades de concreto y el acero, y se permiten distancias relativamente grandes entre niveles de apuntalamiento con lo que se minimiza el número de puntales. Los tableros postensados tienen una resistencia estructural a la flexión equivalente a la de tableros de contrafuerte (en forma de T). Este tipo de tablero resulta difícil de utilizar cuando hay niveles múltiples de apuntalamiento y de pisos debido a que la mejor manera de colocar los tendones es para únicamente uno o dos niveles de apoyo.

Cortesía de TREVI-ICOS Corp.

Fotografía 6: Acero de refuerzo con torones de postensado para un tablero en el proyecto *Central Artery* de Boston.

Los elementos portantes están generalmente reforzados con elementos estructurales dentro de los tableros en varias configuraciones planimétricas. Se pueden usar excavaciones circulares con uno o varios cucharones para crear geometrías de tableros en forma de I, T, X, H, L, C o Y. (Véase la Figura 2 en la Parte IV.) Su función principal es la de soportar grandes cargas verticales y otras fuerzas aplicadas [3]. Se pueden instalar vigas estructurales con otros elementos estructurales dentro

del tablero, para conectarse al sistema de marcos estructurales, sobre todo cuando se usan los sistemas constructivos t*op-down* o *up-down* en un proyecto. Este tipo de tablero se puede integrar fácilmente a una estructura monolítica mediante la colocación de pasajuntas o dovelas en la construcción subsecuente. Columnas de concreto o losas de cimentación se puede colar directamente en el elemento portante una vez que se ha eliminado o demolido el concreto inservible de la parte superior del tablero. Un elemento portante obtiene su capacidad de carga ya sea por apoyo directo sobre los estratos subyacentes de suelo o de roca, a través de fricción/adherencia a lo largo de la profundidad empotrada del elemento o mediante una combinación de capacidad por punta y fricción/adherencia.

Las juntas entre tableros se muestran en la Figura 3 de la Parte IV. La práctica pionera con tableros convencionales consistía en usar tubos para formar juntas redondeadas o juntas entre tableros tipo “tapón terminal”. Más tarde se usaron vigas estructurales, en los Estados Unidos, con Viga Montante y Tableros de Concreto. Por último, perfiles de acero estructural soldados y miembros ensamblados también se pueden usar como juntas entre tableros y son más fáciles de extraer usando ya sea el cable de izado de la grúa o abriendo y cerrando un dispositivo de extracción tipo collarín operado por un motor hidráulico después de haber colado el concreto en el tablero. El waterstop opcional dentro de una junta de tablero se ha usado rara vez en la práctica de los Estados Unidos, debido a la dificultad de su ejecución. La práctica constructiva de instalar waterstops dentro de juntas para tableros, es generalmente más costosa que el sellar las juntas con lechadas.

2. TAMAÑOS TÍPICOS DE TABLEROS PARA MUROS PANTALLA

Las dimensiones de los tableros y las configuraciones se controlan generalmente con los elementos técnicos del diseño y del tamaño del equipo con que cuenta el contratista para la ejecución del trabajo. Es obvio que el espesor del tablero y su longitud no puede ser menor que el ancho y el largo del cucharón de excavación. Longitudes cortas de tableros, usualmente en el rango de 6 a 7 pies, deberán usarse en zonas con suelos inestables o donde las estructuras adyacentes transmitan sobrecargas muy altas. Los tableros más largos, de hasta 30 pies de longitud, se pueden usar en suelos estables con condiciones favorables del subsuelo. Las longitudes de los tableros pueden variar desde 6 hasta 30 pies; sin embargo, el tamaño de muchos tableros está gobernado por la ubicación del apuntalamiento interno, la separación entre anclajes, la distribución de las columnas interiores y la ubicación de las zapatas.

Los muros tienen comúnmente un espesor de 24, 30, 32, 36 y 48 pulgadas (2.0, 2.5, 2.67, 3.0 y 4.0 pies). Se cuenta con muros más gruesos en caso necesario para resistir momentos flexionantes y esfuerzos cortantes o en todo caso para soportar cargas verticales altas. En ocasiones se usan muros más delgados para condiciones especiales, las cuales se comentan en la Sección 4 de la Parte I. En la Tabla 1 se presentan dimensiones típicas de tableros de muros pantalla y otras condiciones que influyen en su selección.

TABLA 1 – DIMENSIONES TÍPICAS DE TABLEROS DE MUROS PANTALLA

Ancho del tablero o espesor de pared (Nota 1)	Longitud del tablero Las limitaciones en tamaño están regidas por el equipo comercialmente disponible y las condiciones geológicas del sitio, la estabilidad del terreno, los niveles de agua y la proximidad a estructuras vecinas. Consulte con un contratista especializado experimentado y con el ingeniero geotécnico cuáles son sus recomendaciones.						
	Tableros convencionales de concreto	Pilote montante y entubado	Contrafuerte, tablero en T	Esquina, tablero en L	Tablero de concreto precolado	Tablero postensado	Elemento portante
18”-21”	Nota 2	Nota 2	Nota 2	Nota 2	6’ a 8’	Nota 2	Nota 2
24”	7’ a 25’	6’ a 10’	10’ x 10’	14’ a 25’	6’ a 8’	12’ a 20’	7’ a 25’
30”	7’ a 25’	6’ a 10’	12’ x 12’	14’ a 25’	6’	12’ a 20’	7’ a 25’
32”	7’ a 25’	6’ a 10’	12’ x 12’	14’ a 25’	6’	12’ a 20’	7’ a 25’
36”	7’ a 20’	6’ a 10’	12’ x 12’	14’ a 25’	6’	12’ a 20’	7’ a 25’
40”	7’ a 20’	6’ a 10’	12’ x 12’	14’ a 20’	Nota 3	Nota 2	7’ a 20’
48”	7’ a 16’	Nota 4	Nota 2	14’ a 16’	Nota 3	Nota 2	7’ a 20’
60”	7’ a 12’	Nota 4	Nota 2	14’ a 16’	Nota 3	Nota 2	7’ a 16’

Notas:

1. Los tableros de 12” a 14” de espesor han sido construidos fuera de los Estados Unidos con equipos especiales a base de cucharones operados hidráulicamente.

2. Sólo se usan bajo condiciones especiales.

3. El largo y el ancho de los tableros precolados están dados por limitaciones de embarque y de manejo.

4. Se requieren tamaños especiales de miembros ensamblados para muros de más de 40” de espesor.

3. PROFUNDIDAD DE TABLEROS

A. Para excavaciones en tipos de suelos relativamente uniformes.

1. Mediante cucharón de almeja convencional para trabajo ligero, operado con cable, con cucharón montado en la barra Kelly o con máquina perforadora, se pueden excavar profundidades del orden de 100 pies. Con barras Kelly telescópicas especiales, se pueden alcanzar profundidades de 165 pies [4]. Las profundidades de los tableros pueden llegar a 300 pies usando cucharones de almeja para trabajo pesado colgados de cables.

2. La norma industrial en cuanto a tolerancia fuera de la vertical es de 1% de la profundidad de la excavación del tablero. Para

profundidades de tablero de más de 100 pies el control de la verticalidad es crítico para poder conectar los extremos de tableros adyacentes y se podrán requerir tolerancias más estrictas.

B. Para excavaciones en suelos estratificados mezclados con cantos rodados, boleos (peñones) y roca.

1. La profundidad de los tableros está limitada generalmente a menos de 100 pies usando cucharones de almeja para trabajo ligero combinados con percusión, brocas helicoidales y en estrella para penetrar suelos granulares o roca blanda.

2. La profundidad de los tableros está generalmente limitada a menos de 150 pies empleando cucharón para trabajo pesado y equipo de perforación rotatorios o por percusión en el caso de roca mediana a dura.

3. La profundidad de un tablero está generalmente restringida a 300 pies para excavación y perforación, con equipo especial y para excavación con cucharones de almeja y barretones (trepano) para trabajo pesado.

4. La profundidad de los tableros de acuerdo con lo reportado en la literatura de los fabricantes puede alcanzar hasta 500 pies mediante el uso de hidrofresas. Sin embargo, la operación de este equipo en suelos muy compactos o en roca dura puede limitar la profundidad de los tableros debido al alineamiento vertical y el giro debe controlarse adecuadamente para conectar de manera correcta los tableros adyacentes.

4. EQUIPOS

A. Excavación de tableros

En los últimos 50 años las principales herramientas de excavación han sido los cucharones de almeja colgados de cable (de alambres de acero) o guiados por Kelly así como los barretones de percusión (trépanos). Los cucharones de almeja son montados a grúas de oruga, tripiés (trípodes) especiales o plataformas de cuatro patas con un sistema de malacates. Varios tipos de cucharones mecánicos de almeja operados con cable cuyas características físicas se presentan en la Tabla 2 son de uso común en la industria. Los equipos operados con tripié se usaron originalmente en algunos proyectos con espacio limitado disponible para el equipo de excavación. Las técnicas de perforadoras rotatorias se desarrollaron en

la década de 1950 hasta la década de 1970 y se usaron en Japón y en Europa durante este periodo.

TABLA 2 – CARACTERÍSTICAS DE LOS CUCHARONES DE ALMEJA MECÁNICA (A BASE DE CABLES)

Ancho nominal del cucharón		Longitudes del agarre del cucharón	Altura del cucharón con la mordazas cerradas	Peso del cucharón
Pulgadas	Pies	Pies	Pies	Toneladas
18-21	1.7	6.0 a 9.2	12.3 a 13.5	8-10
24	2	7.0 a 13.8	13.8 a 14.7	10-13
30	2.5	7.8 a 13.8	20.5 a 23.9	11-14
32	2.7	7.8 a 11.3	20.5 a 23.9	12-15
36	3	7.8 a 13.3	20.5 a 21.5	13-16
40	3.3	10.0 a 11.3	21.0 a 22.9	14-19
48	4	10.0 a 14.0	23.0 a 25.6	15-22
60	5	10.5 a 14.0	24.0 a 26.0	19-28

Notas:

1. Tamaños típicos disponibles con los fabricantes y con los contratistas especializados.
2. Los cucharones mecánicos son generalmente más pesados y tienen una mordida más pequeña y menor altura que los cucharones hidráulicos.
3. Se cuenta con cucharones de quijadas curvas o rectangulares.
4. Se pueden fabricar tamaños especiales de cucharones para proyectos especiales y para baja altura libre. (Consulte con los fabricantes y con contratistas especializados.)

1. Cucharones de almeja

Los primeros cucharones de almeja para excavar muros pantalla eran de caída libre con dos cables operados por dos malacates de tambor en torres de tripié o en una grúa. Los cucharones generalmente los controla el operador de la grúa y pueden contar ya sea con quijadas curvas o rectangulares. La excavación con cucharones de borde curvo facilita la colocación de juntas tope extremas de tubería convencionales (tubo junta). Las quijadas rectangulares son más adecuadas cuando se usan juntas tope extremas planas o vigas para formar los extremos de los tableros (véanse las Figuras 3 y 4 de la Parte IV). Las quijadas pueden tener diferentes tipos de dientes de acuerdo a las necesidades. La mayor parte de los cucharones funcionan con tres dientes en un lado y dos en el otro para muros de hasta 40 pulgadas de espesor; cuatro dientes de un lado y tres en el otro se acostumbran para muros de mayor espesor.

Para el caso de un cucharón de excavación suspendido libremente, hace falta un sistema de guiado para minimizar la rotación causada por los cables de izado y de cierre del cucharón. Para garantizar una excavación vertical, el cucharón viene equipado con una guía superior que es del mismo ancho que las quijadas (véase la Fotografía 7). La guía también ayuda a mantener el alineamiento vertical y agrega peso, lo cual mejora la capacidad del cucharón para penetrar en suelos más densos. La pericia del operador juega un papel importante en el control del cucharón de almeja mecánico y en mantenerlo vertical durante la excavación. Si se columpia el cucharón 180 grados en el cable de manera regular durante la excavación, esto ayudará a minimizar el giro o las desviaciones tipo sacacorchos que frecuentemente se encuentran al penetrar suelos más densos o roca intemperizada (meteorizada o descompuesta).

Los cucharones de almeja se pueden manipular ajustando los cables de izado de la grúa con un giro a la izquierda y un giro a la derecha para evitar que el cucharón se desvíe hacia un lado. El cucharón se podrá girar a un lado de la zanja después de cada ciclo de excavación. Los malacates modernos montados en grúas de oruga le permiten al operador girar lentamente el cucharón alrededor del eje vertical. Con esta operación también se mejora la verticalidad del muro.

Cortesía de Liebherr Nenzing Gesmbh

Fotografía 7: Cucharón de almeja mecánico.

Los cucharones de excavación también se pueden fijar a la barra Kelly. (Véanse las Figuras 4 y 5 de la Parte IV.) El Kelly puede ser tubular, telescópico o de una viga larga. El mecanismo se opera desde una grúa de orugas estándar mediante un dispositivo especialmente diseñado constituido por una barra Kelly y una guía Kelly. El uso de la barra Kelly garantiza el control para la inserción y remoción de del cucharón entre los muros guía y lejos de estos, con lo cual aumenta la productividad en el ciclo de excavación. Además, el peso del Kelly ayuda a que el cucharón de excavación penetre dentro del suelo. Uno de los inconvenientes del equipo Kelly, se presenta en condiciones difíciles del subsuelo donde es necesario usar además herramientas de percusión para remover cantos rodados o boleos y/o para remover roca débil. Para esas

condiciones generalmente se cuenta con otra grúa equipada con herramientas de percusión.

Un cucharón guiado por Kelly o uno operado por cable también se puede manejar hidráulicamente. Este tipo de cucharón cuenta con quijadas que se pueden abrir y cerrar mediante un par de cilindros hidráulicos, uno para cada quijada (véase la Fotografía 8) o a través de un solo cilindro hidráulico de mayor capacidad que acciona ambas quijadas. Las mangueras hidráulicas se sincronizan automáticamente con carretes alimentadores sencillos o dobles adaptados a la barra Kelly, que se operan con el motor de la grúa o con una unidad motriz hidráulica auxiliar.

Cortesía de Nicholson Construction Corp.

Fotografía 8: Cucharón de almeja guiado por la barra Kelly en operación en Washington DC.

En los últimos años los tamaños de los cucharones de almeja han aumentado en peso y dimensiones. Anchos de cucharón de 48”, con un peso de 28 toneladas vacío y altura de 36 pies se están usando actualmente en Europa, para mejorar la producción y la verticalidad. Estos cucharones tienen juegos de quijadas intercambiables y un cuerpo superior del cucharón para acomodarse al rango de anchos de tableros necesarios. A diferencia de la práctica en los Estados Unidos, algunos contratistas europeos optaron por no usar muros guía (brocal), aunque confían en los controles de la grúa que tienen giróscopos e inclinómetros para guiar el equipo de almeja y para indicar la profundidad de excavación y el giro del cucharón.

Cucharones y equipos de grúa trabajando con alturas libres de 16 pies en lugares estrechos han sido adaptados para condiciones de obra específicas y configuraciones de tableros particulares (véase la Fotografía 9). Se han usado cucharones de tres quijadas para construir tableros en forma de T. A los

cucharones se les han agregado cortadores laterales para aumentar el espesor del tablero, si las condiciones especiales así lo ameritan. El costo de esta modificación es generalmente mayor que el costo de usar el siguiente tamaño de cucharón disponible. Los cucharones y las torres necesitan modificarse donde la excavación esté limitada por condiciones de baja altura libre, generalmente de menos de 20 pies.

Los cucharones pequeños para muros pantalla normalmente se fabrican para ser mecánicamente simples, para fines de mantenimiento, pero suficientemente resistentes para soportar condiciones adversas de excavación. Algunos fabricantes instalan sellos especiales en poleas del cucharón para proporcionar lubricación en aplicaciones a largo plazo. Los cucharones necesitan tener una construcción robusta con el fin de poder operar como una barreta de quijadas abierta en suelos densos. Los cucharones vienen equipados comúnmente con diferentes tipos de dientes para facilitar la excavación en condiciones variables de suelos que pueden contener cantos rodados y boleos así como espesores, calidad y condiciones de roca ampliamente variables. La opinión de la industria es que los cucharones de almeja proporcionan mayor flexibilidad y se adaptan más fácilmente a una operación en condiciones de suelo difíciles en comparación con las máquinas perforadoras. La tolerancia estándar en cuanto a verticalidad se puede mejorar hasta el 0.5% con técnicas especiales de manejo del cucharón de almeja. Esta mejoría afectará a las operaciones al disminuir la rapidez de avance en el caso de suelos que contengan cantos rodados y boleos.

Cortesía de Pilotec Cimentaciones Profundas

Fotografía 9: Equipo mini excavador, operando en un sitio de construcción de la ciudad de México.

2. Equipo de percusión

Cuando el material que se va a excavar contiene cantos rodados o boleos, o corresponde al manto de roca, la excavación de los tableros avanza con el uso de herramientas de percusión. Tramos de vigas o placas de acero múltiples, se pueden soldar entre sí (barreta en estrella de cuatro a seis puntas) y se puede endurecer la punta para servir como herramienta de percusión pesada (véase la Fotografía 10). El barretón o trépano puede tener una longitud variable entre 10 y 25 pies y pesar entre 5 y 15 toneladas. El barretón se levanta y se deja caer con un cable sujeto a una grúa o usando una máquina tipo percusión. Cuando los tableros se empotran en roca dura generalmente se emplea un equipo de percusión con un sistema de circulación inversa para pulverizar y remover los residuos del material rocoso (detritus).

Fotografía 10: Barreta de percusión (trépano) con seis brocas endurecidas para excavación en roca.

Cortesía de Mueser Rutledge Consulting Engineers

3. Máquinas perforadoras y fresadoras

La roca también se puede remover usando un equipo con cabezas cortadoras rotatorias múltiples o con brocas giratorias, y circulación inversa de lodo de perforación. El método de circulación inversa se usa para extraer el lodo a través del vástago hueco de la broca para así remover el suelo y los recortes a un lugar de depósito. Se puede usar succión directa o un elevador neumático para extraer el lodo y los materiales pulverizados en el fondo de la cabeza cortadora. Los recortes de suelo y el lodo se separan a través de una malla vibratoria y/o una unidad desarenadora. El fluido de perforación se regresa a la excavación del tablero a través de la línea de

inyección del equipo o se descarga directamente en la zanja. Una máquina perforadora rotatoria antigua con circulación inversa se muestra en la Fotografía 1 de la sección introductoria en la página *x.*

A principios de la década de 1950 los contratistas europeos usaban máquinas perforadoras, cuando los cucharones de almeja ligeros disponibles no podían remover el suelo o cuando la excavación tenía que llevarse a profundidades considerablemente mayores que 100 pies. A medida que aparecían grúas de oruga y cucharones más grandes allá por los años de 1960, el método de perforación con circulación inversa se volvió menos económico para utilizarse en proyectos ordinarios de muros pantalla, excepto en el caso de presas donde el alineamiento vertical y la desviación de los elementos del muro pantalla tenían que controlarse dentro de tolerancias estrictas.

Un mejoramiento de este método tuvo lugar en Japón en la década de los años de 1970 cuando se desarrolló una técnica de perforación usando un cabezal múltiple especial. La máquina contenía perforadoras sumergibles suspendidas de un dispositivo de cable que se desplazaba sobre un sistema de rieles. Las brocas de perforación múltiples tenían una bomba de succión para remover continuamente los recortes. Una de las desventajas de este sistema de excavación fue la incapacidad de poder remover grandes cantos rodados, boleos o fragmentos de roca, a través de las mangueras de succión de 6” de diámetro.

En las décadas de 1970 y 1980 los fabricantes de equipo y los contratistas europeos mejoraron el método de perforación de circulación inversa al crear máquinas cortadoras de zanjas (hidrofresas). En la Figura 2 se ilustra una herramienta típica de hidrofresado y su aparejo. Resulta posible excavar zanjas para muros pantalla con una hidrofresa a una mayor velocidad que con los equipos de cucharones de almeja pero generalmente se requiere una excavación vertical entre 30 pies y 50 pies de profundidad para operar la bomba de succión en la parte inferior de los cortadores.

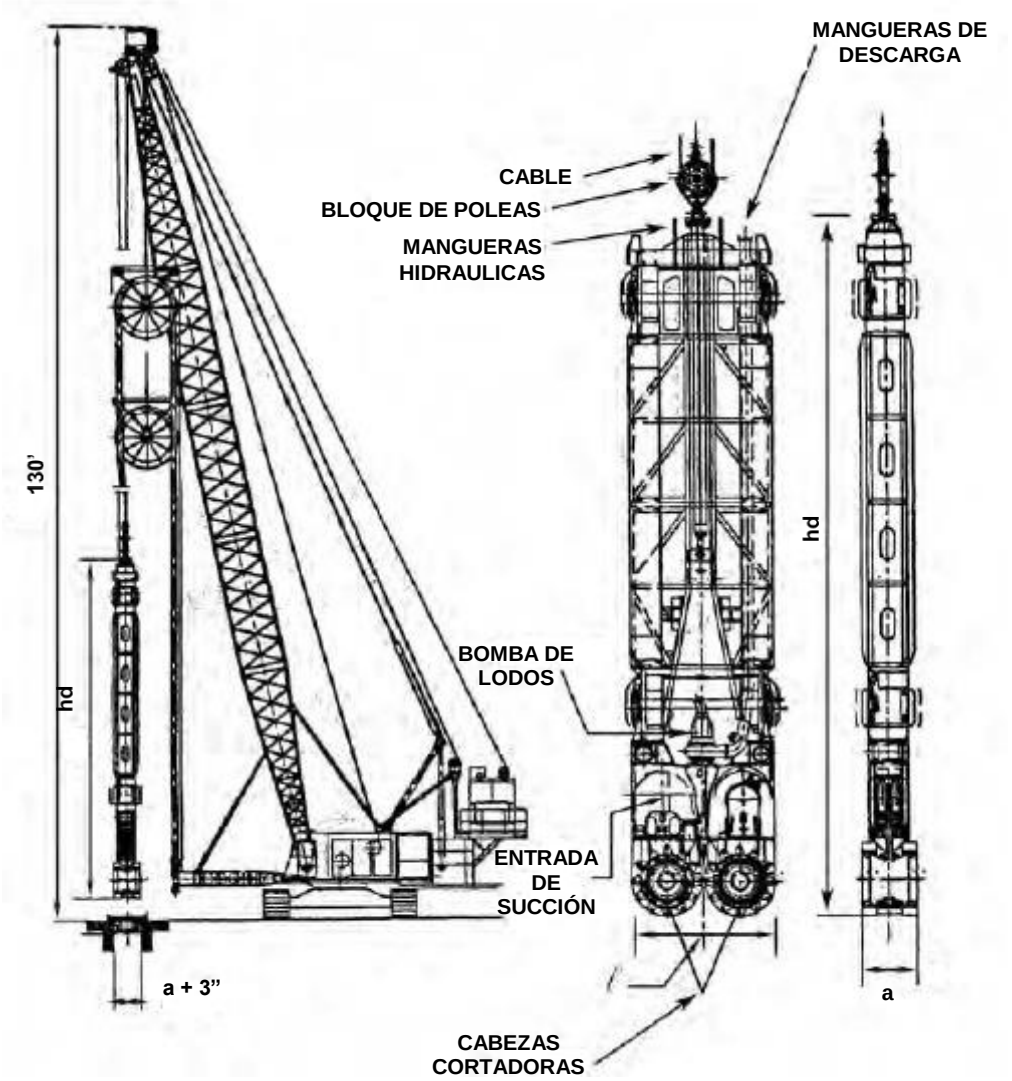


Figura 2: Hidrofresa Casagrande Modelo FD 32 [5].
En la Tabla 3 se presentan las dimensiones de catálogo.

Las características generales de las hidrofresas usadas comúnmente se presentan en la Tabla 3. Una grúa de orugas sostiene y controla este equipo formado por un marco de acero con una bomba de lodos del tipo dragado y dos transmisiones hidráulicas con ruedas cortadoras montadas sobre un eje horizontal fijado a la estructura de base. (Véase la Figura 2 y la Fotografía 11). Las transmisiones hacen girar el par de ruedas en direcciones opuestas. Las ruedas cortadoras, normalmente equipadas con dientes recubiertos de carburo de tungsteno, aflojan continuamente y trituran el material de suelo y roca para luego mezclarlo con el lodo. Los dientes de corte removibles, del tipo botón o cuña, van generalmente

soldados sobre aletas múltiples que se montan diagonalmente sobre las ruedas. Estos dientes son capaces de cortar roca de blanda a media con resistencias a la compresión comprendidas entre 10,000 y 15,000 psi. El costo de reemplazar los dientes de carburo o de diamante de las brocas y del tiempo muerto del equipo generalmente se considera dentro de los costos del contratista y para la selección de máquinas perforadoras ya sea verticales rotatorias o hidrofresas.

Tabla 3 – Características de las hidrofresas [5]

Fabricante Modelo No.	Ancho del cortador "a" (ft)	Longitud del cortador "l" (ft)	Altura de la herramienta "hd" (ft)	Peso del cortador (tons)	Velocidad del disco cortador (rpm)	Gasto de descarga de la bomba (yd^3/min.)	Profundidad máxima de excavación (ft)
Bauer Series BC	2.0 a 6.0	9.2, 10.5	30 a 52	27 a 55	0 a 25	5 a 11	215
Bauer MBC 30	2.0 a 5.0	9.2	16.4	20 a 25	0 a 30	7	175
Bauer CBC 33	2.0 a 6.0	9.2	33 a 55	22 a 38	0 a 30	7	330
Casagrande K2	2.0 a 3.3	8.2	40	19	0 a 27	10	330
Casagrande K3L	2.0 a 4.0	10.3	47	32	0 a 31	10	400 a 500
Casagrande K3C baja altura libre	2.2 a 4.0	10.3	40	19	0 a 31	10	230
Casagrande FD25	2.0 a 3.3	8.2	32	19 a 30	0 a 27	7	165
Casagrande FD32	3.0 a 6.0	10.5	50	44	0 a 19	11	200
Soletanche Hydrofraise HC 4000	2.0 a 4.7	9.2	50	25	-	10	400 a 500
Soletanche Hydrofraise HC 12000	4.7	9.2	50	60	-	10	400 a 500
Soletanche Hydrofraise HFA-4RCII	2.5 a 4.0	9.2	40	18	-	-	300
Rodio Urbana Baja altura libre	2.0 a 4.0	7.9, 9.2	20	20	-	-	115
Rodio Latina Baja altura libre	2.0 a 4.0	7.9, 9.2	16.4	30	_	_	145

Los recortes de suelo y de roca se bombean a través de la manguera de descarga del aparejo hasta una planta de tratamiento de lodos para su separación y reuso como lodo limpio en el tablero. En la Figura 3 se muestra un diagrama esquemático típico de la operación de un sistema de hidrofresado. Durante el proceso de excavación con hidrofresa, el lodo contaminado se puede bombear generalmente una distancia de 1500 pies hasta la planta. Esta distancia se puede aumentar con la adición de bombas auxiliares en línea. Una planta de alta capacidad puede tratar entre 500 y 1500 yd^3 por hora de lodo y separará los sólidos a través de una serie de tamices vibratorios y ciclones hasta alcanzar el tamaño equivalente a limo grueso. Los finos se pueden remover todavía más del lodo mediante centrifugadoras especiales en un ciclo por separado. Los tanques de almacenamiento de lodo en la planta de tratamiento necesitan tener cuando menos el doble del volumen de los tableros que se van a excavar.

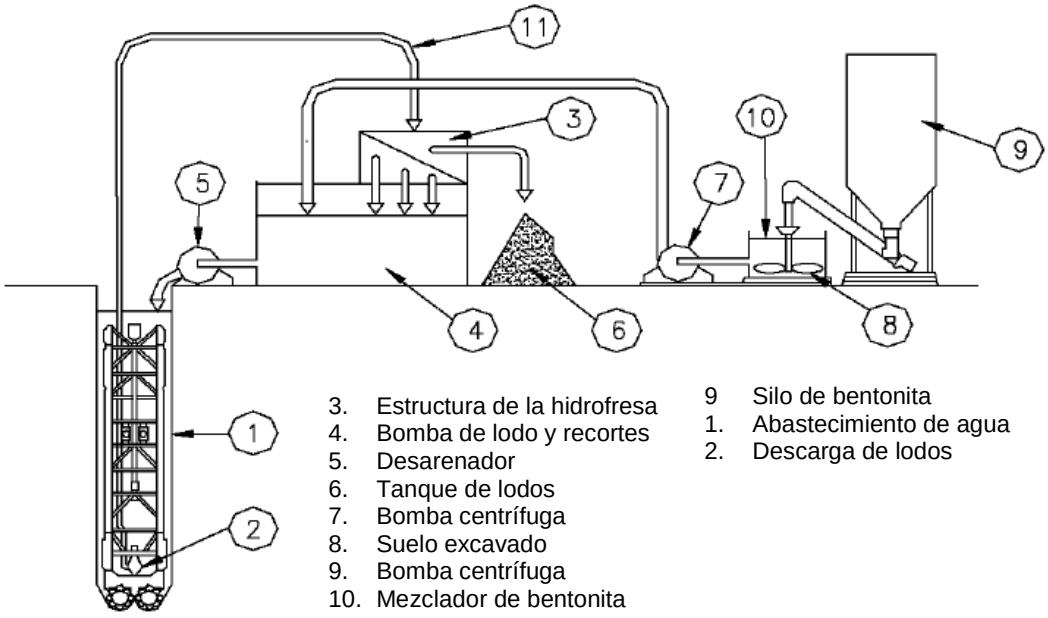


Figura 3: Operaciones con hidrofresadora

Los sistemas de guiado, adosados a la máquina hidrofresadora, permiten dirigir modestamente los cortadores. La verticalidad de la excavación con hidrofresa se monitorea con inclinómetros especiales, montados en la estructura del cortador y conectados a un dispositivo de lectura y registrador dentro de la cabina del operador de la grúa. El operador puede hacer ajustes para corregir la desviación lateral y las desviaciones longitudinales en planta, variando la velocidad relativa de los cortadores y moviendo el

escudo interior conectado a cada lado de la estructura principal del cabezal de corte. Las máquinas hidrofresadoras son generalmente capaces de alcanzar una tolerancia vertical dentro del rango de 0.2% a 0.5% en las direcciones longitudinal y lateral en la mayoría de las condiciones de suelo sin cantos rodados ni boleos. La opinión de la industria es que los suelos mezclados con cantos rodados y boleos son los más difíciles de excavar con la hidrofresadora y requieren un control más estricto de la verticalidad para no exceder las tolerancias de diseño. Esta tolerancia es más difícil de lograr cuando se detecta roca con grados de intemperización (meteorización) variables, roca con fisuras o planos de estratificación muy poco espaciados o zonas fracturadas.

El equipo de hidrofresa también se fabrica para trabajar en 16 pies o menos de altura libre disponible, como se puede apreciar en la Fotografía 3 de la página x*ii* y en la Fotografía 12. Para limitar las interrupciones al tráfico y a los vecinos, las operaciones del desarenador y del tratamiento de lodos y de mezclado de los mismos se pueden realizar a bastante distancia del lugar de excavación de los tableros.

Fotografía 11. Hidrofresa (cortador de zanjas) para la construcción de muros

Cortesía de *Big Dig, Central Artery Tunnel Project*

Fotografía 12: Hidrofresa para cortar zanjas con altura libre restringida; proyecto en Boston.

Cortesía de TREVI-ICOS Corp.

B. Mezclado de lodos y desarenado

1. Se necesita el mezclado adecuado de la bentonita, para producir la dispersión y la uniformidad efectivas de este material. Las mezcladoras coloidales producen el mejor mezclado posible. A veces se usan mezcladoras instantáneas. Se debe mantener un control y ensaye cuidadoso del lodo bentonítico durante toda la excavación de los tableros y antes del colado del concreto. Si se esparce o se vierte bentonita seca dentro de la zanja y se confía en que la herramienta de excavación sea la que mezcle la bentonita, lo único que se logrará es un lodo grumoso con viscosidad variable y propiedades de filtración que generalmente caen fuera de los límites deseados.

2. Los lodos bentoníticos, se hacen circular a través de un dispositivo desarenador antes de la colocación del concreto en el tablero y/o antes de su almacenamiento o reutilización. El lodo bentonítico desechado se bombea a una criba vibratoria de separación de arena que permite que el lodo filtrado pase a un tanque de almacenamiento. (Véase la Figura 6 en la Parte IV.) El lodo almacenado es luego bombeado a través de un ciclón para separar por rotación la arena fina del lodo y en ocasiones a través de una unidad de desazolve, para luego regresarse al tablero excavado o a un tanque de almacenamiento. Los contratistas de los Estados Unidos con frecuencia instalan sus propias unidades hechas a la medida, aunque equipos de alta eficiencia se consiguen comercialmente en todo ese país y a nivel mundial.

3. Lodos con polímeros, también se usan en la construcción de muros pantalla y se mezclan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Generalmente se emplea un mezclador de lodos convencional para recircular la suspensión de lodos antes de su uso. Los lodos a base de polímeros no se desarenan ya que la arena no se mantiene en suspensión durante la excavación de la zanja sino que cae al fondo del tablero. El empleo de equipo moderno para desarenar y desazolvar mejora el reciclado del lodo con polímeros y minimiza el tiempo necesario para que la arena se sedimente en el fondo de la excavación.

4. La limpieza del fondo de la excavación estabilizada con el lodo con polímeros depende de las condiciones del subsuelo, de la profundidad y de las herramientas usadas para la excavación. El lodo o el residuo de desecho pueden estar presentes en el fondo de la excavación. En general, se emplea un cucharon de excavación de cuchilla lisa para remover los materiales más finos que se sedimentan y un elevador neumático o una bomba sumergible para extraer el lodo o los residuos de desecho.

5. LODOS DE PERFORACIÓN

A. El lodo bentonítico, es el fluido más común preparado con agua que se usa en la industria. El lodo bentonítico, es el más simple para mezclar y mantener y es lo suficientemente versátil como para usarse en la mayoría de las formaciones geológicas y condiciones del agua freática. El lodo bentonítico, se prepara mezclando del orden de 6% de bentonita (mineral arcilloso de montmorilonita) en peso con agua potable. El lodo resultante tiene una viscosidad mayor que la del agua y la capacidad de mantener en suspensión partículas relativamente pesadas y gruesas, y muestra la tendencia de formar una pasta delgada de baja permeabilidad en las paredes de la zanja excavada. Una viscosidad suficiente y la resistencia del gel son características importantes para transportar el material excavado a un sistema adecuando de tamizado. El porcentaje de arena y la densidad de sólidos del lodo son parámetros que se controlan para mantener la estabilidad de la excavación y para permitir la colocación adecuada del concreto con el sistema Tremie. El lodo bentonítico se puede modificar usando agentes que aumenten la dispersión y/o aditivos orgánicos.

   La bentonita debe cumplir con la Especificación 13A de la *American Petroleum Institute* (API). Información acerca de la química y del mecanismo de estabilización del fluido en los muros pantalla de la zanja y de la formación de la capa filtrante (costra) se puede encontrar en las referencias de la Parte IV.

B. Los lodos a base de polímeros han sido desarrollados recientemente y tienen un buen comportamiento en la mayor parte de las operaciones de construcción de muros pantalla. Los lodos con polímeros se están popularizando cada vez más en la construcción de muros pantalla, debido a la facilidad para desecharlos y a la tendencia de las partículas de suelo en suspensión de asentarse en el tablero debido a la falta de resistencia del gel. Con los lodos de polímeros se reduce la cantidad de concreto contaminado en la interfaz lodo-concreto y traen como resultado menos material atrapado en la junta tope extrema entre tableros. Debido a su bajo peso volumétrico en comparación con el lodo bentonítico, el uso controlado del lodo con polímeros resulta más crítico en lugares donde se presente un alto nivel freático, suelos sueltos y donde la química del agua subterránea sea incierta. Algunos lodos de polímeros están constituidos por polímeros naturales (Frijol o semilla de Guary compuestos de celulosa) y se degradan naturalmente dentro de un corto tiempo. Otros polímeros son elementos químicos complejos (vinilo y bio-polímeros sintéticos) que se fabrican especialmente para la construcción de muros pantalla. El lodo con polímeros se puede tratar con agentes especiales para degradar el

lodo a propiedades similares al agua para desecharlo en los sistemas de drenaje, si está permitido.

C. Los lodos bentoníticos y los de polímeros a veces se usan juntos en un lodo combinado para producir un fluido menos viscoso. Con este procedimiento se mejora la estabilidad de la excavación, ya que los finos están presentes para sellar efectivamente las formaciones de suelos porosos a pesar de que casi no se forma la pasta filtrante. La bentonita y el agua generalmente se mezclan y se hidratan antes de agregar el lodo con polímeros. Las proporciones de las mezclas de lodos combinadas varían de acuerdo con demandas específicas del sitio tales como geología y química del agua.

D. El conocimiento de la química y de la fuente de abastecimiento del agua de mezclado es un factor importante para controlar las propiedades del lodo. Generalmente se evita el uso de agua salobre y de agua de mar. El agua potable con contenido de cloro bajo es de uso común. En ocasiones se agregan suavizadores de agua a las fuentes de agua potable para limitar las altas concentraciones de ácido y para dejar el pH del agua en un nivel 9.

6. ETAPAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE TABLEROS

A. Las etapas de la construcción de tableros, difieren con el tipo de muro y con el tipo de fluido de excavación seleccionado. A excepción de los muros precolados, generalmente se construyen los tableros en una secuencia de tableros alternados (véase el diagrama inferior de la Figura 7 en la Parte IV) en el siguiente orden:

1. Excavar por debajo de lodo de perforación.
2. Limpiar el tablero excavado y probar el lodo.
3. Instalar juntas tope extremas o perfiles estructurales.
4. Limpiar las juntas tope extremas de los tableros secundarios ya instalados adyacentes.
5. Colocar acero de refuerzo, si se necesitan.
6. Colar el concreto con sistema Tremie y retirar los topes (tubo junta) extremos.
7. Tensar los elementos postensados, si se utilizan.

B. Para tableros de concreto precolados, la siguiente secuencia es la que se emplea generalmente, basada en una secuencia primaria y consecutiva. (Véase el croquis superior de la Figura 7 en la Parte IV.)

1. Excavar bajo el lodo de cemento y bentonita, o con otro fluido de excavación.

2. Cuando se excava usando otro fluido de excavación, se sustituye por un lodo a base de cemento. Se puede colocar lechada en el fondo de la excavación si así lo establece el diseño para estabilizar el tablero precolado y soportar mejor las cargas aplicadas.

3. Limpie los extremos de tableros precolados instalados previamente.

4. Instale el tablero precolado. Se pueden colocar tapones en ranuras en los extremos de los tableros e inyectarse para formar una barrera que evite la entrada de agua a través de la junta entre tableros.

5. Retire los dispositivos temporales de sujeción y limpie o recorte la parte superior del muro.

6. Instale tapones, si se cuenta con ellos, e inyecte lechada.

7. INSPECCIÓN, REGISTROS Y OBSERVACIONES DE LAS CONDICIONES FINALES

A. Inspección

El propietario del proyecto debe contratar a un inspector calificado y/o un ingeniero geotécnico para monitorear la construcción del muro pantalla. El inspector deberá contar con capacitación del ACI en pruebas de concreto y en colocación del acero de refuerzo. En el Manual de Inspección de Concreto SP-2 del ACI se pueden encontrar las funciones, registros y reportes del inspector. El inspector también deberá tener conocimientos de los procedimientos de prueba de lodos y una experiencia geotécnica adecuada para poder identificar correctamente los tipos de suelos y las formaciones rocosas encontradas durante la excavación del tablero. El contratista, deberá cooperar con el inspector en el desarrollo de sus tareas de aseguramiento de la calidad. La presencia del inspector no deberá de ninguna manera relevar al contratista de su obligación para llevar a cabo la instalación del muro pantalla de conformidad con los planos y

especificaciones del proyecto y con las mejores prácticas constructivas.

B. Registros

Serán de importancia fundamental los registros detallados precisos del mezclado de lodos y de sus propiedades en el tablero excavado, los materiales encontrados durante la excavación, la preparación y mezclado de los lodos, la colocación del concreto y la fabricación del armado de acero de refuerzo o la instalación de vigas. El contratista deberá conservar registros independientes de estas operaciones. El contratista deberá responsabilizarse totalmente del control de calidad de las operaciones de construcción del muro pantalla. El inspector deberá verificar que el contratista conserve registros independientes. El inspector y el contratista deberán revisar y conciliar sus registros a fin de minimizar conflictos. El inspector deberá conservar formatos de reporte de proyecto y verificar que el trabajo está avanzando según se establece en los documentos contractuales de conformidad con las mejores prácticas constructivas. Formatos de muestra para registrar las observaciones del inspector se incluyen como Figuras 8, 9 y 10 en la Parte IV y se describen más adelante.

Los registros del inspector deberán incluir la siguiente información general en cada uno de los informes de inspección de tableros del muro pantalla:

1. Nombre del contratista.
2. Ubicación dentro del sitio de la obra.
3. Fecha de excavación y de terminación de los muros guía (brocal).
4. Número de identificación del tablero.
5. Fecha de aprobación del tablero.
6. Método de construcción del tablero (convencional, SPTC, precolado, etc.).
7. Cucharones, equipos y herramientas empleadas.
8. Condiciones meteorológicas.
9. Dimensiones en planta del diseño del tablero y dimensiones terminadas.
10. Elevación del terreno en el muro guía (brocal) o punto de referencia.
11. Elevación de diseño y final de la parte superior del tablero.

12. Elevación de diseño y final de la parte inferior del tablero.

13. Estratos principales de suelos encontrados, y sus elevaciones.

14. Hora y fecha de inicio y terminación de la excavación del tablero.

15. Elevación a la que se encontró el nivel freático, si es que lo hay.

16. Hora y fecha de muestreo de la subrasante y del lodo para contenido de arena y densidad.

17. Hora y fecha de la limpieza de las juntas de tableros secundarios y consecutivos, si es que los hay.

18. Hora y fecha de inicio y terminación del colado de concreto con sistema Tremie.

19. Datos de pruebas de propiedades del lodo.

20. Hora y fecha del inicio del armado de refuerzo o de la instalación de las vigas.

21. Revenimiento (slump) del concreto, niveles de vaciado y volúmenes de camión revolvedora (mezclador) durante las operaciones de colado con sistema Tremie.

22. Identificación de las muestras de concreto dentro del tablero.

23. Cualquier ocurrencia inusual.

C. Observaciones de las condiciones finales

1. Cuando el muro queda expuesto durante la excavación general, el inspector deberá cotejar el muro contra las tolerancias especificadas. (Véase la Figura 14 en la Parte IV.) Después de exponer el muro y de haberlo limpiado, deberá eliminarse el suelo y el concreto débil así como las protuberancias que excedan las tolerancias permitidas.

2. Las reservaciones y los insertos deberán quedar expuestos y preparados para su uso subsecuente en la estructura final.

3. El inspector deberá revisar todas las juntas entre tableros o los defectos para evaluar si son a prueba de agua y no “cederán” en una etapa posterior de la construcción. Las filtraciones en los insertos o a través de las juntas verticales deberán sellarse. Las juntas defectuosas o las grietas deberán cincelarse, limpiarse y rellenarse con mezclas de lechada de cemento de fraguado rápido. Ocasionalmente, también será necesario inyectar productos químicos o lechada de cemento

dentro del suelo directamente detrás del muro en el lugar de la filtración, o inyectar directamente la junta del tablero.

4. Las filtraciones deberán sellarse con productos químicos o con lechada de cemento una vez retirado el sistema de apuntalamiento y anclajes que soporta el muro pantalla. Se deberá instalar un parche de mortero no contraíble y refuerzo en cualquier abertura abandonada o se colocarán placas (planchas) en el muro.

PARTE II DIRECTRICES DE LA PRÁCTICA DFI

1. ALCANCE

1.1 Estas directrices han sido preparadas para usarse en el diseño e instalación de muros pantalla estructurales temporales y permanentes usando métodos de excavación a base de bentonita, arcilla mineral o polímeros. Estas directrices representan prácticas recomendadas de construcción para la instalación de muros pantalla en los Estados Unidos.

1.2 Varios tipos de muros pantalla estructurales se pueden usar para estructuras temporales y permanentes así como para elementos de cimentación. En la Figura 11 de la Parte IV se presentan aplicaciones importantes de muros pantalla en cimentaciones y obras marítimas. La selección del tipo de muro y su refuerzo dependerán de las fuerzas temporales y permanentes y de las condiciones que gobiernan el diseño.

1.3 Los muros pantalla constituyen la mejor solución cuando todas sus propiedades se toman en cuenta en el diseño de la estructura, es decir aquellas que proporcionan soporte lateral y vertical, barreras contra el agua y la eliminación de recimentación de estructuras adyacentes.

2. APTITUDES DEL CONTRATISTA

2.1 Los muros pantalla sólo deberán ser construidos por compañías que empleen personal experimentado en métodos comparables al trabajo especificado.

2.2 La experiencia debe estar relacionada con los materiales del subsuelo anticipados, las condiciones del agua subterránea, el tamaño de los tableros y las técnicas especiales requeridas para manejar los lodos de perforación y las herramientas de excavación.

2.3 El contratista deberá demostrar a satisfacción del representante del propietario la disponibilidad y credibilidad del equipo y de las técnicas que se van a usar en el proyecto.

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 Se deberá realizar una investigación geotécnica detallada del sitio de la obra antes de dar inicio al diseño.

3.2 Se deberá obtener información geológica adecuada para fines de diseño y construcción. La información exploratoria podrá abarcar lo siguiente: barrenos con recuperación de muestras “alteradas” o “inalteradas”, muestras representativas de los suelos y sus descripciones, pruebas de resistencia a la penetración estándar (SPT), pruebas de laboratorio incluyendo distribución granulométrica y límites de Atterberg, contenido de agua natural y pruebas de densidad, núcleos de roca y longitudes de las piezas recuperadas con barril muestreador expresadas como porcentaje de la longitud total muestreada con los núcleos (RQD), dureza y resistencia de los núcleos de roca, descripciones del patrón de intemperismo o meteorización de la roca, orientación de los planos de estratificación, juntas, fracturas, canales de disolución en rocas solubles e inclusiones. Estas pruebas no necesariamente tienen que ejecutarse en todos los proyectos. La información deberá ser lo suficientemente detallada como para delinear obstrucciones y variaciones en las propiedades de materiales como suelos y rocas.

3.3 Se deberá entregar un informe geotécnico al contratista durante el periodo de preparación de licitaciones.

Los tres formatos más típicos usados para informes geotécnicos [6] son los siguientes:

- Informe de datos geotécnicos (GDR, por sus siglas en inglés): Recopilación de hechos, tales como registros de perforación y pruebas de laboratorio, excluyendo cualquier tipo de interpretación y recomendaciones.

- Informe geotécnico interpretativo (GIR, por sus siglas en inglés): Interpretación del ingeniero geotécnico de los datos, incluyendo perfiles de geología regional e interpretación de datos específicos del sitio que pueden ayudar a predecir lo que es posible esperar en el subsuelo.

- Informe geotécnico de referencia (GBR, por sus siglas en inglés), a veces conocido como informe resumen de diseño geotécnico (GDSR, por sus siglas en inglés): Interpretación del ingeniero de diseño de las condiciones geológicas anticipadas y del comportamiento esperado del terreno durante la construcción. En este informe se establecen las “líneas de referencia” es decir, las

medidas cuantificadas de los parámetros estimados del comportamiento del terreno. Esas líneas de referencia le permiten a los postores formular sus propuestas bajo ciertas condiciones del subsuelo en el entendimiento de que si las condiciones reales del terreno son más o menos adversas que las líneas de referencia, el propietario considerará la modificación del contrato de acuerdo con la cláusula de diferentes condiciones del sitio (DSC, por sus siglas en inglés).

3.4 Las muestras de suelo y de roca recuperadas durante las exploraciones del subsuelo deberán conservarse con su contenido de agua natural y almacenadas de tal forma que se puedan examinar fácilmente. Las muestras deberán guardarse en un lugar céntrico, como puede ser la oficina del propietario.

3.5 Los niveles del agua subterránea deberán medirse y registrarse en los barrenos y piezómetros que pueden indicar si en el sitio de la obra están presentes niveles de agua natural o artesiana.

3.6 Se recomienda que el propietario contrate y pague todos los servicios geotécnicos requeridos. Un conflicto de intereses puede surgir si estos servicios son prestados y pagados por el contratista.

3.7 El contratista le deberá notificar al propietario si en su opinión la información geotécnica disponible es insuficiente para presentar ofertas y para planear el trabajo.

3.8 El contratista puede realizar una exploración del subsuelo adicional para mejorar su conocimiento de las condiciones de suelos y rocas del sitio, previa autorización del propietario.

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y DEL SITIO

4.1 No existe un solo reglamento de construcciones en los Estados Unidos, que sea aplicable en su totalidad a la construcción de muros pantalla. El diseñador deberá por lo tanto seleccionar los reglamentos y normas más adecuados, como los de *American Concrete Institute, American Institute of Steel Construction,* la *American Association of State Highway and Transportation Officials* y la *American Railroad Engineering Association*, la norma ASCE sobre Cargas de diseño en estructuras durante la construcción, reglamentos de construcción locales y normas de proyecto. Muchos de estos reglamentos no abarcan regulaciones específicas para estructuras temporales. Por esta razón, el diseñador deberá aportar los lineamientos adecuados para los contratistas en los cuales se basarán sus ofertas.

4.2 Todo el diseño lo deberán realizar ingenieros profesionales calificados y certificados utilizando procedimientos de diseño contemporáneos que vayan de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería. Véanse en la Bibliografía de la Parte V las referencias de diseño comúnmente usadas.

4.3 Las redes de servicios públicos y las estructuras existentes deberán indicarse en los documentos contractuales y verificarse. La presencia de estructuras pre-existentes o los servicios públicos abandonados también deberán identificarse. Se recomienda ampliamente el monitoreo del agua subterránea durante y después de la construcción del muro pantalla y de la excavación general del sitio.

4.4 El diseño deberá considerar todas las cargas sobre el muro transmitidas por las presiones del suelo en reposo, activas y pasivas, así como las cargas hidráulicas y sísmicas y su efecto en la resistencia del suelo, efectos de sobrecarga, cargas resultantes de la conexión a una estructura, efectos de los movimientos del muro durante y después de la construcción, la masa de suelo que afecte la estabilidad general del muro y los efectos de los sistemas de soporte del muro tales como puntales y anclajes. Todas las cargas de diseño y las combinaciones de cargas deberán identificarse claramente en los cálculos.

4.5 Se deberán asignar factores de seguridad adecuados considerando la naturaleza de la carga, su duración y el efecto de la carga en el comportamiento temporal y permanente del muro. Se podrán aplicar reducciones en el factor de seguridad a muros provisionales, a combinaciones de cargas transitorias [carga muerta + carga viva + viento] y a cargas con ocurrencia poco frecuente [inundaciones o temblores] en combinación con cargas de servicio. Los factores de seguridad y los factores de carga no deberán combinarse, es decir, aplicarse a las cargas y luego al diseño estructural del muro usando cargas que ya están aumentadas o amplificadas y posteriormente al sistema de soporte aplicando cargas del muro ya aumentadas. Los factores de seguridad y de carga deberán tomar en cuenta la variabilidad de los parámetros de diseño geotécnico, los cuales afectan el diseño del muro y de los sistemas de soporte.

4.6 Cuando los métodos Permisibles, de Factor de Carga y de Diseño Último se usen, el diseño deberá tomar en cuenta los efectos de incompatibilidad de los métodos sobre todo en lo que se refiere al análisis y al uso de factores de seguridad y de carga. Aumentos de los esfuerzos permisibles básicos deberán aplicarse a los miembros a flexión y a los miembros sujetos a compresión secundaria, como es el caso de largueros. El cálculo de las deflexiones de los muros deberá considerar las propiedades de las secciones no agrietadas o agrietadas que resultan durante la excavación por etapas y deberán basarse en

cargas no aumentadas. No se deberán aplicar aumentos a los esfuerzos permisibles de miembros a compresión tales como puntales.

4.7 El diseño estructural del muro deberá estar de acuerdo con todas las ediciones vigentes de los reglamentos de construcción nacionales y locales y con las secciones pertinentes de las normas de *American Concrete Institute, American Institute of Steel Construction, American Association of State Highway and Transportation Officials* y *American Railroad Engineering Association*.

4.8 Se deberán considerar los efectos de cargas en el plano y perpendiculares como parte del diseño del muro. El efecto combinado de estas cargas no deberá exceder los límites del reglamento.

4.9 El trazo de diseño de los tableros del muro pantalla puede afectar a las estructuras adyacentes o a los servicios públicos. En el diseño se deberá indicar si se necesitarán procedimientos especiales de excavación, herramientas, menores longitudes de tableros, recimentaciones, inyecciones o tratamientos del terreno para proteger o limitar el movimiento del muro cerca de estas estructuras u obras públicas.

4.10 El diseño deberá tomar en cuenta los esfuerzos residuales derivados de las etapas temporales de construcción así como su efecto en las condiciones de servicio y de desempeño a largo plazo del muro.

4.11 La compatibilidad de los movimientos del muro deberán considerarse al seleccionar los sistemas de soporte del muro, el refuerzo del mismo y los sistemas de juntas entre tableros.

4.12 Deberán presentarse detalles especialmente diseñados donde las cargas se vayan a transferir a través de las juntas.

4.13 Los documentos de construcción, ya sea preparados por el ingeniero consultor o por el contratista, deberán definir claramente el alcance del trabajo indicando, donde así proceda, el espesor del muro, la longitud de los tableros, la ubicación del muro en planta, las dimensiones o elevaciones de la parte superior e inferior del muro, el tamaño, posición y longitud del acero de refuerzo, la posición de todas las reservaciones e insertos, así como la ubicación y magnitud de las cargas de soporte temporales.

4.14 Las tolerancias especificadas para el muro, los acabados y la cobertura del refuerzo deberán tomar en cuenta la geología del sitio (por ejemplo, boleos y cantos rodados) y las profundidades expuestas de los muros. En la Sección 12.0 se presentan las tolerancias comúnmente consideradas en los Estados Unidos.

4.15 Se deberá instalar un sistema de monitoreo y de instrumentación en el muro para verificar los parámetros de diseño y para registrar el comportamiento de los sistemas de muro. Durante la excavación general del sitio será necesario monitorear cuidadosamente los sistemas de muro y de apuntalamiento así como las estructuras críticas vecinas al sitio y las partes responsables del diseño y construcción deberán revisar y aclarar cualquier discrepancia en el comportamiento.

5. MATERIALES

5.1 El concreto deberá satisfacer la resistencia mínima a la compresión (f'_c) especificada a 28 días, generalmente dentro del rango entre 3000 y 5000 psi, para un revenimiento (slump) que varía de 7 a 9 pulgadas. Se podrán usar agentes plastificantes aprobados, ceniza volante y/o inclusión de aire para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. La relación entre el agua y los materiales cementantes no deberá ser mayor de 0.6 (en peso). Se recomienda el uso de plastificantes normales de bajo rango para producir mezclas de concreto trabajables. No se recomienda el empleo de superplastificantes en mezclas de concreto debido al corto tiempo de la trabajabilidad ampliada de revenimiento a causa de los cambios de temperatura entre los tiempos de colocación del concreto y el momento de agregar el superplastificador en la planta de mezclado. Para estructuras de contención de agua o para exposiciones especiales del muro se podrá ajustar la relación agua-cemento a las especificaciones de los reglamentos o normas de buena práctica siempre y cuando no se afecte la trabajabilidad de la mezcla.

5.2 Los agregados usados en la mezcla deberán tener tamaños limitados entre ¾" y 1", ser bien gradados, durables e inertes, de preferencia con grava dura redondeada y una mezcla más arenosa.

5.3 El concreto deberá ser proporcionado, mezclado y colocado de acuerdo con las normas ACI y con otros reglamentos y recomendaciones pertinentes.

5.4 El acero de refuerzo deberá estar conformado por varillas de acero de barra corrugadas nuevas, que satisfagan los requisitos establecidos por la norma ASTM A615, Grados 60 y 75 o perfiles de acero rolados que cumplan con los requisitos de la norma ASTM Grado-A36 (que en la actualidad no se fabrican pero se pueden conseguir) o la norma ASTM A-572, A-588 o A-992, Grados 50 y 60 o las normas métricas equivalentes.

5.5 Las armaduras de acero de refuerzo deberán detallarse tan simple como sea posible. Deberán evitarse capas múltiples de varillas en las caras de los armados así como dobleces complicados, traslapes, recortes y cambios de grado y de diámetro de las varillas. Los armados

deberán amarrarse firmemente con alambre. No es recomendable la soldadura de varillas interconectadas ni las uniones. Los armados de acero deberán ser lo suficientemente rígidas para poderse izar durante la construcción y podrán requerir acero de refuerzo adicional al indicado para fines de diseño.

5.6 Los insertos y las reservaciones para muros, pisos y las tuberías de inyección de lechadas subsecuentes deberán ubicarse con precisión y sujetarse al armado. Cualquier tipo de tuberías o ductos para instrumentación geotécnica deberán fijarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Se deberá prever suficiente espacio para la colocación de las tuberias Tremie y mínimo espacio libre entre varillas adyacentes para facilitar la colocación del concreto como parte del diseño y fabricación de la armadura de refuerzo. Se deberán considerar varillas especiales roscadas o varillas especialmente dobladas para el caso de armaduras de acero de refuerzo más densas. En condiciones corrosivas, se puede pensar en usar varillas de refuerzo recubiertas con epoxy o galvanizadas.

5.7 Se debe anticipar la posibilidad de modificar las armaduras en el campo si se prevén variaciones en las dimensiones de los tableros. Se deberán sujetar separadores adecuados o rodillos a la armadura para mantener la cobertura de concreto requerida. Se recomienda el empleo de bloques redondos de concreto en los ejes de las varillas de acero, separadores que no raspen ni se incrusten en las paredes del suelo o dispositivos no metálicos.

5.8 La bentonita y otras arcillas minerales deberán cumplir con los requisitos establecidos en la norma 13A del *American Petroleum Institute* (API). Las bentonitas tratadas químicamente tal vez hagan falta para contrarrestar los efectos del suelo contaminado o del agua subterránea. No se deberán aplicar aditivos químicos al lodo bentonítico una vez dentro de la zanja. Los aditivos químicos se pueden añadir en la planta de mezclado bajo condiciones controladas y para satisfacer objetivos claramente identificados.

5.9 Los lodos con polímeros para excavación de zanjas pueden ser materiales orgánicos o compuestos químicos especialmente tratados. Las condiciones específicas del suelo y del régimen de agua subterránea deberán tomarse en cuenta y evitar las condiciones de alta acidez y alta alcalinidad. Se deberán considerar y monitorear los procedimientos especiales de manejo de lodos y de su eliminación durante el tiempo que dure la construcción del muro.

5.10 El agua usada en la preparación del lodo bentonítico deberá ser neutral, limpia, fresca y exenta de aceite, álcalis, materia orgánica y otras sustancias deletéreas. El monitoreo del agua subterránea y de su

química generalmente se lleva a cabo cuando se detectan condiciones agresivas del subsuelo, agua o fluidos subterráneos contaminados.

6. LODOS DE EXCAVACIÓN

6.1 La bentonita recién mezclada debe tener un peso volumétrico mínimo de 64 libras por pie cúbico (pcf), determinado mediante la báscula de lodos, viscosidad mínima de 32 segundos medida con el embudo Marsh; pérdida por filtración de menos de 25 cm^3 usando la prensa filtro estándar; y pH comprendido entre 7 y 11.5. Se podrán necesitar lodos más viscosos o agentes selladores donde se esperen pérdidas altas del lodo.

6.2 En las instalaciones típicas de muros pantalla, las propiedades del lodo bentonítico se ajustan para alcanzar un peso volumétrico máximo de 70 pcf, máxima viscosidad de 50 segundos, contenido máximo de arena de 5% antes del colado del concreto, todo ello medido 2 pies arriba del fondo de la excavación del tablero. Cuando se afectan las condiciones para el trabajo convencional, por ejemplo, la profundidad del tablero es significativamente grande y/o el volumen y la rapidez de colocación del concreto con sistema Tremie no son suficientes para desplazar el lodo bentonítico, el contenido de arena del lodo se puede reducir hasta 1% o 2% aproximadamente para mejorar el flujo horizontal del concreto en todo el tablero. De manera similar, si el tablero está diseñado para apoyarse en suelo o en roca, el contenido de arena deberá estar al nivel más bajo y después ensayarse a intervalos más cercanos a lo largo de toda la longitud del tablero.

6.3 Los lodos con polímeros deberán exhibir un peso volumétrico máximo de 64 pcf, viscosidad de 40 a 80 segundos y contenido máximo de arena de 1%, medido 6” por arriba del fondo del tablero.

6.4 El lodo de perforación deberá controlarse cuidadosamente y sus propiedades deberán ser verificadas por un especialista en lodos o por un ingeniero calificado durante todo el tiempo que dure el trabajo.

7. REQUISITOS GENERALES DE ENTREGA

7.1 Deberán entregarse planos que muestren los muros guía, la distribución de tableros, las dimensiones y el esquema de numeración, la secuencia de instalación de tableros, los detalles de las juntas tope, la protección de estructuras y de servicios públicos, los detalles del acero de refuerzo, la ubicación y detalle de todos los insertos y reservaciones así como de cualquier otro elemento embebido.

7.2 Deberá entregarse una descripción de los métodos de monitoreo de las estructuras vecinas, la estabilidad de la zanja, la verticalidad y la desviación, incluidas medidas correctivas, en caso necesario.

7.3 Deberá presentarse el programa de obra, la programación del equipo y la lista de personal especializado.

7.4 Deberá entregarse una descripción detallada del programa de control de la calidad del contratista.

7.5 Deberá entregarse información sobre las mezclas de lodo con bentonita, arcilla mineral y polímeros y los informes de pruebas del fabricante de todos los materiales que se van a surtir.

7.6 Se deberá presentar el diseño de la mezcla de concreto incluyendo el nombre del proveedor, el proporcionamiento, la granulometría y los resultados de prueba de los ingredientes. Se recomiendan mezclas de prueba de laboratorio salvo donde la práctica local haya ganado suficiente experiencia con mezclas estándar disponibles.

7.7 Los cálculos de ingeniería, los planos y los detalles de las partes diseñadas por el contratista del trabajo deberán ser preparados por un ingeniero profesional certificado con experiencia en el diseño y construcción pertinente. Podrán hacer falta cálculos de ingeniería para evaluar el efecto de las etapas constructivas, las cargas inducidas por la construcción y los cambios del contratista o en el campo que afecten el diseño del sistema temporal de soporte lateral.

7.8 A solicitud se deberá presentar el historial profesional del personal experimentado, incluyendo información de cada tipo de proyecto de muro, patrón, tareas de supervisión realizadas y/o actividades de campo ejecutadas, así como años de experiencia.

7.9 Se deberán entregar resúmenes de proyectos de muros pantalla realizados por el contratista en caso necesario, incluyendo el nombre del proyecto, propietario, ingeniero, contacto personal, fechas y descripciones de los muros completados y una lista de proyectos realizados como co-inversionista.

7.10 A solicitud se deberán entregar resúmenes de equipos, incluyendo tamaños de cucharones mecánicos o hidráulicos disponibles, brocas, barretones, grúas de operación, instalaciones para el almacenamiento de lodos, sistemas de mezclado y distribución y equipos para colado de concreto.

8. PREPARATIVOS PARA LA EXCAVACIÓN

8.1 Los servicios públicos y las estructuras adyacentes al muro deberán ubicarse, protegerse, mantenerse y restaurarse de ser necesario. La superficie de las estructuras adyacentes deberán cubrirse y protegerse contra derrames de suelo, bentonita o concreto. Todos los servicios públicos y las obstrucciones artificiales dentro del alineamiento del muro pantalla deberán retirarse, taparse o reubicarse según se requiera. La información acerca de los servicios públicos deberá verificarse con las autoridades locales y con las empresas prestadoras del servicio. Se deberán excavar pozos a cielo abierto y ejecutar trabajos cuidadosos previos a la excavación de la zanja en lugares donde no se cuente con registros confiables.

8.2 Instale muros guía (brocales) continuos de concreto reforzado para el alineamiento y rasante del muro terminado dejando holgura suficiente entre los muros guía para dejar pasar le herramienta de excavación. En la Figura 12 de la Parte IV se muestran detalles típicos de construcción de muros guía. Proporcione apuntalamiento temporal al muro guía (brocal) para mantener la posición correcta y la holgura durante la excavación. Los muros guía deberán extenderse hasta el nivel más bajo del servicio público o estructura. La ubicación de las juntas entre tableros deberá marcarse claramente en los muros guía.

8.3 La parte superior de los muros guía debe estar a una altura mínima de 5 pies por arriba del nivel freático natural anticipado. Deberá disponerse de un acopio de material para rellenar la excavación ante una eventual inundación o un ascenso inesperado del nivel de aguas subterráneas.

8.4 Los muros guía (brocales), deberán desplantarse en suelo firme para fines de capacidad de carga. En algunas circunstancias la capa de apoyo podrá no ser adecuada para sostener los muros guía. Algunos contratistas prefieren preparar un relleno de concreto pobre como capa subrasante de cimentación para los muros guía. (Véase la Figura 13 en la Parte IV).

Nota: La información obtenida de las referencias [7, 8, 9 y 10] se ha usado ampliamente en las siguientes secciones 9.0 a 15.0.

9. EXCAVACIÓN

9.1 Deberá contarse con equipo de excavación que sea capaz de remover todo tipo de suelo, relleno y materiales rocosos encontrados dentro del alineamiento del muro. Las obstrucciones artificiales generalmente se eliminan durante el proceso previo a la excavación de la zanja antes de construir los brocales. Cucharas de almeja, perforaciones, raspado y pulverización se pueden emplear sujetos a restricciones ambientales tales como derrames, ruido excesivo y vibraciones.

9.2 La excavación deberá realizarse de manera continua hasta alcanzar las líneas y pendientes requeridas con un mínimo de dos tableros no excavados, generalmente un mínimo de 30 a 40 pies, o de un tablero colado con concreto usualmente con una separación de 15 a 20 pies entre tableros abiertos. La excavación no deberá proceder adyacente a elementos de concreto colados en las 24 horas previas, salvo que haya necesidad de extraer dispositivos de juntas tope que se hayan atascado.

9.3 Deberá proporcionarse suficiente control topográfico para garantizar que la excavación del tablero cumple con el alineamiento requerido y con las tolerancias en cuanto a verticalidad y posición. El contratista deberá medir la verticalidad y la posición horizontal a intervalos regulares con una separación aproximada de 15 a 20 pies. Los alambres conectados a los dientes o a orejas laterales de los cucharones de almeja o a los inclinómetros dentro de cucharones especialmente fabricados enlazados a los controles del operador se podrán usar para conocer la posición del cucharón de almeja en relación con los brocales. Además, podrán usarse dispositivos electrónicos de lectura y control en la cabina de la grúa para determinar el alineamiento correcto y evitar efecto sacacorchos a medida que la excavación avanza hacia abajo. Mediciones más precisas usando dispositivos sónicos o arañas pueden proporcionar un perfil de las caras del tablero una vez concluida la excavación. Con estas mediciones se puede verificar el espesor mínimo de pared y la holgura para instalar acero de refuerzo, vigas y juntas tope. En excavaciones profundas, la verticalidad resulta crítica para la conexión efectiva entre tableros adyacentes. En aplicaciones de muros delgados con tableros profundos, la tolerancia en cuanto a verticalidad de la excavación se puede limitar a 0.5% o menor dependiendo de los requisitos de diseño.

9.4 El empotramiento del muro en suelo o roca con capacidad de carga suficiente se deberá verificar en presencia de un inspector. Se podrán necesitar muestras de suelo o de roca a intervalos más cortos donde se detecten cambios en las formaciones geológicas, anomalías o boleos grandes, a fin de verificar el correcto empotramiento. Todos los empotramientos deberán inspeccionarse y el fondo del tablero deberá estar perfectamente nivelado y limpio antes de la colocación del refuerzo y del concreto. Cucharones sin dientes así como bombas y elevadores neumáticos se usan comúnmente para limpiar el fondo de la excavación.

9.5 La profundidad de los tableros deberá medirse al inicio de cada día para verificar si durante la noche se presentaron desprendimientos. La profundidad final del tablero deberá verificarse a intervalos cortos a lo largo del fondo de los tableros para asegurarse que los elementos estructurales se instalarán correctamente. El inspector deberá revisar el fondo del tablero usando un hilo con contrapeso o una barra para

garantizar que no queden residuos de arena ni fragmentos de roca en el fondo del tablero.

9.6 Se deberá vaciar lodo bentonítico de manera continua con el fin de asegurarse de que la zanja excavada se mantenga siempre llena hasta una altura de 2 pies por debajo de la parte superior de los brocales. Se deberá mantener un abastecimiento suficiente de lodo bentonítico o de relleno para garantizar la estabilidad de la zanja en el caso de pérdidas no anticipadas del lodo. El lodo bentonítico deberá monitorearse constantemente para estar seguros de que satisface los requisitos de la especificación y desarrollará su función pretendida y de que la excavación no causará daños a las estructuras vecinas y a los servicios públicos.

9.7 Lodos minerales frescos deberán combinarse con mezcladoras coloidales adecuadas. El agua para lodos minerales deberá ser potable y libre de sustancias químicas perjudiciales que pueden afectar las propiedades del lodo. Los lodos deberán almacenarse en estanques revestidos o en tanques de confinamiento para permitir la hidratación adecuada. El contratista deberá establecer un laboratorio de control de calidad en el lugar para ejecutar pruebas periódicas y asegurarse de que el lodo es adecuado para el uso pretendido.

9.8 Los lodos recientemente almacenados deberán ensayarse en cuanto a densidad, viscosidad, filtración y pH. El lodo vaciado en los tableros excavados deberá ser probado diariamente en cuanto a densidad de sólidos, viscosidad y, cerca del fondo del tablero, contenido de arena. En la Figura 9 de la Parte IV se presenta una forma típica de informe de prueba del lodo de perforación.

9.9 La limpieza adecuada del lodo en terreno no contaminado permitirá reusarlo varias veces. El terreno contaminado, el calcio proveniente de las operaciones de colado de concreto con el método Tremie o una limpieza insuficiente pueden afectar las propiedades del lodo lo cual implica la eliminación anticipada del lodo. El contratista deberá cuidadosamente controlar, monitorear y distribuir el lodo de usos múltiples en varios tableros.

9.10 Se deberá usar una herramienta de muestreo de lodos con un dispositivo especial sólo de entrada por el fondo a base de charnela para recuperar muestras de lodo de fondo y a cualquier altura de la excavación en cualquier momento y asegurarse de que los materiales acumulados o depositados no afecten la excavación ni las operaciones de colado del concreto Tremie.

9.11 El lodo a base de polímeros deberá mantenerse y monitorearse de manera continua a semejanza del lodo bentonítico, excepto que no se va a formar un residuo sólido en las paredes de la zanja. La recolección

de sólidos en el fondo del tablero deberá hacerse con un cucharón de almeja sin dientes. Un tratamiento químico podrá ser necesario para lodos especiales a base de polímeros.

9.12 Los residuos de excavación y la bentonita desechada deberán depositarse de manera compatible con el medio ambiente.

10. COLOCACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

10.1 El lodo de perforación deberá ensayarse, modificarse y limpiarse cuando sea necesario y el fondo y los lados del tablero deberán medirse y limpiarse antes de la colocación de dispositivos de juntas tope y del acero de refuerzo. El refuerzo (armadura de varillas de refuerzo y/o vigas estructurales) deberá colocarse tan pronto como sea posible una vez limpio el fondo del tablero, o no más de tres horas después de ensayar el lodo de perforación en cuanto a contenido de arena y sedimentación.

10.2 Las juntas tope extremas en tableros primarios y consecutivos deberán sujetarse perfectamente en su posición y se deberá verificar la armadura de acero, la viga y las dimensiones del tablero antes de izar e introducir la armadura. Todo el óxido suelto, el aceite y otros materiales perjudiciales deberán eliminarse del acero de refuerzo.

10.3 Las vigas estructurales y las armaduras de varillas de refuerzo, si se requieren, generalmente se fabrican en el sitio, sobre el terreno para instalarse dentro del tablero. La armadura se fabrica al conectar varillas individuales con alambre, silletas y separadores. Se agregan bloques, rodillos y otros dispositivos para proporcionar la cobertura de concreto necesaria. La ubicación de las tuberías Tremie deberá tomarse en cuenta y las varillas se deberán colocar alejadas de los lugares por donde pasarán las tuberías Tremie. No se recomienda soldar las varillas. Las vigas normalmente se fabrican y se rigidizan con marcos localizados dentro del tablero. Los marcos deben permitir el flujo libre del concreto colocado con sistema Tremie manteniendo la posición de las vigas verticales. Las vigas se introducen en el tablero y la armadura es luego colgada del brocal. El contratista deberá proporcionar elementos adicionales que proporcionen rigidez dentro del tablero para izar la armadura verticalmente y poder sujetar desbastadores, accesorios para la instrumentación, reservaciones para piso y pared, trompetas para anclajes, placas de apoyo, etcétera.

10.4 Se deberá contar con suficientes estrobos (eslingas), cables y equipo para evitar la distorsión permanente de la armadura. El armado deberá sostenerse del brocal en su posición correcta a una distancia libre de 6” del fondo. La limpieza y arreglo local, el corte, el angostamiento y otras modificaciones a la aramadura, que tal vez hagan falta para corregir

desalineamientos de la excavación, no deberán hacerse sin la aprobación previa del ingeniero. El reposicionamiento o fijación de varillas sueltas, insertos, reservaciones y otros dispositivos tal vez resulten necesarios durante el descenso de la armadura de refuerzo.

11. COLADO DEL CONCRETO

11.1 Antes de vaciar el concreto, se deberá escarificar y limpiar cuidadosamente la junta previamente colada de los tableros secundarios y consecutivos. El concreto deberá colocarse poco tiempo después de haber verificado el contenido de arena y dentro de un lapso de tres horas posteriores a la colocación del refuerzo o de 24 horas después de limpiar la excavación. Si llegara a ocurrir un retraso, entonces se tendrá que volver a ensayar el lodo para cumplir con las tolerancias de prueba o para reemplazar el lodo. Una vez iniciado el colado del concreto deberá proseguirse de manera continua hasta que el concreto sin contaminar haya alcanzado la elevación (cota) requerida de la parte superior del muro. Deberán llevarse registros detallados de la cantidad, calidad y ascensión del concreto en el tablero. Se deberá contar con el equipo adecuado para garantizar el suministro ininterrumpido y la colocación del concreto incluso en el caso de descompostura del equipo.

11.2 El contratista deberá garantizar que el ascenso del concreto sea bastante uniforme a lo largo de la parte superior del concreto en movimiento y que no se vaya a obstruir la tubería Tremie. En la Figura 10 de la Parte IV se presenta una forma típica de informe de inspección del concreto colocado con sistema Tremie. El concreto deberá colocarse de tal manera que desplace al lodo progresivamente a partir del fondo y que ascienda uniformemente hasta la superficie de tal forma que no se presente el entremezclado del concreto con el lodo. Si se dispone de un tapón o de un “go devil” para minimizar el mezclado inicial del concreto con el lodo se deberá tener cuidado de que no vaya a quedar atrapado dentro del concreto o que pueda causar un defecto en el concreto.

11.3 El contratista deberá controlar el colado del concreto mediante las entregas del camión revolvedora, el bombeo y con un control más estricto usando dos tuberías Tremie para tableros estándar, a excepción de tableros SPTC (véase la Fotografía 13). En el caso de tableros SPTC, se deberá contar con una tubería Tremie para cada elemento de viga donde se usen pilotes montantes múltiples para formar un tablero. El uso de un tapón de inicio no es común en la colocación del concreto con sistema Tremie. El contratista deberá revisar sus procedimientos si se llegan a formar juntas frías o si ocurre el mezclado del concreto con el lodo. El empleo de un superplastificante en las mezclas de concreto tiene problemas potenciales lo cual limita el periodo del revenimiento

deseado y la colocación del concreto con las tuberías Tremie. La colocación deberá monitorearse y controlarse cuidadosamente. Las mezclas de concreto proporcionadas por los proveedores deberán ser compatibles con los métodos de colocación del contratista. El contratista será responsable de cualquier defecto dentro del tablero que pudiera ocurrir durante la colocación del concreto.

11.4 La tubería Tremie deberá tener un diámetro comprendido entre 8” y 10” y su extremo deberá quedar ahogado una distancia mínima de 5 pies y una máxima de 15 pies dentro del concreto fresco. Podrá hacer falta mover la tubería hacia arriba y hacia abajo durante la colocación del concreto. Se deberá tener cuidado de asegurarse de que la tubería esté siempre ahogada dentro del concreto fresco y de que no ocurra la pérdida del sello Tremie que pudiera dar lugar a una junta fría.

11.5 Donde se usen dos tuberías Tremie se deberá tener la precaución de asegurarse de que ambas trompas tengan siempre la misma longitud, de que un número suficiente de camiones esté siempre disponible para llenar uniformemente ambas tolvas Tremie y de que el nivel del concreto dentro de cada tubería sea esencialmente el mismo. El empleo de más de dos tuberías Tremie deberá ser desalentado en el caso de tableros estándar, a excepción de los tableros SPTC.

Cortesía del Arquitecto del Capitolio de U.S.

Fotografía 13: Operaciones para la colocación del concreto con sistema Tremie en Washington DC

11.6 Los dispositivos para tapón terminal deberán extraerse en una operación continua sin problemas después del fraguado inicial del concreto. El contratista y el inspector deberán determinar la rapidez adecuada de extracción revisando los tiempos de fraguado de colados consecutivos de concreto seleccionadas de los camiones de reparto. En

algunos casos, cuando se use tubo junta extraíble lateralmente, la secuencia de remoción de los tapones terminales podrá ser diferente.

11.7 Se podrán tomar cilindros adicionales de concreto durante la colocación de tal manera de poder verificar posteriormente condiciones inusuales o muestras sospechosas con variaciones de la resistencia del concreto a la baja. Los cilindros de concreto deberán protegerse contra el congelamiento y de las vibraciones durante su traslado al laboratorio.

11.8 La resistencia del concreto, si hay desacuerdo, se puede verificar extrayendo y ensayando núcleos de la pared en una etapa posterior.

12. TOLERANCIAS

12.1 Las juntas entre tableros deberán quedar a una distancia de 6” de la posición correcta y dentro del 1% de la vertical, si no se especifica lo contrario.

12.2 La tolerancia promedio en la verticalidad de la armadura de refuerzo y en los accesorios fijados perpendicularmente al plano del muro no deberá ser mayor del 1% de la profundidad del muro a la profundidad medida y de 3” en cualquier dirección en el plano del muro. En la Figura 14 de la Parte IV aparecen las tolerancias estándar. Tal vez hagan falta requerimientos más rigurosos de verticalidad de hasta 0.5% para garantizar el traslape adecuado de los tableros en el caso de muros profundos. El empleo de cucharones de almeja o de excavadoras con hidrofresa en condiciones variables de suelos o de rocas deberá controlarse adecuadamente para cumplir con esa tolerancia tan exigente. En raras ocasiones para la construcción de presas, la verticalidad ha sido controlada con equipo especial dentro del rango de 0.2% de verticalidad.

12.3 La cobertura mínima de concreto deberá ser de 3”. Una tolerancia adicional de 3” más allá de la cobertura mínima de concreto deberá limitarse a zonas no críticas de la superficie expuesta del muro.

12.4 La precisión de la construcción y el acabado del muro depende del subsuelo en el sitio, del equipo usado y de la habilidad del contratista. Las tolerancias se pueden relajar o los muros se pueden alejar de líneas precisas en aquellos lugares donde los muros se construyan a través de suelos sueltos, suelos con boleos o rellenos formados por pilotes, troncos, demoliciones u otro tipo de cascajo suelto, o donde los muros sean provisionales y están suficientemente alejados de construcción permanente.

13.0 DIFERENCIAS EN LAS CONDICIONES DEL SITIO

13.1 A falta de una cláusula contractual para condiciones diferentes o alteradas del sitio, se recomiendan los siguientes procedimientos cuando las condiciones se llegan a detectar durante el desarrollo del trabajo las cuales difieren de las indicadas en los documentos contractuales (incluyendo el informe geotécnico) o que se reconocen de manera ordinaria como propias del trabajo según se describe en el contrato.

13.2 Se deberá entregar una notificación oportuna por escrito al representante legal del propietario cuando se detecten estas condiciones.

13.3 Se deberá discutir un ajuste equitativo y un aviso de ampliación del tiempo entre todas las partes para cubrir el alcance adicional no anticipado, los cambios en el programa y los costos asociados.

14.0 TERMINACIÓN DEL TRABAJO

14.1 Todo rastro de bentonita, suelo y concreto pobre, deberá retirarse de la parte superior y paramento del muro. La corona del muro deberá rebajarse hasta alcanzar la elevación de diseño. Los tapones ahogados en la parte superior de los muros son generalmente difíciles de colocar y no se recomiendan. Las preparaciones para ampliar el muro se deberán cortar con cuidado en el concreto sano y los tapones se deberán colocar adecuadamente.

14.2 Todas las filtraciones se deberán sellar o parchar con el fin de lograr la “impermeabilidad” necesaria del muro.

14.3 La falta de alineamiento, abultamientos, protuberancias y cavidades deberán arreglarse de conformidad con las tolerancias requeridas y en su caso repararse.

14.4 Todas las estructuras existentes y los servicios públicos deberán regresarse a sus condiciones previas a la construcción.

14.5 Recabe y conserve todos los registros de construcción relacionados con la calidad del lodo bentonítico, la excavación, el refuerzo, el colado del concreto y las reparaciones.

14.6 El lodo bentonítico contaminado y sobrante así como los residuos de excavación deberán enviarse a un lugar fuera del sitio de manera

segura y dentro de cauces legales. El depósito en el sitio se puede permitir al recibir las autorizaciones pertinentes del propietario o de la autoridad local.

15.0 CRITERIOS DE IMPERMEABILIDAD

15.1 Ha habido una mejora continua en la calidad de la construcción de muros pantalla; sin embargo, existe un concepto erróneo común entre los contratistas especializados, propietarios, diseñadores y gerentes de proyecto en lo que se refiere al grado de impermeabilidad que se puede esperar. La industria de la construcción y las partes interesadas reconocen la dificultad de producir muros pantalla que no tengan fugas, o que tengan filtraciones mínimas; sin embargo, no existe un criterio de aceptación único en la industria aplicable a la impermeabilidad de sistemas a base de muros pantalla. Los documentos de proyecto usualmente establecen que el sistema de muro pantalla no tenga fugas, no muestre filtraciones y/o no contenga inclusiones de material o defectos en tableros y juntas. Es obvio que el contratista especializado deberá enfrentarse a estos problemas en caso que se presenten. Agua corriente en la superficie del muro, en las juntas o en los insertos en un tablero no es aceptable. Sin embargo, un muro pantalla puede exhibir manchas de humedad (como gotas de sudor) y seguir siendo considerado como “impermeable” o “a prueba de humedad”.

15.2 La calidad impermeable de los muros pantalla se puede ver afectada por grietas y movimientos de las juntas entre tableros que se llegan a formar debido a deflexiones estructurales y/o a diferencias entre las condiciones de apoyo de los tableros, por aberturas en el piso, anclajes y largueros internos dentro del muro pantalla. Aun los muros pantalla de concreto bastante gruesos permiten cierta transmisión de agua, aunque la cantidad de agua es relativamente baja en acuíferos poco profundos y en condiciones de suelos de baja permeabilidad. Un cálculo simple usando, la ley de Darcy, para un flujo de agua que pasa a través de un muro de concreto bastante denso y homogéneo de 2 pies de espesor bajo una carga hidráulica de 30 pies daría como resultado un caudal de 0.5 galones por cada 10,000 pies cuadrados de muro en 24 horas.

15.3 No existe un criterio estándar en la industria de cómo minimizar el humedecimiento y el mojado de las estructuras subterráneas. Algunos sótanos de edificios, estructuras de estacionamiento, cuartos mecánicos y eléctricos, subterráneos y otros túneles pueden a veces tolerar humedad o filtraciones. Aplicaciones sensibles bajo tierra tales como espacios habitables y almacenes médicos, de

alimentos, de computación o de documentos no permiten humedecimientos sino más bien ambientes excepcionalmente secos. Resulta cuestionable si es o no necesario tener el más alto grado de impermeabilidad especificado para todo tipo de estructuras a base de muros pantalla.

15.4 Si se requiere para el funcionamiento adecuado del espacio bajo tierra en cuanto a las condiciones de servicio, existen seis maneras de lograr el nivel más alto posible de impermeabilidad:

1. Construcción de concreto impermeable basada en diseños bien pensados y en la más alta calidad de construcción de muros pantalla.

2. Sellado de todas las juntas entre tableros y reparación de construcción defectuosa de manera adecuada una vez retirado el arriostramiento temporal y después de haberse estabilizado tanto el muro pantalla como la estructura.

3. Uso de muros de revestimiento encima del muro pantalla.

4. Construcción de la pared en la cavidad con medidas previstas para drenaje, cárcamos y ventilación.

5. La aplicación de impermeabilización interior usando membranas o impermeabilizante rociado, después de haber reparado y sellado los muros.

6. El uso de tapónes herméticos verticales de hule (waterstops) en las juntas entre tableros y de otras conexiones expuestas al agua.

15.5 Aunque se puede debatir la necesidad de usar alguno de los métodos anteriores, no hay una forma directa de estimar la cantidad de agua o de humedad que sea aceptable. El diseño y la impermeabilidad esperada para el muro pantalla deberán planearse cuidadosamente y presentarse en los documentos contractuales con el fin de evitar conflictos y litigios derivados de la construcción.

16.0 COMPENSACIÓN

16.1 El pago normalmente se realiza sobre la base de precios unitarios, estimados como pies cuadrados del paramento vertical del muro. Esta medición deberá incluir el área real entre la parte superior (sana) del muro y la parte inferior del muro indicada en los planos, o lo que indique el ingeniero. La medición en planta deberá hacerse a lo largo del centro de línea del muro. La medición de la parte inferior de las profundidades del muro se realiza mediante barras (rígidas) o

dispositivos de sondeo a intervalos de 2 pies. Ningún pago se hará para muros instalados más allá de estos límites. El pago generalmente incluye todas las compensaciones por la dotación de materiales, mano de obra, equipos, herramientas e incidentales necesarios para terminar el trabajo. El precio contratado también deberá incluir todo lo relacionado a la excavación de tableros, juntas herméticas, varillas del acero de refuerzo, suministro de artículos embebidos, concreto tipo Tremie, construcción y remoción de muros guía, suministro, manejo y eliminación de lodos de perforación, acarreo de materiales de excavación, recorte de la parte superior del muro, remoción del concreto defectuoso, eliminación de protuberancias o resaltos, y sellado o inyectado del muro para darle impermeabilidad.

16.2 El pago por el muro pantalla deberá hacerse contra unidades de pago establecidas en el contrato. Unidades de pago separadas se pueden establecer para la remoción de roca, boleos u obstrucciones, sobrecostos del concreto, pérdidas de lodo, acero de refuerzo, insertos o dispositivos embebidos, instalación del brocal y eliminación de lodos. A falta de esa estipulación no se podrán hacer pagos por separado.

16.3 Un tanto del 10% del precio contratado para el muro pantalla es a menudo retenido hasta que el muro queda expuesto en su totalidad y se determina que cumple cabalmente con los requisitos del contrato. Para los muros de pantalla impermeable no expuestos se podrán tener otros criterios para retener el pago (por ejemplo, la medición de estipulaciones específicas sobre su comportamiento, permeabilidad o movimiento) de conformidad con las estipulaciones del proyecto.

16.4 Sondeos de confirmación en suelos o recuperación de núcleos en roca, cuando así lo establezca el contrato, deberán pagarse sobre la base de precios unitarios por pie lineal y por precio unitario de cada muestra de suelo o de núcleo de roca recuperado.

PARTE III DEFINICIONES (en orden alfabético en inglés)

A

ACI: American Concrete Institute

Elevador neumático (*Airlift*): Dispositivo para extraer lodos, sólidos suspendidos y rezaga (residuos) de perforación desde el fondo de una zanja llena de lodo con bentonita o con polímero. Generalmente se inyecta aire comprimido al lodo por la parte inferior de la zanja mediante un tubo de pequeño diámetro dentro de un tubo más grande. Este flujo ascendente tiende a levantar el material desde el fondo de la zanja.

API: American Petroleum Institute.

Especificación API 13A (*API Spec. 13A*): Especificación del API para materiales fluidos usados en perforaciones de pozos de petróleo.

Especificación API 13B (*API Spec. 13B*): Práctica recomendada del API, Procedimiento estándar para ensayar fluidos de perforación.

ASTM: American Society for Testing and Materials

Barrena helicoidal (*Auger Drill*): Dispositivo en espiral usado para raspar, moler y/o excavar en suelo y roca.

B

Barreta (*Barrette*): Véase Elemento de apoyo

Bentonita (*Bentonite*): Arcilla montmorilonítica que contiene cationes de sodio formados principalmente por la alteración *in situ* de rocas de silicatos de origen volcánico.

Lodo bentonítico (*Bentonite Slurry)*: Mezcla de bentonita y agua.

Berma (*Berm*): Superficie inclinada de suelo que proporciona apoyo lateral a un muro.

Desbastador (*Blockout):* Dispositivo para formar una depresión en el muro.

Adherencia (*Bond*): Adhesión del concreto al acero de refuerzo.

Trabesaño, Puntal (*Brace)*: Elemento estructural lineal usado para proporcionar apoyo lateral al muro, el cual se coloca perpendicular o formando un ángulo con el muro.

Placa (Plancha) de apuntalamiento (*Brace Plate*): Placa de acero empotrada en el muro para recibir el puntal y transferir la carga del muro al arriostramiento.

C

Cucharón de almeja colgado del cable (*Cable-hung Clamsheel Bucket*): Cucharón de excavación operado por cables.

Jaula – Armadura (*Cage*): Malla de varillas de acero de refuerzo interconectadas.

Pasta (*Cake*): Véase Residuo sólido (*Filter Cake*).

cc: Centímetros cúbicos. Unidad métrica de volumen.

Cemento-bentonita (*Cement Bentonite*): Mezcla de baja resistencia de cemento, bentonita y agua, la cual endurece con el tiempo.

Lechada de cemento (*Cement Grout*): Mezcla de alta resistencia de cemento y agua, la cual endurece con el tiempo.

Barretón (Trépano) (*Chisel*): Herramienta pesada de acero usada para reblandecer o fracturar roca u obstrucciones.

Cucharón de almeja (*Clamshell Bucket*): Cucharón mecánico operado con dos cables desde una grúa o perforadora. En algunos casos se puede usar gatos hidráulicos en otros tipos de cucharones. La rezaga se extrae del cucharón al mecerlo de un lado a otro de la zanja y liberando los cables de cierre del cucharón.

Inyección química (*Chemical Grout*): Mezcla de compuestos químicos que se vuelve más viscosa y/o endurece al paso del tiempo.

Perforadora de cable (*Churn Drill*): Máquina perforadora de pluma fina que levanta y deja caer un barretón usado para excavación en roca.

Especificación cerrada (*Closed Specification*): Especificación que describe el producto final y la forma en que se va a lograr. Generalmente se aplica a muros permanentes.

Ataguía (*Cofferdam*): Sistema de soporte de excavaciones. Generalmente se usa para evitar la entrada de agua.

Junta fría (*Cold Joint*): Discontinuidad en el concreto causada por una interrupción en la colocación de concreto con sistema Tremie.

Cubierta de concreto (*Concrete cover*): Distancia entre la superficie más cercana de la varilla de refuerzo a la cara de la superficie del muro. Recubrimiento.

Tablero consecutivo (*Consecutive Panel*): Tablero colado con uno de sus extremos en contacto con un tablero colado previamente.

Tablero en esquina (*Corner Panel*): Tablero no lineal en planta usado para tratar un cambio en dirección del muro.

Tablero convencional (*Conventional Panel*): Tablero colado con uno o dos topes terminales a excepción de tableros SPTC y precolados.

Pantalla impermeable (*Cutoff Wall*): Muro no estructural usado para evitar el paso del agua.

Ciclón (*Cyclone*): Dispositivo centrifugador usado para remover partículas finas de suelo suspendidas en el lodo bentonítico.

D

Desarenador (*Desander*): Dispositivo usado para remover las partículas de arena y limo suspendidas en el lodo bentonítico.

Plano de diseño (*Design Drawing*): Plano preparado para mostrar la intención del trabajo. El plano no está lo suficientemente detallado como para usarse en construcción.

Muro diafragma (*Diaphragm Wall*): Véase Muro pantalla.

Equipo de perforación de circulación directa (*Direct Circulation Drill*): Barretón de vástago hueco con arreglo para aplicación de lodo bentonítico a presión en el cabezal de la broca con el fin de remover la rezaga de excavación.

Espiga, pasajuntas, dovela (*Dowel*): Varilla de acero de refuerzo que sobresale de la parte superior o de la cara del muro pretendida como conexión al refuerzo o al concreto en una etapa posterior.

Trinchera de drenaje (*Drainage Chase*): Espacio dejado entre el muro pantalla y el muro terminado interior para recolectar las filtraciones a través del muro pantalla.

E

Tubería terminal, tubo junta (*End Pipe*): Véase Tapón terminal.

Tapón terminal (*End Stop*): Tubo redondo o dispositivo de forma especial colocado en el extremo de la excavación de un tablero antes del colado del concreto y que se extrae de la zanja antes de que el concreto fragüe, con lo cual se logra una superficie lisa en los extremos del tablero.

Extractor del tapón terminal (*End Stop Extractor*): Dispositivo para extraer el tapón terminal una vez que el concreto haya alcanzado su fraguado inicial.

F

Residuo sólido (*Filter Cake*): Capa delgada de gel de bentonita hidratado que se forma en el contacto con el suelo de la excavación.

Filtro-prensa (*Filter Press*): Dispositivo usado para medir la filtración y la formación del residuo sólido en el lodo bentonítico.

Pérdida del filtrado (*Filtrate Loss*): Pérdida de agua del lodo bentonítico al presionarse contra un filtro.

Floculación (*Flocculation*): Condición en la que las partículas dispersas de arcilla forman aglomerados o grumos.

G

Tapón Movible (*Go Devil*): Dispositivo colocado en el tubo tremie antes del vaciado del concreto dentro del tubo. La intención del dispositivo es evitar que el concreto se mezcle con el lodo bentonítico durante el colado inicial del concreto.

Lechada (*Grout*): Mezcla de cemento y agua o arena y productos químicos que se usa para llenar los huecos. Está formulada generalmente para bombearse a presión.

Gel (*Gel*): Suspensión coloidal semirrígida de un sólido en un líquido.

Muros guía (*Guide Walls*): Muros poco profundos de concreto colocados a cada lado del alineamiento del muro pantalla para proporcionar control del alineamiento vertical y horizontal de la excavación y apoyo posterior de la jaula de acero de refuerzo y/o de otros elementos que se vaya a colocar dentro de la zanja.

H

Cucharón de almeja hidráulico (*Hydraulic Clamshell Bucket*): Cucharón para excavación operado hidráulicamente.

Hidrofresa (*Hydromill excavator*): Equipo de perforación/molienda de circulación inversa operado por motores hidráulicos que hacen girar las ruedas cortadoras sobre un eje horizontal. La rezaga se elimina mediante una bomba sumergible dentro del armazón de la máquina.

Hydrofraise: Véase hidrofresa.

I

Inserto (*Insert*): Cualquier dispositivo que se vaya a empotrar permanentemente en el muro.

Instrumentación (*Instrumentation*): Cualquier dispositivo pretendido para medir el comportamiento del muro.

Larguero interno (*Internal Waler*): Acero de refuerzo empotrado en el muro para proporcionar resistencia a la flexión entre puntos del apoyo lateral.

J

Junta (*Joint*): Discontinuidad entre tableros formados generalmente por tapones terminales o perfiles estructurales empotrados.

K

Barra Kelly (*Kelly-Bar*): Vástago vertical usado para transferir el par de torsión de un motor a una perforadora tipo rotatoria, o para subir y bajar un cucharón de almeja.

Reservación o Acometida (*Key*): Una hendidura en el muro usada para recibir un muro o una losa de piso.

L

Nata (*Laitance*): Concreto contaminado que se forma en la parte superior del concreto tremie como resultado del mezclado del concreto y del lodo bentonítico.

Concreto pobre (*Lean concrete*): Concreto de baja resistencia usado generalmente como relleno en situaciones donde el material se va a remover posteriormente.

Eslinga de izado (*Lifting Sling*): Dispositivo a base de cable que se usa para izar las jaulas del acero de refuerzo con distorsión mínima.

Muro de revestimiento (*Liner Wall*): Muro de acabado interior que se coloca en contacto con el muro pantalla o separado de éste.

Elemento de apoyo (*Load Bearing Element*): Elemento construido con diversas configuraciones en planta para usarse primordialmente como soporte de cargas verticales.

M

Obstrucción artificial (*Man-made Obstruction*): Cualquier objeto bajo tierra hecho por el hombre como puede ser concreto, madera, cascajo, instalaciones de servicio público abandonadas, que no se pueden fácilmente remover con el cucharón de almeja. Para su extracción se necesitan barretones, garra con mordazas o el empleo de dispositivos mecánicos especiales.

Cono Marsh: Véase Embudo Marsh.

Embudo Marsh (*Marsh Funnel*): Embudo en forma de cono usado para medir indirectamente la viscosidad del lodo bentonítico al cronometrar el tiempo de recorrido de un litro de lodo a través de una abertura de tamaño especificado.

Método Milán (*Milan Method*): Véase el método *Top Down*.

Máquina fresadora (*Milling Machine*): Dispositivo rotatorio para fresado de circulación inversa que se usa para excavar terreno duro o roca blanda. Véase Excavador de hidrofresa.

Planta de mezclado (*Mixing Plant*): Combinación de dispositivos mecánicos usados para mezclar, almacenar, limpiar y/o distribuir el lodo bentonítico.

Montmorilonita (*Montmorillonite*): Principal grupo de minerales arcillosos. Silicato de aluminio hidratado caracterizado por una estructura cristalina de capas o láminas delgadas.

Balanza de lodos (*Mud Balance*): Báscula que se usa para medir el peso volumétrico o la densidad de sólidos del lodo.

O

Sobreexcavación (*Overbreak*): Diferencia entre la cantidad real de concreto colocada y el volumen teórico neto. Se expresa generalmente como porcentaje.

Colado en exceso (*Over-pour)*: Cantidad adicional de concreto colocado en un tablero con respecto al volumen teórico del tablero.

P

Tablero o Panel (*Panel*): Sección de un muro pantalla que se cuela como una sola unidad. El tablero puede ser lineal, en forma de T, en forma de L o con alguna otra configuración en planta.

pcf: Libras por pulgada cuadrada. Unidad inglesa de presión.

Camisa de tubería, manguito (*Pipe Sleeve*): Inserto en el muro para permitir el paso de un tubo a través del mismo.

Extractor de tubería (*Pipe Extractor*): Véase Extractor del tapón terminal.

pH: Medición de la alcalinidad o acidez de un líquido usando una escala numérica con el valor de 7.0 como neutral, menor de 7.0 indicando acidez y mayor de 7.0 indicando alcalinidad.

Concreto plástico (*Plastic Concrete*): Concreto fabricado con cemento, bentonita, agregados, aditivos y agua con el fin de lograr una resistencia mínima, un bajo módulo de elasticidad y una alta deformación antes de la falla.

Viga rebajada (*Pony Beam*): Viga de larguero rebajada que se coloca a través de una junta entre tableros con la finalidad de soportar dos tableros desde un punto del apoyo lateral.

Placa de puercoespín (Porcupine Plate): Placa de acero con numerosos pernos, flejes o barras de acero soldadas a la misma para embeberse en el muro y proporcionar capacidad de cortante o a la tensión a una cierta conexión con el muro.

Muro postensado (*Post-tensioned Wall*): Muro que deriva su resistencia primordialmente por la aplicación de una fuerza longitudinal de compresión por medio del tensado de torones embebidos en el muro luego del endurecimiento del concreto.

Muro precolado o prefabricado (*Precast Wall*): Muro construido mediante la inserción y colocación de tableros de concreto precolados dentro de un lodo que se auto endurece.

Precarga (*Preload*): Aplicación al muro de toda o una parte de una carga predeterminada de apuntalamiento o anclaje.

Pre-esfuerzo (*Pre-stress*): Véase Precarga.

Tablero principal (*Primary Panel*): Tablero construido a base de dispositivos de formación de bordes en ambos extremos.

psi: Libras sobre pulgada cuadrada. Unidad inglesa de presión.

R

Puntal inclinado (*Raker*): Puntal, Trabesaño o codal inclinado para proporcionar soporte lateral a un muro mediante la transferencia de fuerzas contra una zapata o cualquier otro elemento estructural dentro de la excavación.

Muro de concreto reforzado (*Reinforced Concrete Wall*): Muro cuya resistencia principal se deriva de una jaula de acero de refuerzo.

Refuerzo (*Reinforcement*): Adición de acero al concreto para proporcionar resistencia a la tensión o a la flexión.

Circulación inversa (*Reverse Circulation*): Método para extraer la rezaga de excavación mediante elevador neumático o bombeo con tubería.

Perforadora de circulación inversa (*Reverse Circulation Drill*): Barretón de vástago hueco con posibilidad de hacer subir por el interior del barretón el lodo bentonítico y los recortes de perforación durante el accionamiento del mismo.

Perforadora rotatoria (*Rotary Drill*): Dispositivo rotatorio para moler y cortar que se usa principalmente para fracturar o reblandecer la roca.

S

Cono de arena (*Sand Cone*): Dispositivo calibrado que se usa para medir el porcentaje de arena en volumen que está suspendido en el lodo.

Contenido de arena (*Sand Content*): Porcentaje de arena en volumen suspendido en el lodo.

Tablero secundario (*Secondary Panel*): Tablero colado contra tableros previamente colados con concreto.

Tubería de resalto (*Shoulder Pipe*): Véase Tubería terminal.

Plano de construcción (Shop Drawing): Plano detallado que amplía la información contenida en los planos de diseño. La obra se puede construir a partir de este plano.

Concreto lanzado (*Shotcrete*): Mezcla de cemento, agregados, aditivos y agua que se aplica bajo presión mediante un sistema de rociado.

Tubo indicador de inclinación (*Slope Indicator Tube*): Dispositivo de tubería instalado verticalmente sobre el muro o en el terreno adyacente que se usa para guiar un dispositivo medidor de la inclinación (inclinómetro) que mide el desplazamiento del muro o del terreno.

Revenimiento (Slump): Medida de la trabajabilidad del concreto fresco.

Lodo (*Slurry*): Mezcla de agua y arcilla (bentonita o arcilla mineral) o polímero en una suspensión coloidal.

Especialista en lodos (Slurry Specialist): Persona capacitada y con experiencia en el mezclado, limpieza y aplicación de los lodos bentoníticos así como en todas las operaciones necesarias para construir adecuadamente un muro pantalla.

Zanja de lodos (*Slurry Trench*): Excavación llena de lodo bentonítico. También, una zanja rellenada con suelos "impermeables" mezclados o con cemento-bentonita.

Muro pantalla (*Slurry Wall*): Muro de concreto construido bajo tierra usando lodo para estabilizar las paredes de la excavación.

Receptáculo (*Socket*): Empotramiento en el muro dentro de un estrato resistente y/o impermeable.

Viga montante o pie-derecho (*Soldier Beam*): Viga de acero o sección de pilote instalada verticalmente dentro del muro para funcionar como dispositivo de tapón terminal o como refuerzo estructural de un tablero. También se conoce como "pilote montante" (*Soldier Pile*).

Viga montante y tablero de concreto colado con Tremie (*Soldier Beam and Tremie Concrete Panel*): Cierto tipo de tablero reforzado con secciones de vigas instaladas verticalmente dentro del muro. También se le conoce como tablero de muro tipo "SPTC" (por sus siglas en inglés).

Separador (*Spacer*): Dispositivo fijado a la cara de una armadura para centrarla dentro de la excavación y proporcionar el recubrimiento de concreto necesario.

Gravedad específica (*Specific Gravity*): Relación entre el peso de un volumen unitario de lodo bentonítico y un volumen unitario de agua.

Fluido estabilizador (*Stabilizing Fluid*): Lodo usado para estabilizar las paredes de una zanja excavada con lodos.

Muros de arranque (*Starter Walls*): Véase Muros guía.

Muro de concreto encofrado con vigas de acero (*Steel Beam and Concrete Lagging Wall*): Muro cuya resistencia principal se deriva de vigas de acero verticales en los extremos del tablero, las cuales sirven como topes extremos y dispositivos de estancamiento. También se conoce como muro de tablero SPTC (por sus siglas en inglés).

Junta tope extrema (*Stop End Joint*): Véase Tubería terminal.

Puntal (*Strut*): Véase Trabesaño.

Muro provisional (*Temporary Wall*): Muro usado principalmente como elemento de retención de suelo y agua durante la construcción y que no se utiliza en la construcción permanente.

Tixotropía (*Thixotropy*): Propiedad exhibida por un gel de lodo que se vuelve viscoso al alterarse y pierde viscosidad cuando se revuelve o se agita.

Anclaje (*Tieback*): Tirante usada como soporte lateral de un tablero de muro pantalla.

Camisa de anclaje (*Tieback Sleeve*): Véase Trompeta de anclaje.

Trompeta de anclaje: (*Tieback Trumpet*): Dispositivo embebido en el muro para permitir la instalación de un anclaje a través del muro y para transferir la carga del anclajeal muro.

Tolerancia (*Tolerance*): Variación permitida en la ubicación de diseño del muro.

Método Top-Down (*Top-down Method*): Método para construir una estructura del piso hacia abajo, colando el techo y/o las losas de piso de la estructura en etapas a medida que la excavación avanza por debajo de las losas. Las losas proporcionan apoyo lateral tanto temporal como permanente para el muro.

Método Tremie (Tremie Method): Recurre al desplazamiento de un fluido vaciando el concreto a través de una o más tuberías cuyo extremo se mantiene dentro del concreto fresco de tal manera que el concreto al ascender desde el fondo desplaza el fluido sin lavar el contenido de cemento.

Tubería Tremie (*Tremie Pipe*): Tubería a través de la cual se vierte el concreto Tremie hasta el fondo del tablero llenado con lodo.

Tapón Tremie (*Tremie Plug*): Dispositivo colocado en la parte inferior de la tubería Tremie con el fin de minimizar el mezclado de concreto con el lodo al inicio de la operación de colado del concreto.

Cortador de zanjas: Véase Excavador de hidrofresa.

U

Método Bajo el Techo (*Under the Roof Method*): Véase Método Top-Down.

Método Up-Down (*Updown Method*): Uso del método Top-Down para excavar el sótano y al mismo tiempo construir la superestructura.

V

Viscosidad (*Viscosity*): Medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un líquido.

W

Larguero (*Wale*): Miembro estructural que se instala en el paramento del muro para transferir cargas del muro a los puntales.

Relación agua – materiales cementantes (*Water to Cementitious Materials Ratio*): La relación entre el peso del agua de mezclado y el peso de los elementos cementantes (cemento y ceniza volante).

Muro impermeable (*Watertight Wall*): Muro que exhibe una superficie libre de escurrimientos de agua. Manchas de humedad o perlas de agua (como las gotas de sudor) pueden ser evidentes, pero el flujo libre de agua no está presente a lo largo de la superficie del muro.

PARTE IV FIGURAS

Figura 1 – Clasificación de tableros

Figura 2 – Configuraciones de tableros para muros pantalla

Figura 3 – Tipos de juntas entre tableros

Figura 4 – Tipos de cucharones de almeja

Figura 5 – Operaciones para la excavación bajo lodo

Figura 6 – Limpieza con unidad separadora de arena

Figura 7 – Etapas de la construcción de muros pantalla

Figura 8 – Forma de reporte de inspección de muros pantalla

Figura 9 – Forma de reporte de pruebas del lodo de perforación

Figura 10 – Forma de reporte de inspección del concreto Tremie

Figura 11 – Principales tipos de construcción de muros pantalla y sus aplicaciones

Figura 12 – Construcción típica de muros guía

Figura 13 – Muro guía construido en una zanja preparada

Figura 14 – Tolerancias para muros pantalla

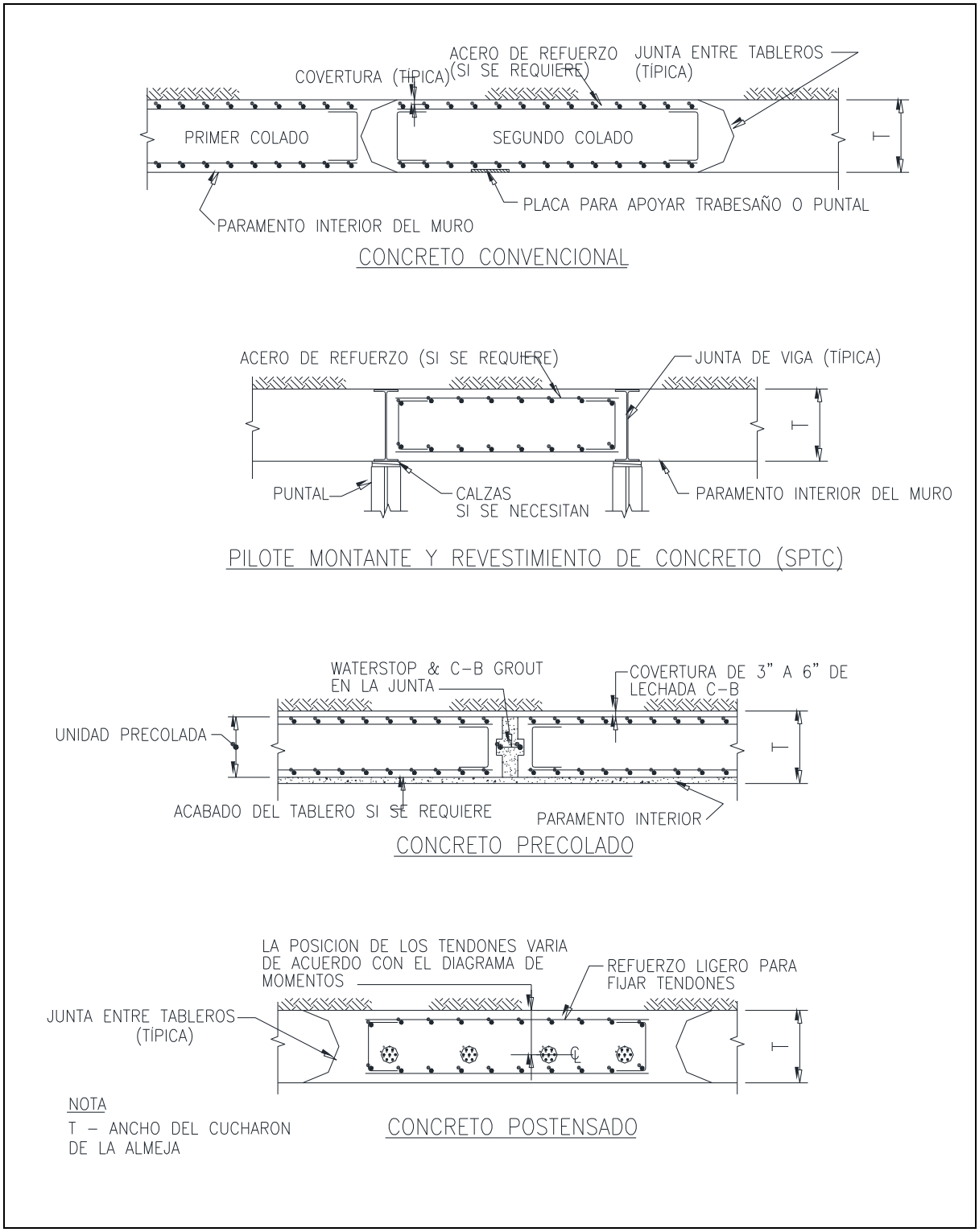


Figura 1 – Clasificación de tableros

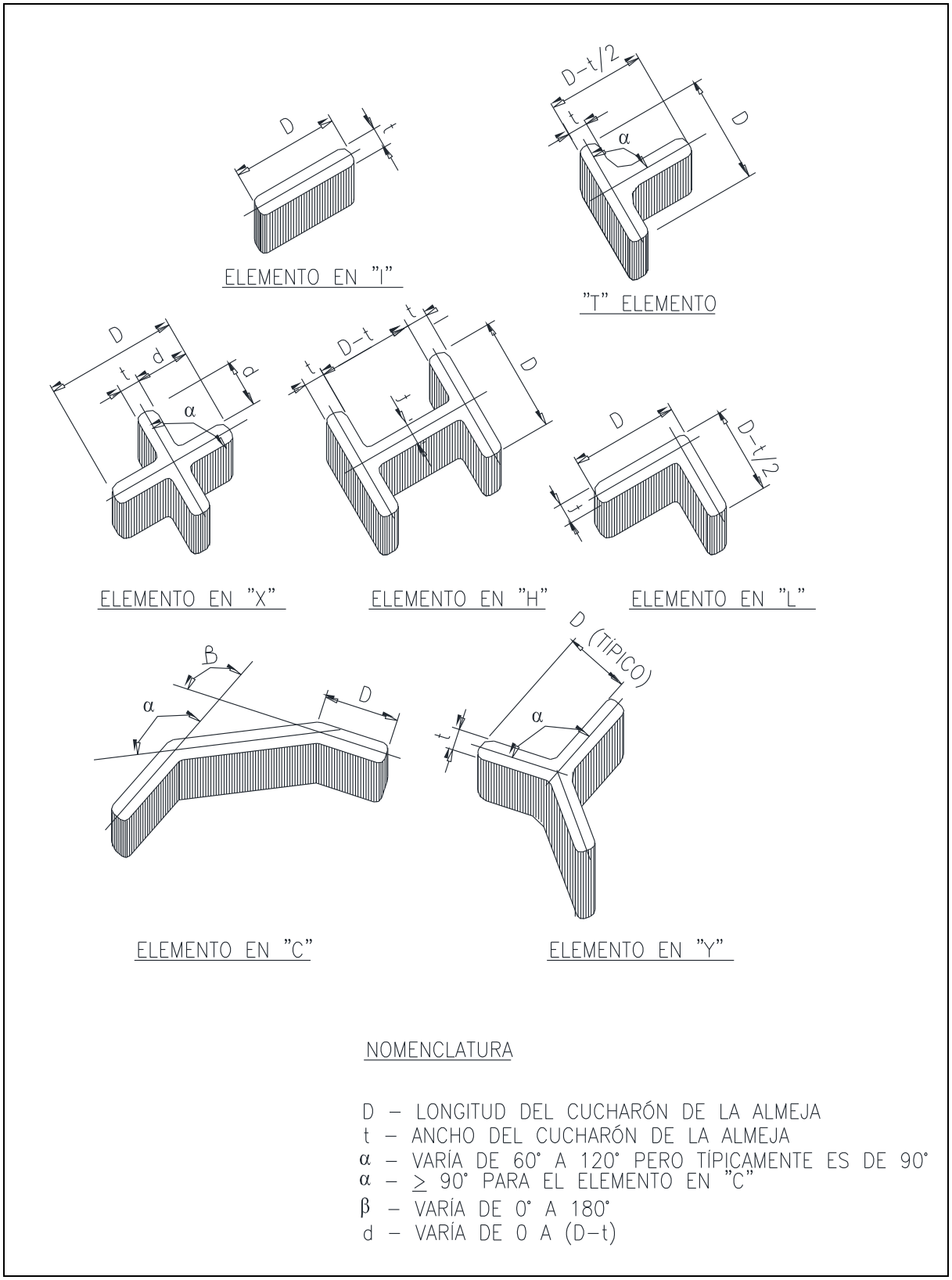


Figura 2 – Configuraciones de tableros para muros pantalla

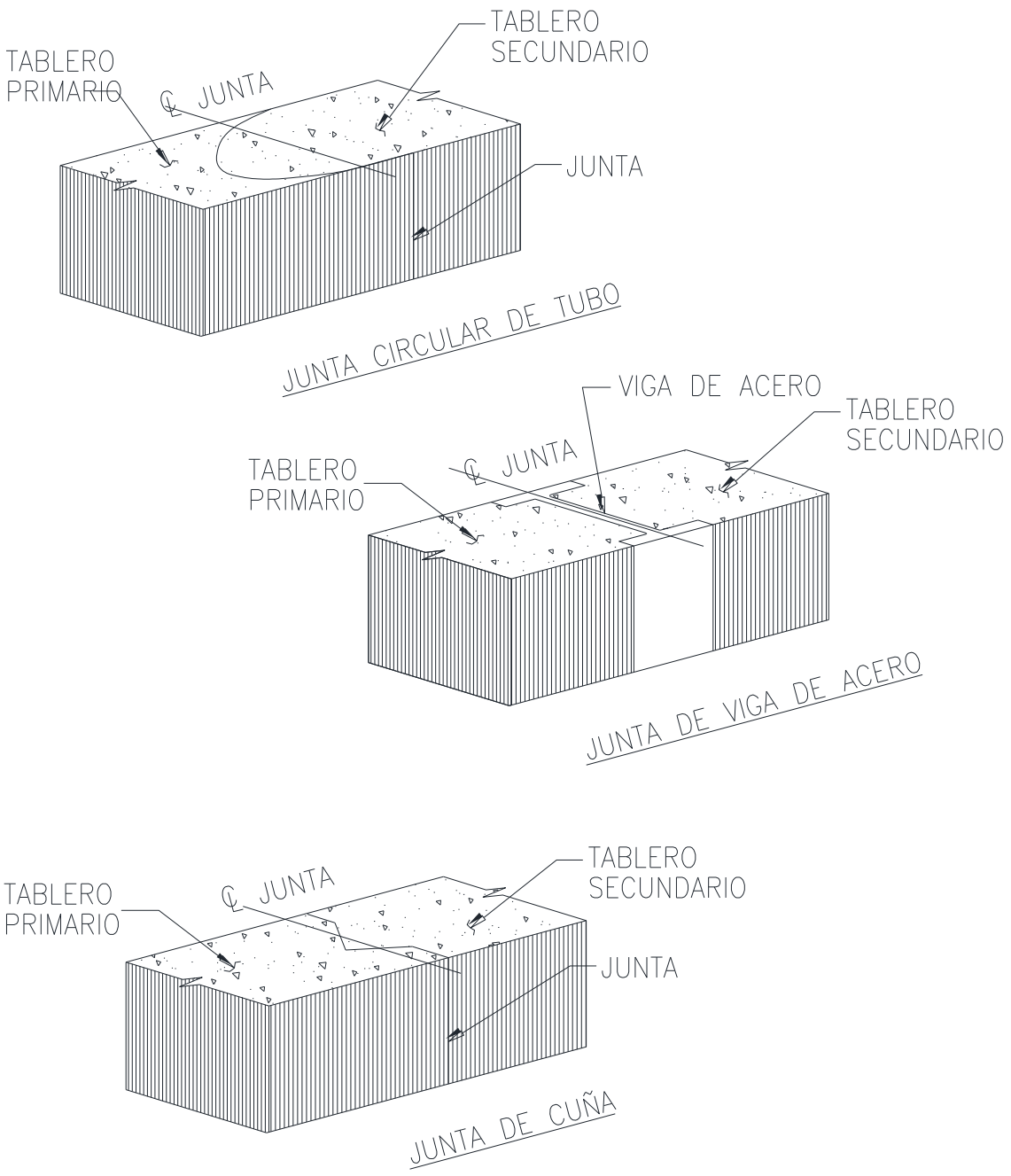


Figura 3 – Tipos de juntas entre tableros

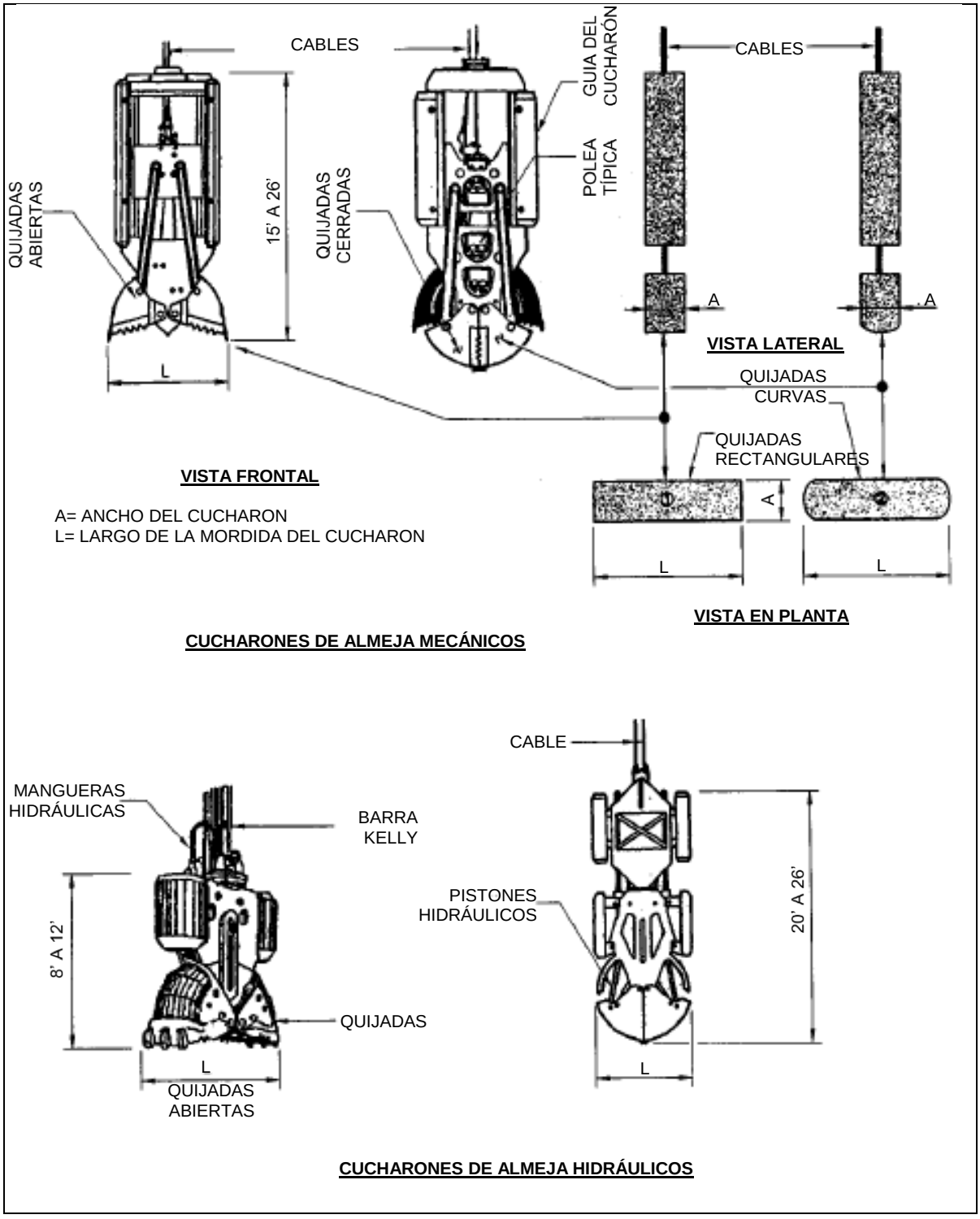


Figura 4 – Tipos de cucharones de almeja

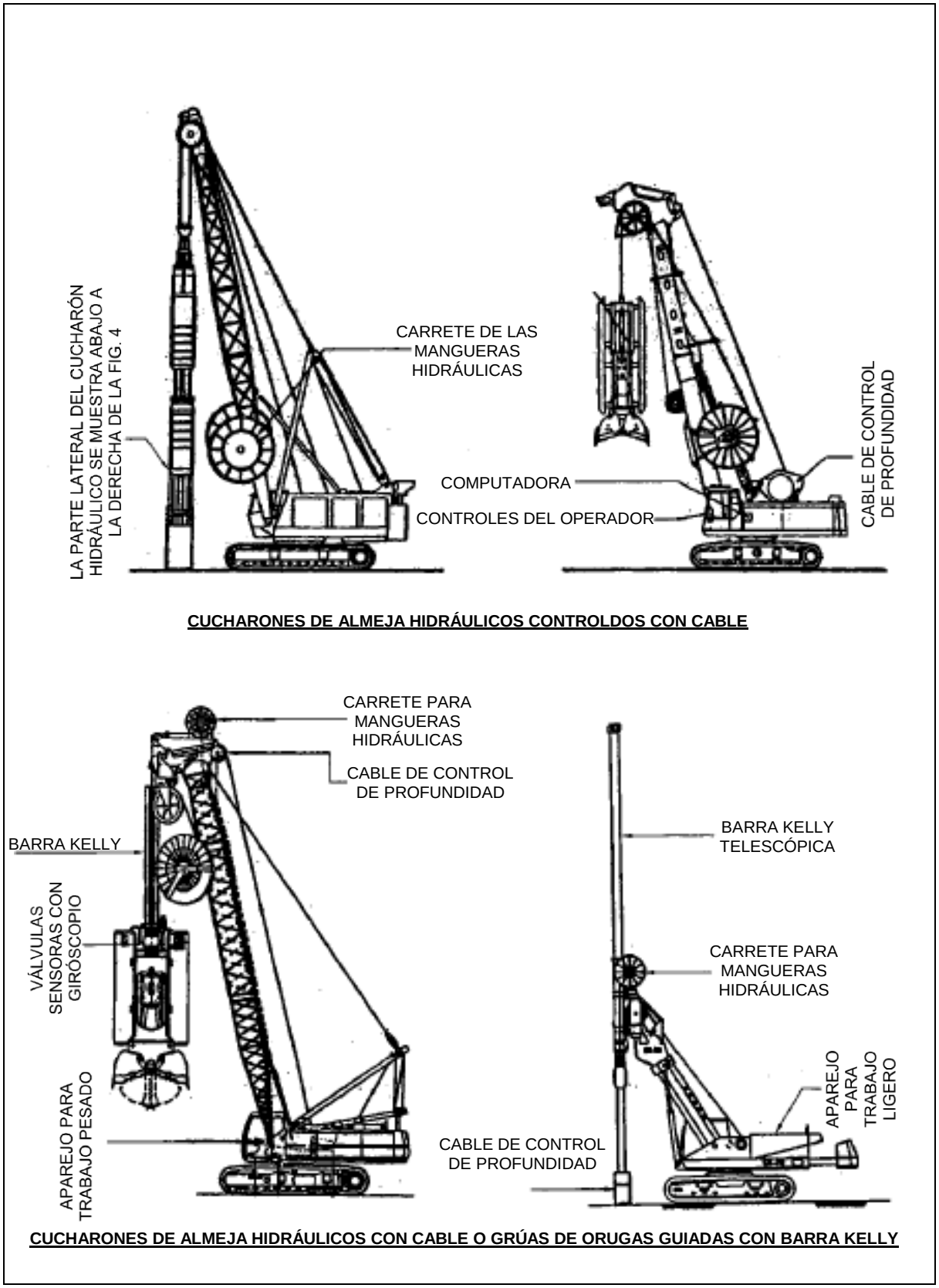


Figura 5 – Operaciones para la excavación bajo lodo

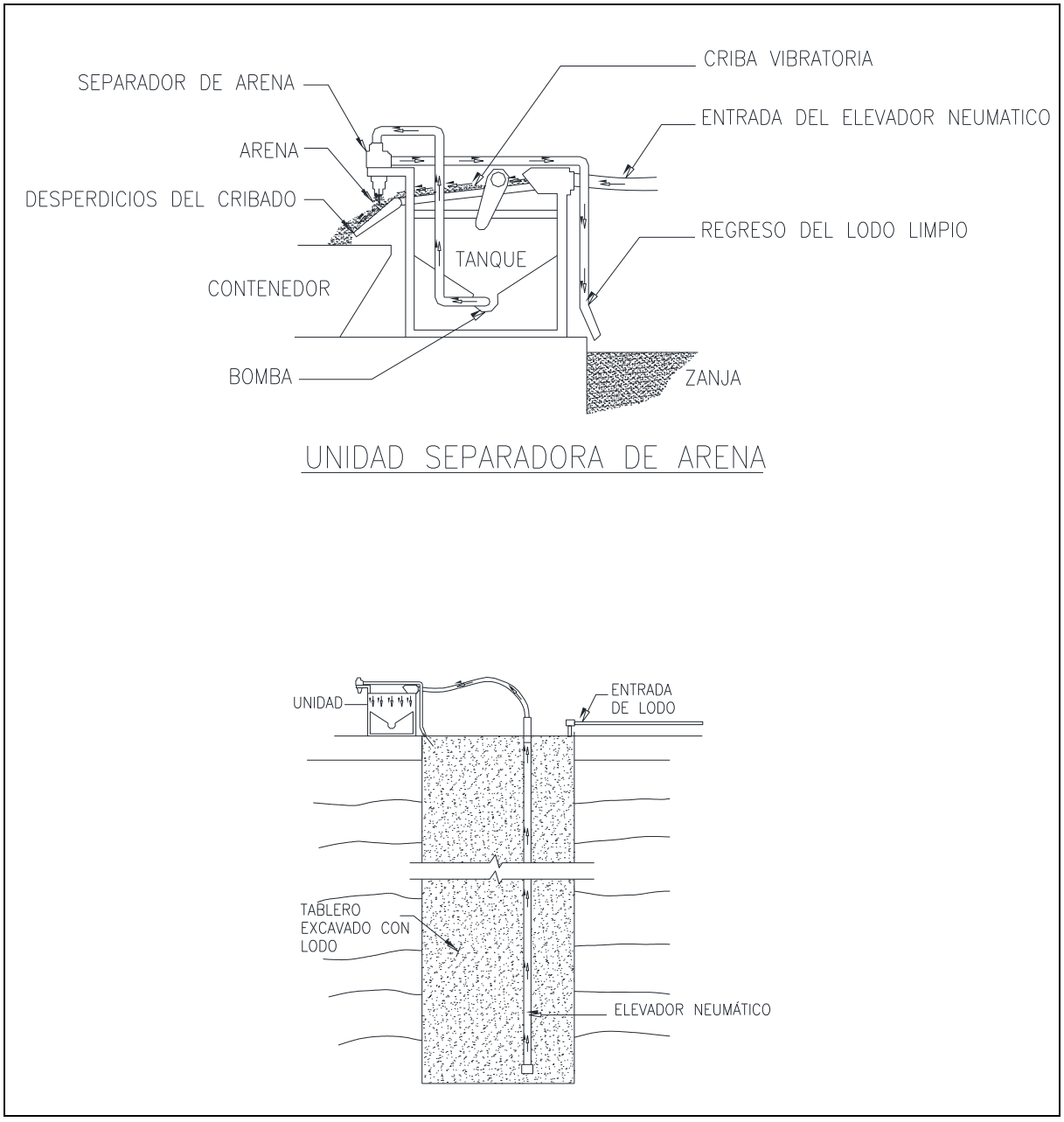


Figura 6 – Limpieza con unidad separadora de arena

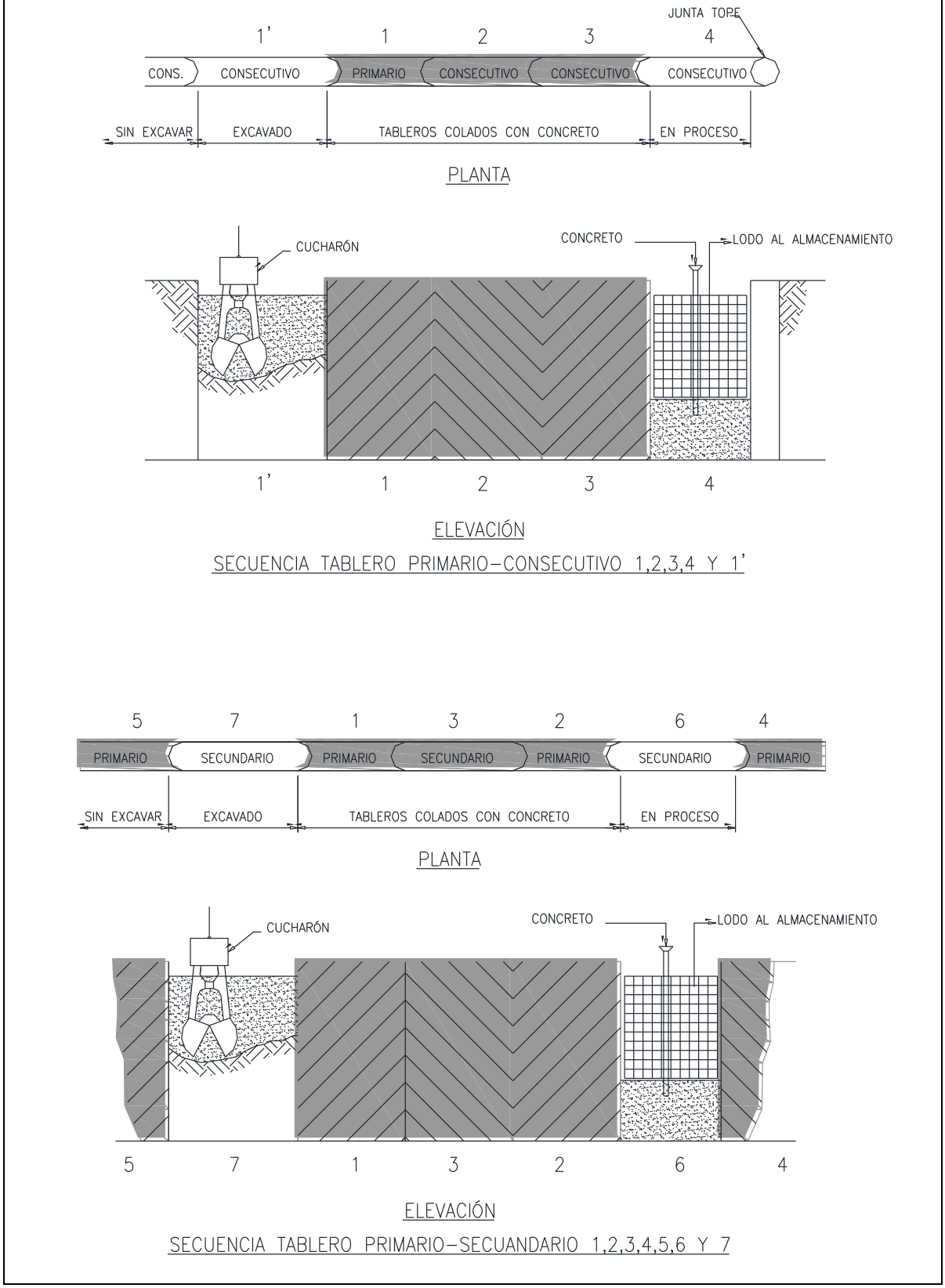


Figura 7 – Etapas de la construcción de muros pantalla

REPORTE DE INSPECCION DE MURO PANTALLA

PROYECTO: _____ TABLERO: _____
FECHA: _____

PARTE SUPERIOR DEL MURO

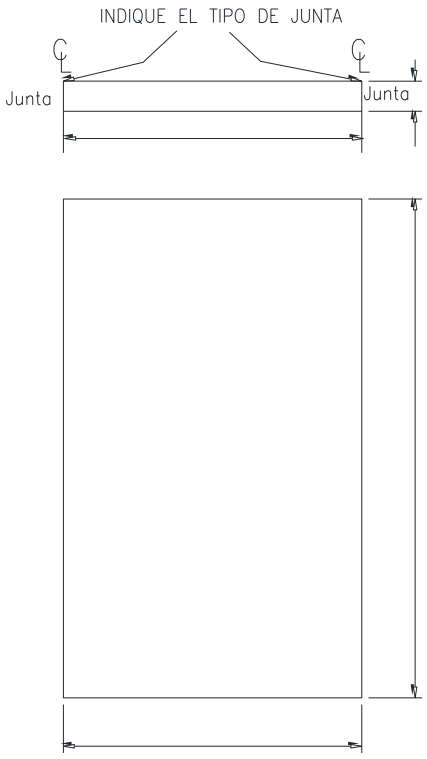
ELEVACION TEORICA _____

ELEVACION REAL _____

ELEVACION DE LOS MUROS GUÍA _____

ÁREA TEÓRICA _____

ÁREA REAL _____



DESCRIPCION DE LOS SUELOS

LISTA DE VERIFICACION DE LA INSPECCIÓN

ANTES DE VACIAR EL CONCRETO PONGA SUS INICIALES EN LOS TRES CONCEPTOS SIGUIENTES

1- INSERTOS DE REFUERZO, ETC. REVISADOS POR: _____

2- PRUEBAS DE LODO REVISADAS POR: _____

3- ELEVACIÓN DEL FONDO REVISADA POR: _____

PARTE INFERIOR DEL MURO

ELVACIÓN TEORICA _____ TIPO DE CUÑA _____

ELEVACIÓN REAL _____ LIMPIADO POR _____

EXCAVACION DE _____ A _____ VOL. DE EXCAVACIÓN _____

FECHA DE COLADO DEL CONCRETO _____

VOLUMEN TEORICO _____ VOLUMEN REAL _____

DIFERENCIA DE VOLUMENES _____

PESO DEL ACERO DE REFUERZO _____

OBSERVACIONES _____

PREPARADO POR: _____ FECHA: _____

NOTA: DIBUJE ESQUEMATICAMENTE LA UBICACIÓN DE TODAS LAS RETENIDAS, RIOSTRAS O INSERTOS.

Figura 8 – Formato de reporte de inspección de muros pantalla

INFORME DE INSPECCION DE CAMPO **PRUEBAS DE LODOS (API-RP13B)**

PROYECTO _____ FECHA _____

UBICACIÓN _____

TABLERO No. _____

1) DENSIDAD ESPECIFICADA MIN. MAX.

PRUEBA No. _____ ELEV. MEDIDA _____ DENSIDAD _____ gr/cm3
_____ PRUEBA DE EQUILIBRIO DE LODO _____ gr/cm3
_____ SECCIÓN 1 _____ gr/cm3

2) VISCOSIDAD ESPECIFICADA MIN. seg. MAX. seg.

PRUEBA No. _____ ELEV. MEDIDA _____ TIEMPO _____ seg.
_____ CONO MARSH _____ seg.
_____ SECCIÓN 2 _____ seg.

3) FILTRACIÓN ESPECIFICADA MIN. seg. MAX. cm^3

PRUEBA No. _____ ELEV. MEDIDA _____ VOLUMEN _____ cm^3
_____ SECCIÓN 3 _____
_____ ESPESOR RESIDUO SOLIDO _____

4) CONTENIDO DE ARENA ESPECIFICADO MAX. % CONTENIDO

PRUEBA No. _____ ELEVACIÓN MEDIDA _____ % DE ARENA _____
_____ SECCIÓN 4 _____

5) PRUEBA DE pH MÉTODO COLORIMÉTRICO pH MIN. pH MAX.

PRUEBA No. _____ pH COLOR DE LA TIRA
_____ SECCIÓN 5 pH

OBSERVACIONES: _____

PREPARADO POR: _____ FECHA: _____

Figura 9 – Formato de reporte de pruebas del lodo de perforación

INSPECCION DEL COLADO CON TUBERIA TREMIE

TABLERO No. _____

Página _____ de _____

Fecha _____

Proveedor: _____ Resistencia: _____ kg/cm2 _____ días

Nombre del proyecto: _____ Mezcla No. _____ Cilindros: _____ por _____ m^3

Tecnico: _____ Aditivo: _____ Prueba: _____ 7 días _____ 28 dís _____ otro

Clima: _____ Convencional: ☐ Curado en el campo a _____ días

Especial ☐ Colocación: ☐ Bomba ☐ Camión ☐ Cubeta ☐ Otro

No. Camion	No. Remisión	Volumen	Agua agregada	Tiempo del camión			Peso Volumetrico	Aire %	Revenimiento cm	Temperatura (°C)		No. de cilindros	Observaciones y lugar de colado (use nivel y ejes de columnas)		
				Lote	Llegada	Termino				Concreto	Aire				

CONDICIONES DE CURADO

☐ Caja de curado No. _____ Temperatura Máxima _____

☐ Trailer

☐ Exterior Temperatura Minima _____

Figura 10 – Reporte de inspección de colado con tubería Tremie

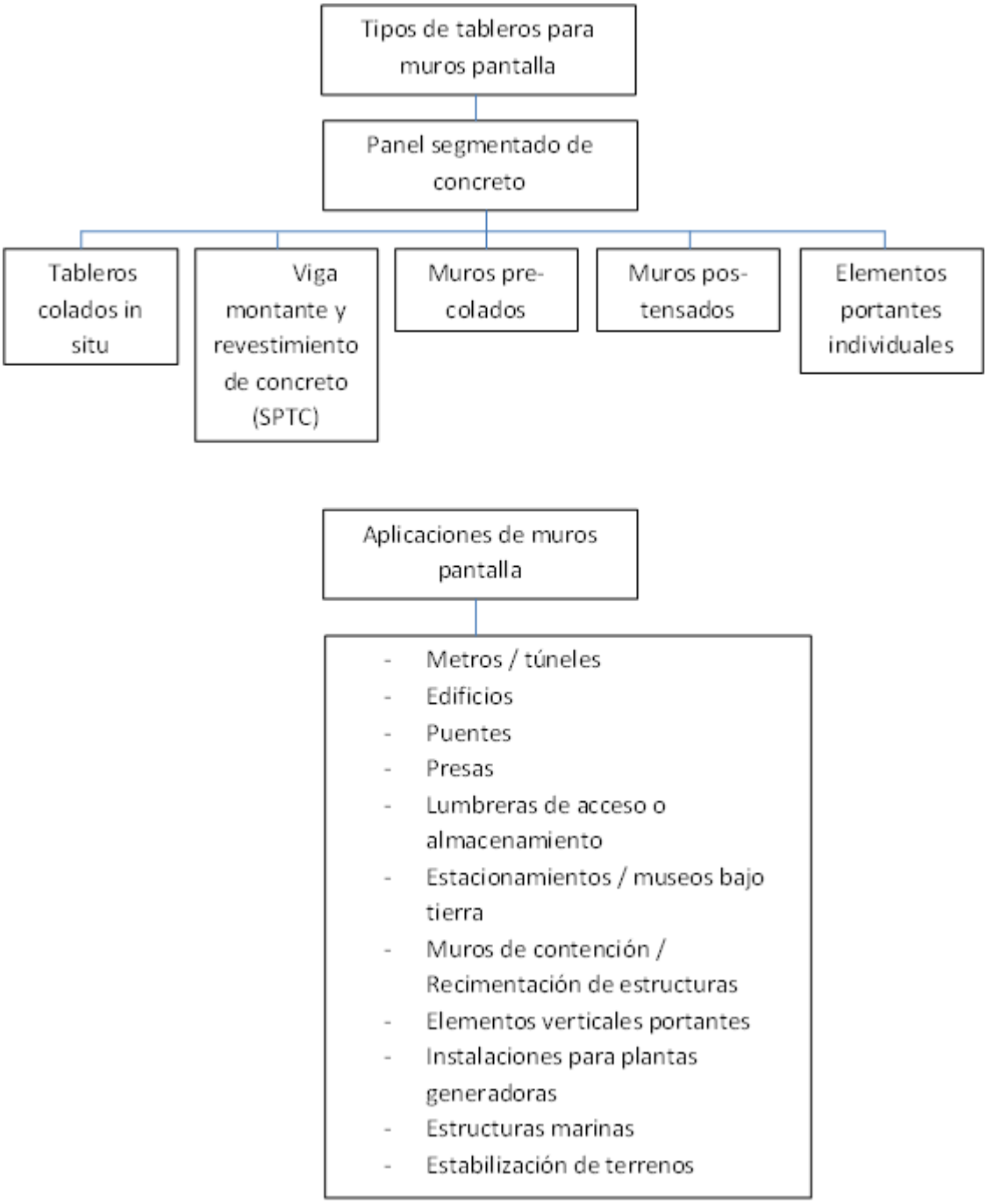


Figura 11 – Principales tipos de construcción de muros pantalla y sus aplicaciones

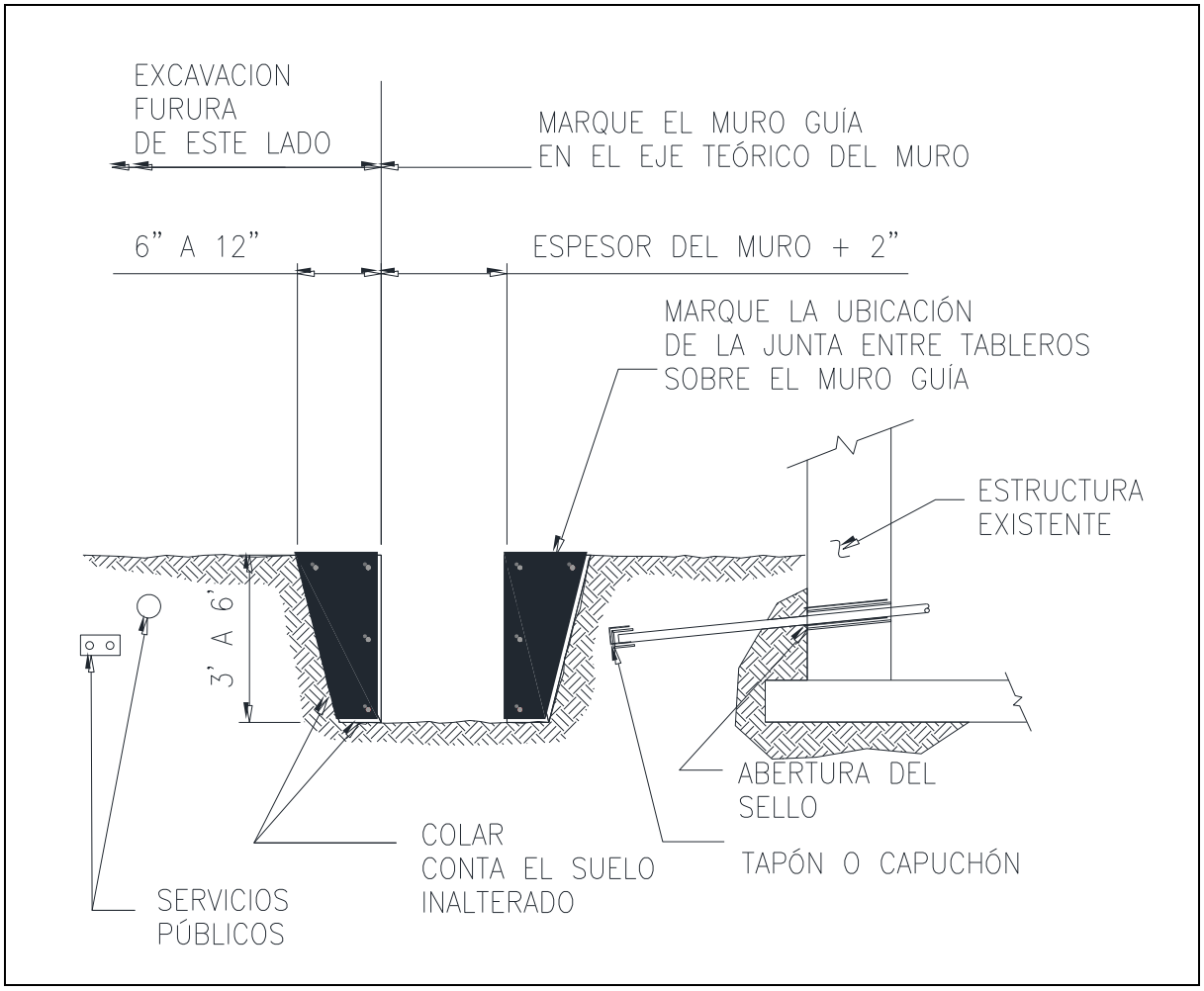


Figura 12 – Construcción típica de muros guía o brocal

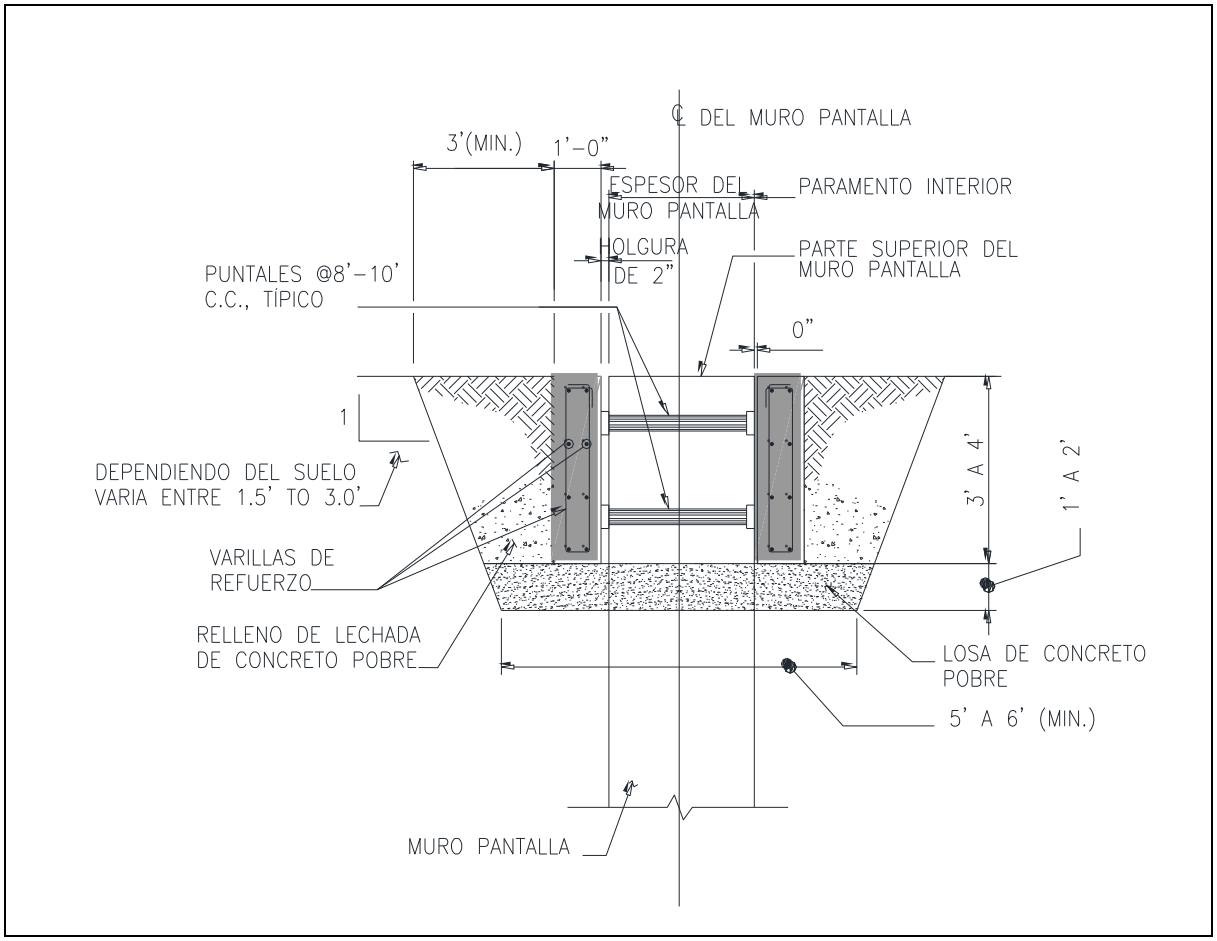


Figura 13 – Muro guía o brocal, construido en una zanja preparada

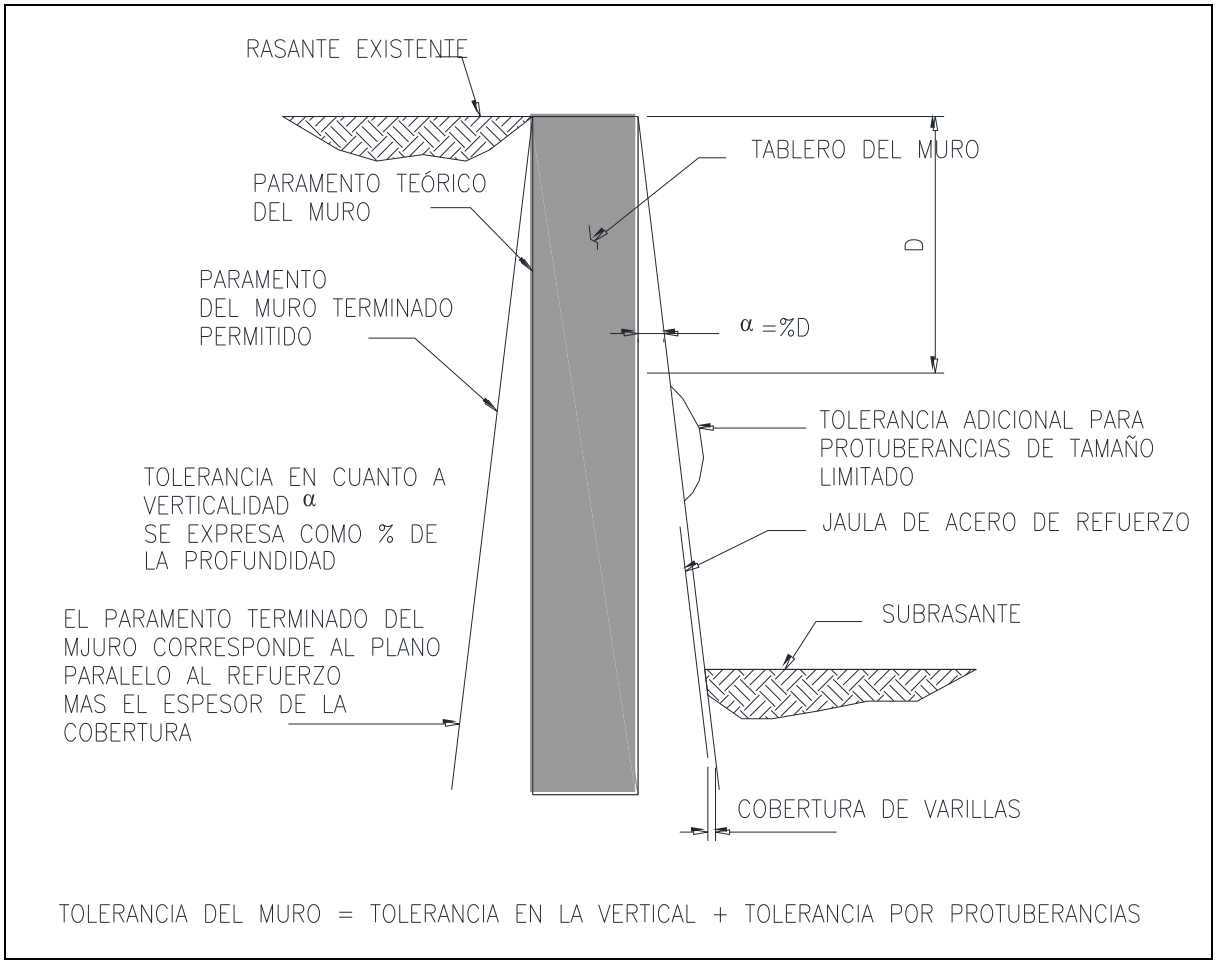


Figura 14 – Tolerancias para muros pantalla

PARTE V INFORMACIÓN ADICIONAL

REFERENCIAS

1 Ressi di Cervia, A.L.,*"History of Slurry Wall Construction"*, Slurry Walls: Design, Construction and Quality Control, STP 1129, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1992).

2 Rodio-ltaly, Company publication on geotechnical work experience, AGV-Vicenza-Mondado Group, ltaly (October 1986).

3. Tamaro, G.J.*,"Load Bearing Elements Constructed Using Bentonite Slurry Techniques"*, Notes of the Met Section ASCE Seminar, Foundation Problems in the New York Metropolitan Area (Nov. 3-4, 1987).

4. Hooks, J. M. et al, *"A Report on the Design and Construction of Diaphragm Walls in Western Europe"*, Federal Highway Administration, Washington D.C. (December 1980).

5. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., *"Capitulo 3 – Muros Milán"*, Manual de Construcción Geotecnia l, México D.F. (2002).

6. Edgerton, W. W., *"Site Investigations: a Guide"*, Civil Engineering Magazine, Reston, VA (June 1998).

7. Tamaro, G. J. and Poletto, R.J., *"Slurry Walls - Construction Quality Control"*, Slurry Walls: Design, Construction and Quality Control, ASTM STP 1129, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1992).

8. Rosenvinge, lV T. and Tamaro, G. J., *"Chapter 9: Caissons and Slurry Wall Construction"*, Field Inspection Handbook, ed. D.S. Brock, et al. 2nd ed., McGraw-Hill, New York (1995).

9. Poletto, R. J. and Good, D. R., *"Slurry Walls and Slurry Trenches- Construction Quality Control"*, International Containment Technology Conference Proceedings, FL (Feb. 9-12, 1997).

10. Puller, M. "The Waterproofness of Structural Diaphragm Walls", Proc. lnstitute of Civil Engineers - Geotechnical Engineering, Great Britain (Jan. 1994).

BIBLIOGRAFIA

1. American Petroleum Institute, "Recommended Practice-Standard Procedure for Field Testing Oil-Based Drilling Fluids", APl 13B-2, Washington DC (1990).

2. American Petroleum Institute, *"Specification for Drilling-Fluid Materials"*, API Specification 13, Washington DC (1990).

3. ASCE, *"Slurry Wall Construction for BART Subway Stations"*, Preprints of the ASCE National Meeting on Structural Engineering, Pittsburgh, PA (1968).

4. ASCE, *"Design and Performance of Earth Retaining Structure"* Special Publication 25, Proceedings of an ASCE Conference, Cornell University. Ithaca, NY (June 1990).

5. Becker, J.M. and Haley, M.X., "Up/Down Construction", Design and Performance of Earth Retaining Structures, Proceedings of Geotechnical Engineering Division, Cornell University, lthaca, NY (1990).

6. Braun, W.M., *"Post-Tensioned Diaphragm Walls in Italy"*, Concrete Construction, New York (April 1972).

7. Boyes, R.G.H. *"Structural and Cut-Off Diaphragm Walls"*, Wiley, New York (1975).

8. British Standards Institute, "Execution of Special Geotechnical Work- Diaphragm Walls", Document 94/106168, London (1994).

9. Canadian Geotechnical Society, "Canadian Foundation Engineering Manual", 2nd ed., Ottawa (1985).

10. Catalano, N., et al. "Post-TensIoned Diaphragm Wall T-Panel for Large Unbraced Excavation Spans", Proceedings of the 19th Annual Conference and Meeting of the Deep Foundation Institute, Boston. MA (October 3-5. 1994).

11. Clough, G.W., Performance of Tied-back Walls, *"Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures"*, Vol.3, Lafayette, lN (1972).

12. Clough, G.W., *"Proceedings of the Shorf Course - Seminar on Analysis and Design of Building Foundation"*, Deep Excavations and Retaining Structures, Bethlehem, PA (1975).

13. Clough, G.W. and Schmidt, B., "Design and Performance of Excavation and Tunnels in Soft Clay", Soft Clay Engineering, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam (1981).

14. Clough, G.W. and Buchignani A.L., *"Slurry Walls in the San Francisco Bay Area"*, ASCE reprint (1981).

15. Cunningham, J.A. and Fernandez, J.I., *"Performance of Two Slurry Wall Systems in Chicago"*, Proceedings of the Specialty Conference on the Performance of Earth and Earth Supported Structures, ASCE (1972).

16. Federal Highway Administration, *"Proceedings from the Symposium on Design and Construction of Slurry Walls as Part of Permanent Structures"*, Washington DC (March 1980).

17. Gill, S. A. "Applications of Slurry Walls in Civil Engineering Projects", ASCE Convention Preprint 3355, Chicago, lL (October 1978).

18. Goldberg, A.T., Jaworski, W., E. and Gordon M.D., Federal Highway Administration Reports FHWA RD-75-128, FHWA-RD-75-129, FHWA-RD-75-130, National Technical Information Service (1976).

19. Huder, J., *"Stability of Bentonite SIurry Trenches with Some Experience in Swiss Practice"*, Proceedings of the Fifth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, Madrid (1972).

20. Institute of Civil Engineers, *"Diaphragm Walls and Anchorages"*, Proceedings of the 1974 Conference of the Institution of Civil Engineers, London (1975).

21. lnstitute of Civil Engineers, *"A Review of Diaphragm Walls, A Discussion of Diaphragm Walls and Anchorages"*, Institution of Civil Engineers, London (1977).

22. Kapp, M.S., *"Slurry Trench Construction for Basement Wall of World Trade Center"*, Civil Engineering, ASCE (1969).

23. Kerr, W. and Tamaro, G.J., *"Diaphragm Walls - Update on Design and Performance"*, Earth Retaining Structures (1988).

24. Kirmani M. and Highfill, S., *"Design and Construction of the Circular Cofferdam for Ventilation Building No. 6 at the Ted Williams Tunnel"*, Civil Engineering Practice, (Spring-Summer 1996).

25. Konstantakos, D.C., *"Measured Performance of Slurry Walls"* M.S. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, MlT, Cambridge, MA (2000).

26. Konstantakos, D.C., Whittle A.J., et al, "Control of Ground Movements for a Multi-level Anchored, Diaphragm Wall during Excavation", Proceedings of the 5th Int. Conference on Case Histories in New York Geotechnical Engineering, (2004).

27. Lambe, T.W., *"Predicted Performance of Braced Excavations"*, Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures, Vol.3, Lafayette, lN (1972).

28. Littlejohn, G.S. and MacFarlane, L.M., *"Case History of Multi-tied Diaphragm Walls"* Proceedings of the Conference on Diaphragm Walls and Anchorages, London (1975).

29. Millet, R.A. and Perez, J.Y., *"Current USA Practice Slurry Wall Specifications"*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE Vol. 107, (Aug. 1981).

30. NAVFAC, *"Design Manual 7.1 - Soil Mechanics"*, Department of Navy, Naval Facilities Engineering Command, Washington, DC (1982).

31. NAVFAC, "Design Manual 7.2 - Foundation and Earth Structures", Department of Navy, Naval Facilities Engineering Command, Washington, DC (1982).

32. O'Rourke, T.D., "Ground Movements Caused by Braced Excavations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE Vol. 107 (1981).

33. Paniagua Espinosa, W., Paniagua, Zavala, W.l. and Valle, J.A., *"Construction of Precast Walls in the Tramo Cola - Garibald Line 8 of the Metro"*, 2nd Symposium of Construction, SMMS, Mexico (1994).

34. Poletto, R.J., *"Slurry Wall Design"*, University of Wisconsin-Milwaukee Seminar on Slurry Walls and Slurry Trenches, Arlington, VA (1999).

35. Rosenberg, P., St. Arnaud, G., et al, *"Design, Construction and Performance of a Slurry Trench Wall next to Faundation"*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 14 (1977).

36. Santarelli, G. and Ratay R.T.*,"Handbook of Temporary Structures in Construction"*, Chapter 9, 2nd ed., McGraw-Hill, New York (1996).

37. Saxena, S.K., *"Measured Performances of a Rigid Concrete Wall at the World Trade Center"*, Proceedings Conference on Diaphragm Walls and Anchorages, Institution of Civil Engineers, London (1974).

38. Sen. K. K., Alostaz, Y., et al, *"Support of Deep Excavation in Soft Clay: A Case History Study"*, Proceedings 5th lnt. Conference on Case Histories in Geot. Engr., New York (2004).

39. Tallard G., *"New Trenching Method Using Synthetic Bio-Polymers"*, Slurry Walls: Design, Construction and Quality Control, STP 1129, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1992).

40. Tamaro, G.J. and Gould, J.P., *"Analysis and Design of Cast In-situ Walls"*, Retaining Structures, Institution of Civil Engineers, London (1993).

41. Tamaro, G.J., *"Slurry Wall Design and Construction"* Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE Conference, Cornell University, lthaca, NY (1990).

42. Tamaro, G.J., "Recovery Efforts at the World Trade Center Bathtub", Proceedings of the 9th Int. Conference on Piling and Deep Foundations, Nice, France (2002).

43. Winter, E.W., Nordmark, T.S. and Tallard, G., "Slurry Wall Performance Adjacent to Historic Church", Slurry Walls: Design, Construction and Quality Control, STP 1129, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1992).

44. Xanthakos, P., "Slurry Walls", 1st Ed., McGraw-Hill, New York (1979).

45. Xanthakos, P., "Slurry Walls as Structure Systems", 2nd ed., McGraw-Hill, New York (1994).

TABLA DE CONVERSIÓN AL SISTEMA MÉTRICO

U.S. Customary Unit	Metric Unit	Equal to Metric Unit	Equal to EU SI
LENGTH OR DISTANCE			
inch (in)	millimeter	25.4 mm	
foot (ft)	meter	0.3048 m	
AREA OR SURFACE			
square inch (sq in)	square millimeter	645.2 mm^2	
square foot (sq ft)	square meter	0.0929 m^2	
VOLUME OR CAPACITY			
cubic foot (cu ft)	cubic meter	0.02832 m^3	
cubic yard (cu yd)	cubic meter	0.7646 m^3	
gallon (gal) U.S.	liter	3.785 l	0.00378 m^3
FORCE			
pound (lb)	Newton	4.4482 N	0.453 kg
1000 lb (pound) = kip	Newton	4448.2 N	453.6 kg
kip	Kilonewton	4.4482 kN	453.6 kg
ton = 2000 lb	Kilonewton	8.896 kN	906.2 kg
FORCE PER UNIT LENGTH			
pound per linear foot (plf)	Newton per meter	14.5939 N/m	1.488 kg/m
FORCE PER UNIT AREA			
pound per square foot (psf)	Newton per square meter	47.8803 N/m^2	4.882 kg/m^2
STRESS, MODULUS OF ELASTICITY, PRESSURE			
pound per square inch (psi)	Kilopascal	6.895 k Pa	0.703 kg/m^2
kip per square inch (ksi)	Megapascal	6.895 MPa	702.9 kg/m^2
pound per square foot (psf)	Pascal	47.8803 Pa	4.882 kg/m^2
MOMENT			
foot-kip	Kilonewton- meter	1.3558 kN-m	138.2 kg m
in-lb	Newton-meter	0.113 N-m	1.1519 kg cm
MASS DENSITY			
pound per cubic foot (pcf)	Kilogram per cubic meter		16.02 kg/m^3
Acceleration: 32 ft/sec2		9.81 m/s^2	9.81 m/s^2
MOMENT OF INERTIA			
in^4	cm^4	41.623 cm^4	
ft^4	cm^4	863,097 cm^4	0.00863 m^4
VELOCITY OR PERMEABILITY			
foot per second (ft/sec)	meter per second	0.3048 m/s	
inch per second (in/sec)	millimeter per second	25.4 mm/s	
TEMPERATURE			
Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)	°C = (°F - 32°) /1.8 °F = 1.8 x °C +32°	**NOTE:** °F = 0.556°C °C =1.8°F

PARTE VI LISTA DE PROYECTOS

Parámetros aplicables a la lista de proyectos de muros pantalla

Ubicaciones:
Únicamente Norteamérica; grupos separados para 50 estados de la Unión Americana, más Boston, ciudad de Nueva York y Washington DC.

Método/Tipo:

SW	Muros con tableros convencionales construidos con juntas tope extremas
SPTC	Sistemas de muros con vigas donde el concreto se considera como revestimiento
PT	Muros postensados
PRE	Muros precolados
LBE	Elementos portantes o *barrettes*
TB	Muros anclados con retenidas en suelo o en roca
TD	Método de construcción *Top-Down* usado
SH	Método de construcción de lumbreras usado

Año:
Fecha de inicio de la construcción del muro pantalla

Ancho:
Ancho máximo del tablero, en pies

Profundidad:
Profundidad máxima del tablero, en pies

Área:
Longitud en planta multiplicada por la profundidad del muro, en pies cuadrados

Descripción:
Breve descripción del proyecto o particularidades significativas de la construcción, por ejemplo, muro de soporte de la excavación, muro permanente, muro de lumbrera, etc.

PROYECTOS DE MURO PANTALLA ESTRUCTURAL EN NORTEAMERICA

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
	ALABAMA:							
1	WALTER F. GEORGE DAM	Chattahooche River, AL & GA	SW	2001	2.7'	210'	112,000	Lock Protection wall and seepage cutoff wall for dam protection
	ARKANSAS:							
1	DAM 2, ARKANSAS ELECTRIC	Dumas, AR	SW	1994	3.3'	130'	250,000	T-panel wall system for protection of hydroelectric power plant.
	CALIFORNIA :							
1	BANK OF CALIFORNIA BUILDING	San Francisco, CA	SPTC	1964	2.0'	76'	28,000	Excavation support wall for 54' deep cut using 4 levels of internal braces.
2	BART, SPEAR STREET VENTILATION SHAFTS	San Francisco, CA	SW	1967	2.0'	110'	24,000	2 -40' diameter vent shafts excavated through very soft bay mud.
3	BAY AREA RAPID TRANSIT DISTRICT, BART SUBWAY STATIONS AND OTHER SECTIONS	San Francisco, CA	SPTC	1967-1970	2.0',2.5', 2.7',3.0', 3.7'	100'	450,000	Excavation support wall for subway construction. Montgomery St., Powell St., Civic Center and Embarcadero Stations & other sections.
4	EMBARCADERO RELIEVING PLATFORMS	San Francisco, CA	SW	1968	2.0'	20'	5,300	Excavation support wall for bulkhead construction.
5	PACIFIC GAS & ELECTRIC BUILDING	San Francisco, CA	SPTC	1968	3.0'	76'	80,000	Excavation support wall for 50' deep excavation for 3 basement levels using internal braces.
6	ST. FRANCIS HOTEL	San Francisco, CA	SPTC	1969	2.25'	66'	50,000	Support wall for 55'-70' deep excavation.
7	SECURITY NATIONAL BANK	San Francisco, CA	SPTC	1969	3.0'	88'	90,000	Permanent basement wall for 48' deep excavation with 3 brace levels.
8	EMBARCADERO CENTER - PHASE I	San Francisco CA	SPTC	1970	3.0'	70'	84,000	Excavation support wall for 50' deep excavation for basement construction
9	PACIFIC INSURANCE BUILDING	San Francisco, CA	SPTC	1970	2.0'	80'	40,000	Permanent basement wall for 44' deep excavation with 4 brace levels.
10	FOURTH ST. PUMPING PLANT	San Francisco, CA	SW	1970	2.5'	80'	20,000	Excavation support wall for pumping station.
11	FAIRMOUNT HOTEL TOWERS	San Francisco,CA	SW	1971	3.0'	75'	20,000	Permanent basement wall.
12	CALIFORNIA STATE AUTOMOBILE ASS'N BUILDING	San Francisco, CA	SW,TB	1973	2.0'	100'	4,000	Excavation support and building protection for 9 story building for 43' deep excavation.
13	ONE MARKET PLAZA BUILDING, MISSION AND SPEAR STS.	San Francisco, CA	SPTC	1974	2.5'	75'	90,000	Permanent basement wall supported on 200' deep driven piles for 36' deep excavation in soft bay mud.(also called New Southern Pacific Building)

14	CHINA BASIN PUMPING PLANT	San Francisco, CA	SW	1976	3.0'	74'	23,000	Excavation support for 64' excavation with 5 brace levels.
15	CHANNEL CROSSTOWN SEWER OUTFALL	San Francisco, CA	SW	1980				Excavation support for large box sewers.
16	ONE WESTWOOD OFFICE BUILDING WILSHIRE BLVD.	Los Angeles, CA	SW,TD	1986	2.5'	106'	63,000	Excavation support of 85' deep excavation for 8 level basement using simultaneous highrise and below grade construction.
17	L.A. SUBWAY CONTRACT A-130, UNION STATION	Los Angeles, CA	SW, TB	1988	2.5'	70'	140,000	Excavation support wall for 60' deep cut for subway station.
18	BAY AREA INTERCEPTOR SEWER, ISLAIS CREEK -CONTRACTS D & E	San Francisco, CA	SPTC	1994	3.0', 3.3'	100'	63,000	Excavation support of 47' deep excavation and permanent wall for 350 LF of sewer construction.
19	MUNI METRO TURNBACK FACILITY	San Francisco, CA	SPTC	1995	3.0'	80'	200,000	Permanent 1450' long tunnel and support wall.
20	YERBA BUENA TOWER BUILDING	Los Angeles, CA	SW	1999	3.0'	115'	95,000	Excavation support wall for 66' deep excavation using internal braces.
21	HOLLYWOOD WATER QUALITY IMPROVEMENT PROJECT	Hollywood, CA	SW, TB	1999	3.0'	80'	28,000	Excavation support wall for 70' deep excavation using tiebacks for protection of Hollywood reservoir and 2 large conc. Tanks.
22	FOUR SEASONS HOTEL AT MARKET ST.	San Francisco,CA	SW, TB	2000	3.0'	125'	120,000	Permanent basement wall for 60' deep parking garage excavation.
23	N.E. INTERCEPTOR SEWER PROJECT, ACCESS SHAFT	Los Angeles, CA	SW, SH	2001	3.0'	106'	22,000	Access shaft diam. for tunnel boring machine
24	N.E. INTERCEPTOR SEWER PROJECT, HUMBOLT ST. SHAFT	Los Angeles, CA	SW, SH	2002	2.6', 3.3'	140',70'	36,400	Dual cell access shaft; 69' diam. for tunnel boring machine and 41' diam. for junction structure (exc. depths 135' & 62')
25	N.E. INTERCEPTOR SEWER PROJECT, RICHMOND & MISSION & JESSIE ST. SHAFT	Los Angeles, CA	SW,SH	2002	2.6', 3.3'	170'	50,000	Dual cell access shaft (23' and 18' diam. for tunnel boring machines and for junction structure) & larger circular shaft.
	COLORADO:							
1	I-25 & I-76 INTERCHANGE	Denver, CO	SW	1991			10,000	Permanent Wall for Tunnel Underpass
2	CITY OF DENVER,15th ST. MODIFICATION	Denver, CO	SW	1991			50,000	Permanent Wall for Highway .
3	DENVER REG. TRANS. AUTH. PROJ. 330T-102, 20th ST.	Denver, CO	SW	1992	3.0',3.5'		58,000	Permanent Wall for Highway .
4	DENVER REG. TRANS. AUTH. PROJ. 330T-101, 20th ST.	Denver, CO	SW	1993	2.5',3.0',4.0'		57,000	Permanent Wall for Highway .
5	SPEER BLVD., 6TH AVE., LINCOLN ST. RECONSTRUCTION	Denver, CO	SW	1994	2.0',3.0',4.0'		86,000	Excavation Support Wall
	CONNECTICUT:							
1	MACHLETT LABORATORIES BUILDING	Stamford, CT	LBE	1966	2.0'	50'	2700	Load bearing elements
2	CONN. RESOURCES RECOVERY AUTHORITY , RECYCLING PLANT	Bridgeport, CT	SW	1978	2.0'	38'	6500	Building wall for vibration isolation control of recycling equipment.
	DISTRICT OF COLUMBIA:							
1	WASH. METRO SUBWAY SECTION B-2	Washington, DC	SW	1971			25,000	Excavation support wall.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
2	WASHINGTON SUBWAY, FEDERAL CENTER, SOUTH WEST STATION SECT.D004, D & 4th STS.	Washington, DC	SW	1973	2.5'	80'	170,000	Slurry wall alternate design by contractor in lieu of underpinning of 8 story building & support wall for 60' tunnel excavation.
3	HYATT HOTEL, CAPITOL HILL	Washington, DC	SW,TB	1975				Permanent basement wall supported by Tiebacks.
4	LANDSLIDE REHABILITATION PROJECT, O STREET	Washington, DC	SW , TB	1977	2.0'	46'	41,000	Permanent retaining wall for building protection and slope stabilization.
5	WASH. METRO SUBWAY SECTION A-1	Washington, DC	SW	1979				Excavation support wall.
6	MARRIOTT HOTEL	Washington, DC	SW, TB	1981	2.0'	70'	83,000	Permanent basement wall to protect national press club and national theatre.
7	WASH. SQ. OFFICE BUILDING	Washington, DC	SW	1981	2.0'	45'	17,500	Excavation support wall.
8	WASHINGTON SUBWAY BRANCH ROUTE SECT.E001D-MT VERNON STATION	Washington, DC	SW	1982	3.0'	70'	48,000	Excavation support wall.
9	WASHINGTON SUBWAY BRANCH ROUTE SECT.E001C	Washington, DC	SW	1983	3.0'	80'	55,000	Excavation support wall.
10	SMITHSONIAN MUSEUM ADDITION-SOUTH QUADRANGLE	Washington, DC	SW, TB	1983	2.5'	75'	95,000	Permanent basement wall for 60 ft. deep excavation and protection of adjacent historic buildings.
11	1130 CONNECTICUT AVENUE BUILDING	Washington, DC	SW	1984	2.5'	60'	25,000	Permanent basement wall used for building construction and support for adjacent structures.
12	WASH. METRO SUBWAY MT. VERNON STA.	Washington, DC	SW	1985	3.0'	72'	250,000	Excavation support wall.
13	WASHINGTON SUBWAY BRANCH ROUTE SECT. F003 NAVY YARD	Washington, DC	SW	1986	3.0'	70'	105,000	Permanent structure wall and cutoff wall.
14	WASHINGTON METRO SUBWAY SECT.F004-ANACOSTIA SECTION	Washington, DC	SW	1986	3.0'	110'	45,664	Slurry wall for 110' deep ventilation shaft for Anacostia River crossing.
15	TECHWORLD BUILDING PROJECT	Washington, DC	SW	1987	2.5'	80'	15,000	Excavation support wall with t-panels (buttress) walls to protect subway.
16	METRO CENTER 2A PARCEL, BUILDING, 13th and G Sts.	Washington, DC	SW, TB	1987	3..0'	60'	14,000	Permanent basement wall supported by tiebacks and protection of historic church structure.
17	LIBERTY PLACE OFFICE BUILDING, 7th and D Sts.	Washington, DC	SW	1989	2.0', 2.5'	65	45,000	Permanent wall supported by cross lot bracing adjacent to subway.
18	WORLD BANK BUILDING, PHASES 1 & 2	Washington, DC	SW,TB	1989, 1994	2.5'	70'	115,000	Slurry wall to protect adjacent buildings and subway. Slurry wall used for permanent wall.

19	METRO CENTER 5A OFFICE BUILDING, 12th & G Sts.	Washington, DC.	SW	1991	2.5'	55	30,000	Permanent wall adjacent to subway supported by rakers
20	FEDERAL TRIANGLE DEVELOPMENT - RONALD REAGAN BLDG.	Washington, DC	SW, TB	1991	3.0'	90'	220,000	Permanent foundation wall around site 1500 ft.with 60 ft deep excavation and tiebacks.
21	WASHINGTON SUBWAY BRANCH ROUTE SECT. E004 – PETWORTH STA. AT GEORGIA AVE.	Washington, DC	SW	1993	3.0'	120'	160,000	Permanent wall for subway tunnel section supported by cross lot bracing.
22	INT'L MONETARY FUND BUILDING, 20th ST.	Washington, DC	SW,TB	1994	2.5'	70'	42,000	Permanent wall protecting adjacent building and church for 50' deep excavation.
23	WASHINGTON SUBWAY BRANCH ROUTE SECT. E003 COLUMBIA HTS.	Washington, DC	SW	1995	3.0'	85'	115,000	Permanent wall for subway tunnel section and cutoff wall, using topdown construction method.
24	INT'L MONETARY FUND HQ ADDITION	Washington, DC	SW,TB	1995	3.0'	50'	17,000	Permanent basement wall supported by tiebacks
25	OFFICE BUILDING - 555 12TH ST.	Washington, DC	SW	1995	2.5'	60'	10,000	Support of excavation using rakers to protect adjacent subway tunnel.
26	GSA FEDERAL BUILDING	Washington, DC	SW, TB	1997	2.5'	90'	73,000	Permanent wall used in lieu of underpinning and cutoff.
27	LINCOLN SQUARE BUILDING, 555 11th STREET	Washington, DC	SW, TB	1998	2.5'	90'	28,000	Slurry Wall next to historic buildings. Tiebacks installed below buildings.
28	CONVENTION CENTER, 7TH -9TH STS., MT. VERNON AND N STS.	Washington, DC	SW, TB	1999	3.0' 4.0'	62'	225,000	Permanent basement wall and excavation support for Convention Center in a 6-square-block area. 35' to 55' deep excavation rakers and buttressed walls were also used for temporary and permanent support.
29	OFFICE BUILDING - 101 CONSTITUTION AVENUE BUILDING	Washington, DC	SW, TB	2000	2.6'	65'	58,000	Permanent wall and excavation cutoff wall.
30	GALLERY PLACE BUILDING, 7th and G Sts.	Washington, DC	SW., LBE	2001	3.0'	63'	80,000	Permanent wall and excavation support wall for 6 level parking using top-down construction method.
30	NATIONAL WWII MEMORIAL ON WASHINGTON MALL	Washington, DC	SW	2002	2.0'	40'	54,000	Excavation support and permanent water cutoff. Wall used to support grade slabs.
31	U.S.CAPITOL VISITOR'S CENTER	Washington, DC	SW, TB	2002	2.7'	65'	128,000	Permanent slurry wall to protect U.S. Capitol Building and serve as basement walls for Viisito's Center and exhibition gallery.
	FLORIDA:							
1	PONCE INLET CONDO'S	Daytona, FL	SW, PRE	1973				Permanent basement wall using precast panels.
	GEORGIA:							
1	MARTA SUBWAY-CS 165	Atlanta, GA	SW	1977			50,000	Excavation support wall using precast panels
2	MARTA SUBWAY-NW053	Atlanta, GA	SW	1979				
3	MARTA SUBWAY-CN185	Atlanta, GA	SW	1980				

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
4	MARTA SUBWAY-BILTMORE HOTEL GARAGE	Atlanta, GA	SW	1980	2.5'	35'	25,000	Excavation in low-head space and support of garage footings for tunnel below garage structure.
5	WILLIAM ST. INTERCHANGE, GA D.O.T. I75 / I85 PROJECT	Atlanta, GA	SW, LBE	1981	2.7'	79'	76,500	Permanent bearing walls and temporary support of 40' deep excavation for roadway underpass.
6	CHATTAHOCHEE SEWER TUNNEL, COBB COUNTY WATER SYSTEMS	Cobb Co., GA	SW, SH	2000	3.3'	65	24,500	Circular shafts (108' and 41' diameter) used for access to TBM tunnel work and Pump Station construction using Hyromill.
	IDAHO:							
1	I-84 and 11TH AVENUE RAILROAD UNDERPASS	Nampa, ID	SW	2002	3.3'	55'	66,000	6-Lane vehicle underpass below 7-RR Tracks of Union Pacific Railroad.
	ILLINOIS:							
1	CNA CENTER BLDG. ,VAN BUREN ST.	Chicago, IL	SW	1970	2.5'	60'	36,000	Permanent basement wall and support of elevated train for 27' deep excavation.
2	STD. OIL (INDIANA) AMOCO BUILDING	Chicago, IL	SW, TB	1970	2.5'	56'	55,000	Permanent slurry wall for building basement for 44' deep excavation. First application of pile supported slurry wall in U.S.
3	SEARS TOWER BUILDING	Chicago, IL	SW	1971	2.5'	55'	75,000	Permanent basement wall and support wall for 45' deep excavation for Sears Tower Building.
4	WATER TOWER PLACE BUILDING MICHIGAN & CHESTNUT STS.	Chicago, IL	SW, TB	1973	2.5'	62'	92,000	Permanent slurry wall for building basement - 44' below grade with tiebacks and bottom level of rakers. (Caissons interlocking wall).
5	HEALTH SCIENCE BUILDING (N.W. UNIVERSITY)	Chicago, IL	SW, TB	1976	2.0'	32'	35,000	Permanent slurry wall for building basement.
6	METROPOLITAN SANITARY DISTRICT TARP PROJECT	Chicago, IL	SW	1978				Circular shaft using Tone reverse cirulation drill for panel excavation.
7	WESTINGHOUSE HIGH SCHOOL BUILDING	Chicago, IL	SW,TB	1978			21,000	Permanent basement wall.
8	PROVIDENT HOSPITAL	Chicago, IL	SW	1980			20,000	Permanent slurry wall for building basement.
9	METROPOLITAN SANITARY DISTRICT TARP PROJECT	Chicago, IL	SW, SH	1981	2.0'	72'	8,000	34' i.d. diameter circular shaft used for access to tunnel works using H-beam end stops.
10	ONE MAGNIFICENT MILE BUILDING, 850 N. MICHIGAN AVE.	Chicago, IL	SW TB	1982			45,000	Excavation Support wall for building construction.
11	OLYMPIA CENTRE, NEIMAN MARCUS PROJECT	Chicago, IL	SW, TD	1982			72,000	Permanent basement wall .
12	PRUDENTIAL TWO BUILDING	Chicago, IL	SW,TB	1987	2.3'	55'	31,000	Permanent basement wall and support wall for 30' deep excavation.

13	AT&T CORPORATE BUILDING	Chicago, IL	SW	1987	2.5'	50'	72,000	Permanent basement wall for 2 level garage and support wall for 27' deep excavation
14	GUEST QUARTERS HOTEL	Chicago, IL	SW	1989	2.0'	50'	40,000	Permanent basement wall for 3 level garage and support of excavation for 35' deep excavation.
15	MERRILL BUILDING 311 S. WACKER DRIVE	Chicago, IL	SW	1989				Permanent basement wall and support wall for largest r.c. concrete highrise structuere at this time.
16	NORTHWEST UNIVERSITY MEMORIAL HOSPITAL BUILDING	Chicago, IL	SW,TB	1993	2.0'	35'	60,000	Permanent basement and support wall for 23' deep excavation.
17	MUSEUM OF SCIENCE & INDUSTRY	Chicago, IL	SW, TB	1996	2.5'	43'	96,000	Permanent basement wall and support wall for 34' deep excavation.
18	UNITED AIRLINES TERMINAL, O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT	Chicago, IL	SW					Excavation support wall for multi-level airport terminal facility.
19	900 NORTH MICHIGAN STREET PROJECT	Chicago, IL	SW					Permanent wall for building basement.
20	RIVER EAST CENTER	Chicago, IL	SW, TD	2000	2.5'	57'	78,000	Permanent basement walls for underground parking garage
21	FIELD MUSEUM	Chicago, IL	SW	2002	2.0'	70'	130,000	Permanent basement walls for undergorund archeological storage
22	UNIV. OF CHICAGO GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS	Chicago, IL	SW, TB	2002	2.0'	40'	59,000	Perm. basement walls for classroom spaces
23	UNIV. OF CHICAGO RESEARCH BUILDING	Chicago, IL	SW, TB	2002	2.5'	42'	82,000	Permanent basement walls with three levels of tiebacks.
	MARYLAND:							
1	MD DOT MASS TRANSIT ADMIN. CHARLES CTR STATION	Baltimore, MD	SPTC	1979	2.0'	105'	110,000	Excavation support wall for 35 story building protection for 3 block long 1400 lf section.
2	MD DOT MASS TRANSIT ADM. NORTH AVE STATION	Baltimore, MD	SPTC	1979			18,000	Excavation suppport wall.
3	MD DOT MASS TRANSIT, LAKEWOOD AVE	Baltimore, MD	SW	1979			150,000	Support of excavation and protection of adjacent buildings and utilities.
4	MARYLAND COURTHOUSE	Annapolis, MD	SW	1980	2.0'	55'		Excavation support wall to protect historical museum for 40' deep excavation.
5	MD DOT MASS TRANSIT ADM. LAURENS ST. STATION	Baltimore, MD	SPTC, TB	1980	2.5'	80'	20,000	Slurry wall for building protection and excavation of station areas for 3 block long, 14000 lf section - 2 sections only - 200 lf
6	GALLERY AT HARBOR PLACE BUILDING	Baltimore, MD	SW, TB	1984	2.0'	55'	70,000	Permanent basement wall for 50' deep excavation for 5 level garage..
7	MD DOT PROJECT NE 001	Baltimore, MD	SW, TB	1987				Excavation suppport wall.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
8	PIPE PROTECTION, HWY. 70 / INT. 90	Gaithersburg,MD	SW	1988	2.0'	30'	12,000	Slurry wall protection for construction of water supply tunnel.
9	WASH. METRO GREENBELT LINE, COLLEGE PARK STATION	College Park,MD	SW,LBE	1990				Protection wall for 5' diam. water main and bearing element for bridge abutments.
10	MD DOT MASS TRANSIT ADMIN. SHOT TOWER STATION	Baltimore, MD	SPTC	1991	3.0'	90'	120,000	Permanent wall for subway tunnel section.
	MASSACHUSETTS:							
M1	MBTA SUBWAY, ALEWIFE STATION TEST SECTION	Somerville, MA	SW,LBE	1977	3.0'	60'	1,000	Test Program to determine panel stability, friction and bearing values in soft clay.
M2	HARVARD SQUARE STATION - RED LINE	Cambridge, MA	SW, TB	1979	3.0'- 3.5'	40'	68,000	First instrumented and permanent tunnel walls for construction of U.S. subway station.
M3	MBTA SUBWAY, DAVIS SQUARE STATION	Somerville and Cambridge, MA	SW, TB	1979	2.0'	65'	84,000	Support wall for 56' deep excavation for 600' x 70' station supported by rock tiebacks.
M4	MBTA SUBWAY UNDER RTE # 2HWY BRIDGE	Cambridge, MA	SW	1981	3.0'	70'	10,000	Permanent tunnel wall and underpinning support for protection of bridge during tunnel construction.
M5	MBTA SUBWAY DAVIS TO ALEWIFE TUNNEL SECTION	Somerville, MA	SW	1982	3.0'	70'	440,000	Second permanent tunnel wall used on a subway section in U.S.
M6	MBTA SUBWAY, ALEWIFE STATION	Cambridge, MA	SW	1984	2.0'	70'	92,000	Excavation support wall for station construction.
M7	ONE MEMORIAL DRIVE BUILDING	Cambridge, MA	SW, TB	1985	2.0'	40'	31,000	Permanent slurry wall for 27' excavation for building basement.
M8	FLAGSHIP WHARF BUILDING	Charlestown, MA	SW, PT	1988	2.5'	60'	41,000	Support wall for 50' excavation for 5 basement levelsl using cross-lot bracing adjacent to harbor.
M9	MASS. WATER RES.,CHARLESTOWN PUMPING STATION	Charlestown, MA	SW, SH	1990	2.5'	100'	49,500	Circular 103' inside diameter shaft for 55' deep excavation. Included a shaft of 26' diameter coupled to main shaft.
M10	BRATTLE SQUARE BUILDING	Cambridge, MA	SW, LBE	1990	2.0'	53'	28,000	Permanent basement wall and support of excavation and load bearing elements.
M11	CROSS HARBOR CONNECTING TUNNEL, NUT & DEER ISLANDS	Nut Island, Boston Harbor	SW, SH	1991	2.0'	136'	20,000	Circular 25' diameter shaft used for 100' deep excavation & access to tunnel.
M12	CROSS HARBOR CONNECTING TUNNEL, MASS. WATER RESOURCES, SEWER LINE	Deer Island, Boston Harbor, Winthrop	SW, TB	1991	3.0'	110'	12,000	Support walls for outfall tunnel excavation.
M13	CROSS HARBOR CONNECTING TUNNEL,SOUTH SYSTEM PUMP STATION, MASS. WATER RESOURCES	Deer Island, Boston Harbor, Winthrop	SW, SH	1992	3.0'	90'	38,600	Access Shaft of 140' diameter for 80' deep excavation without internal bracing.

M14	BETH ISRAEL HOSPITAL	Longwood, MA	SW, LBE	1993	3.0'	73'	83,000	Excavation support wall for 55' depth excavation & 72 load bearing elements.
M15	DANA FARBER CANCER INSTITUTE, PHASE 2 BUILDING, BINNEY ST.	Longwood, MA	SW, TB	1994	3.0'	83'	50,000	Permanent basement wall with permanent tiebacks for 6 support levels (65' to 80' deep excavation).
M16	OLD COLONY RAILROAD RTE 3/3A REHABILITATION	Kingston. MA	PRE,TB,TD	1996	1.75'	39'	115,000	Permanent precast prestressed wall for railroad tunnel.
M17	MBTA GREEN LINE NORTH STATION EXT.	Somerville, MA	SW, TD	1996		60'	36,000	Permanent tunnel wall and excavation support for subway extension.
M18	METROWEST WATER SUPPLY TUNNEL CONTRACT 2	Framingham, MA	SW,SH	1996	3.0'	83'	10,000	Shaft for tunnel excavation
M19	BRAINTREE-WEYMOUTH TUNNEL	Weymouth, MA	SW, SH	1999	3.0'	80'	10,400	Shaft for tunnel excavation
M20	CAMBRIDGE HOSPITAL EXPANSION	Cambrige, MA	SW,TB	2000	2.5'	70'	38,000	Excavation support wall for 25' deep excavation.
M21	MIT STATA CENTER	Cambridge, MA	SW,TB	2000	3.0'	70'	92,000	Excavation support wall for 40' deep excavation.
M22	60 OXFORD ST. BUILDING HARVARD UNIVERSITY	Cambridge, MA	SW	2001				
M23	OXFORD ST. GARAGE HARVARD UNIVERSITY	Cambridge, MA	SW, LBE	2002	3.0'	86'	72,000	Permanent wall and support of 40' deep excavation for 5-level basement.
M24	KENDALL SQUARE, BUILDING, PARCEL B	Cambridge, MA	SW	2002	3.0'	80'	74,000	Permanent wall and support of excavation for x-level basement.
M25	80 BROAD STREET BUILDING	Cambridge, MA	SW	2002	2.0', 2.5'	50'	22,000	Excavation support wall for x deep excavation.
M26	90 MOUNT AUBURN STREET BUILDING	Cambridge, MA	SW	2002	3.0'	52'	15,000	Excavation support wall for x deep excavation.
M27	NORTHWEST LABS BUILDING	Cambridge, MA	SW	2004	3.0'	80'	116,000	Permanent wall and support of 40' deep excavation for 4-level basement.
	MASS. -BOSTON:							
B1	180 BEACON ST. BUILDING	Boston, MA	SW	1963	2.0'			Permanent wall and support of excavation for 3-level basement.
B2	SOMERSET HOTEL GARAGE	Boston, MA	SW, LBE	1966	2.0'	25'	4,000	Permanent basement wall for 25' deep excavation adjacent to MBTA subway tunnel.
B3	BOSTON COMPANY BUILDING	Boston, MA	LBE, SH	1967	2.0'	90'	14,000	Permanent shaft & LBE for composite 14' diameter octagonal shaped caissons excavated after LBE was founded on Argillite bedrock.
B4	MBTA SUBWAY, SOUTH COVE STATION	Boston, MA	SW	1969	3.0'	80'	35,000	Support wall for 53' deep excavation & building protection.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
B5	60 STATE STREET BUILDING	Boston, MA	SW, TB	1975	2.0'	60'	50,000	Permanent basement wall, underpinning and support wall for 30' deep excavation.
B6	53 STATE STREET BUILDING	Boston, MA	SW	1981	2.5'	50'	60,000	Permanent basement wall with cross-lot braces for 45' deep excavation. Protection walls for 7 & 11 story building façades incorporated into new structure.
B7	MASS. STATE TRANSPORTATION BUILDING, PARK PLAZA	Boston, MA	SW, TB	1981	2.0'	48'	77,000	Permanent basement wall and support wall for 35' deep excavation.
B8	MBTA SUBWAY LINE, S.W. CORRIDOR ORANGE LINE	Boston, MA	SW	1982	2.0'	70'	180,000	Excavation support wall for 50' deep tunnel section.
B9	SOUTH FERRY VENT SHAFT B-5 AND EMERGENCY EXIT AT LEWIS ST.	Boston, MA	SW, SH	1983	3.0'	80'	20,000	Vent shaft and emergency exit using butresss to connect emergency exit to existing subway tunnel.
B10	MBTA SUBWAY, WASHINGTON ST. STA.	Boston, MA	SW	1985	3.0'	55'	7,600	Slurry walls for support of excavation and permanent wall for expansion of operating subway station.
B11	101 FEDERAL STREET	Boston, MA	SW, TB	1985	2.0', 2.5'	69'	31,000	Permanent building basement wall and underpinning.
B12	ROWES WHARF BUILDING	Boston, MA	SW, TD	1985	2.5'	65'	84,500	Permanent slurry wall for excavation of 55' deep building basement using top down method.
B13	MBTA SUBWAY- BLUE LINE, LONG WHARF VENT SHAFT & EXIT	Boston, MA	SW	1985	3.0'	105'	27,000	Vent shaft and emergency exit to 85' deep subway using buttress & permanent wall panels.
B14	500 BOYLSTON STREET BUILDING	Boston, MA	SW	1986	2.0'	49'	44,000	Permanent slurry wall for building basement.
B15	75 STATE STREET BUILDING	Boston, MA	SW, TD	1986	2.5'	95'	97,000	Permanent basement wall of 6 levels and support for 65' deep excavation.
B16	MASS. WATER RESOURCES AUTHORITY, CARUSO PUMP STATION	Boston, MA	SW, SH	1986	2.5'	110'	24,700	Circular 70' diameter shaft with liner walls for permanent support for 80' deep excavation.
B17	125 SUMMER STREET BUILDING	Boston, MA	SW, TD, LBE	1987	2.5'	75'	87,000	Permanent basement and support wall for 60' deep excaavtion & load bearing elements.
B18	85 EAST MARINA ROW BUILDING	Boston, MA	SW, TB	1987				Permanent basement wall.
B19	435 SUMMER ST. BUILDING	Boston, MA	SW	1988	2.5'	57'	39,000	Permanent wall with cross-lot bracing for 3 level basement .
B20	POST OFFICE SQUARE PARKING GARAGE	Boston, MA	SW, TD, LBE	1989	3.0'	90'	95,000	Permanent wall and temporary support for top down staging for 7 basement levels. Cross-shaped Load Bearing elements used.
B21	NORTH STATION PARKING GARAGE, BOSTON GARDEN BLDG.	Boston, MA	SW, TD	1990	3.0'	93'	202,000	Permanent basement wall and support of excavation using top-down construction.

B22	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONTRACT C05A1, ITT COFFERDAM	South Boston, MA	SW, SH	1992	3.0'	80'	85,000	Shaft of 250' diameter used for excavation support and connection of immersed tunnels to inland open cut boat sections and vent building.
B23	SHRINER'S BURN INST. BLOSSOM ST.	Boston, Ma	SW, LBE	1993	2.7'	70'	35,000	Support and permanent basement wall for hospital addition including 10 load bearing elements.
B24	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90, CONTRACT C04A2, BMIP SECTION	South Boston, MA	SW	1993	3.0'	80'	30,000	Excavation support wall for construction of approach to tunnel.
B25	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONTRACT C07A1, PORTER ST.	East Boston, MA	SW, TB	1993	2.0'	80'	37,600	Support of excavation wall used for connection of immersed tunnels to inland approach to tunnels.
B26	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONTRACT C11A1, ATLANTIC AVE.	Boston, MA.	SPTC	1995	3.5'	115'	476,268	Tunnel and support walls for 70' excavation for building protection and Transitway structure (24,500 sf).
B27	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONT. C04A2 , BMIP AREA, VENT. BLDG. No. 6	Boston, MA	SW, TB	1995	2.0', 3.0'	90'	20,000	Support of excavation for 60' deep tunnel approach to third Boston Harbor Tunnel. Permanent walls for ventilation structures.
B28	CENTRAL ARTERY TUNNEL, SOUTH BOSTON INTERCHANGE, C09A1 & C09A4	Boston, MA	SW, TB	1995			20,000	Temporary earth retention system for building protection
B29	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONTRACT C04A2, BMIP SECTION	South Boston, MA	SW, PT,TB	1995	2.5'	90'	38,600	Excavation support wall with post-tensioned T-shaped panels for 60' deep tunnel excavation.
B30	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONTRACT C14B3, UTILITY RELOCATIONS, HANOVER & SUDBURY STS.	Boston, MA	SW	1995	3.5'	137'	18,500	Excavation support wall for utility relocations prior to tunnel construction using buttressed slurry wall panels.
B31	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONTRACT C14C2, QUINCY MARKET.	Boston, MA	SW	1995	3.5'	110'	54,642	First use of Hydromill technology for Central Artery tunnel project
B32	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONTRACT C15A3, VENT BUILDING 4	Boston, MA	SW	1995	3.5'	100'	78,950	Permanent and excavation support wall for construction of roadway tunnel.
B33	CENTRAL ARTERY TUNNEL, I-93 CONTRACT C17A2	Boston,MA	SPTC	1996	3.0'	100'	295,026	Installation of low-head tunnel sections below 18'-20' elevated highway
B34	MBTA SUBWAY, GREEN LINE VENT. SHAFT G9.	Boston, MA	SW, PRE	1996	1.75'	26'	2,300	Permanent precast prestressed wall for vent shaft.
B35	MBTA SUBWAY SUPERSTATION	Boston, MA	SW	1996			122,000	Excavation support wall for subway station and ramp.
B36	THE HOTEL AT THE WORLD TRADE CENTER BUILDING	South Boston, MA	SW, PRE,TB	1996	1.75'	53'	70,100	Permanent basement wall and support of excavation using precast-prestressed panels.
B37	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONT. C17B1MAIN TUNNEL & AQUARIUM STATION.	Boston, MA	SPTC	1997	3.5'	110'	80,000	Excavation support wall for crossing of Blue Line Station.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
B38	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONTRACT C17A9, MAINLINE TUNNEL	Boston, MA	SPTC	1997	3.5'	103'	412,706	Permanent and excavation support wall for construction of roadway tunnel.
B39	PILOT HOUSE EXTENSION	Boston, MA	PRE	1997	1.75'	49'	28,000	Permanent precast prestressed basement walls.
B40	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONTRACT C01A3 & MBTA WORLD TRADE CENTER STATION	South Boston, MA	SW	1997	3.0'	120'	90,000	Excavation support wall for subway station.
B41	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONT. C15A1, NORTH ST. TO CHARDON ST.	Boston,MA.	SPTC	1997	3.5'	120'	339,174	Excavation support wall and permanent support elements for tunnel.
B42	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93/I-90 CONTRACT C09A4, JACKED TUNNELS	Boston, MA	SW	1997	3.0', 4.0'	90'	210,000	Excavation support wall for tunnel jacking operations.
B43	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONT.C09A7 FT. POINT CHANNEL	Boston, MA	SW, PT	1997	3.0'	125'	68,000	Permanent tunnel and excavation support with buttress panels.
B44	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONT. C17A9, EAST HEAD HOUSE & MBTA AQUARIUM STATION	Boston, MA	SW	1997	3.0', 3.5'	100'	70,000	Permanent tunnel and excavation support wall.
B45	TRINITY PLACE BUILDING, 25 HUNTINGTON AVENUE	Boston, MA	SW	1998	2.5'			Permanent basement wall.
B46	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90 CONTRACT C09B3, CASTING BASIN	Boston, MA	SW	1998	3.0'	91'	193,500	Excavation support wall for casting of jacked tunnels.
B47	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONT. C14C1	Boston, MA	SPTC	1998	3.5'	110'	35,750	Permanent and excavation support wall for roadway tunnel.
B48	MILLENNIUM PLACE BUILDING	Boston, MA	SW,LBE, TD	1998	3.0'	107'	95,000	Permanent building support for topdown 55' deep excavation for 5 basement levels.
B49	MBTA TRANSIT WAY CONTRACT E02CN14 -MBTA COURT HOUSE STA.	Boston, MA	SW	1998	3.0', 4.0'	85'	167,000	Permanent and excavation support walls for subway tunnel.
B50	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONTRACT C17A1	Boston, MA	SPTC, LBE	1999	3.5'	100'	355,713	Permanent and excavation support wall for roadway tunnel.

B51	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-90, CONTRACT C01A3 & MBTA WTC STATION	Boston, MA	SW, TB	1999	3.0'	147'	62,000	Permanent tunnel wall and 30,000 sf soil mixing for excavation support.
B52	AMGEN RESEARCH CENTER	Boston, MA	SW, TB	1999	2.5'	52'	34,000	Permanent basement wall.
B53	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONT C15A2, CHARDON ST. TO CHARLES R.	Boston, MA	SPTC	1999	3.5'	90'	429,900	Excavation support wall and permanent support elements for tunnel.
B54	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93 CONT.C17A3, VENT BLDG.No.3 ATLANTIC & CONGRESS STS.	Boston, MA	SW, SPTC	2000	3.0', 3.5'	120'	92,240	Permanent wall for Vent. Bldg No. 3
B55	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONT. C19E1 STORROW DRIVE	Boston, MA	SPTC	2000	3.5'	-	316,400	Permanent tunnel and excavation support wall
B56	ONE LINCOLN STREET BUILDING	Boston, MA	SW, TB	2000	3.0'	70'	80,000	Permanent basement wall and excavation support wall.
B57	131 DARTMOUTH ST. BUILDING	Boston, MA	SW	2000	2.0', 2.5'	56'	53,000	Excavation support and permanent wall for 4 basement levels. Rakers and corner braces for excavation support.
B58	HARVARD UNIV. GRADUATE STUDENT HOUSING	Boston, MA	SW	2000	2.0'	55'	65,000	Permanent basement wall and excavation support wall.
B59	RUSSIA WHARF BUILDING	Boston, MA	SW	2001	2.5'	70'	52,000	NATM tunnel penetration of panels at CA/T Vent Building interface.
B60	OFFICE BUILDING-10 ST. JAMES AVE.	Boston, MA	SW	2001	2.5'	60'	48,000	Excavation support wall with cross lot bracing for three level garage basement.
B61	HARVARD MEDICAL SCHOOL,NEW RESEARCH BUILDING	Boston, MA	SW, TB	2001	2.5'	93'	123,000	Permanent basement wall and excavation support.
B62	MERCK RESEARCH CENTER	Boston, MA	SW	2001	2.5'			Permanent basement wall and excavation support.
B63	CENTRAL ARTERY TUNNEL I-93, CONT. C17A6, NORTH ST. TO CHARDON ST.	Boston,MA.	SPTC	2001	3.5'	110'	26,622	Excavation support wall and permanent support elements for roadway tunnel.
B64	MASS. GENERAL HOSPITAL, MGH AMBULATORY BUILDING	Boston, MA	SW, LBE	2001	3.0'	95'	90,250	Permanent 3 level basement wall and support for 40' deep excavation.
B65	MANULIFE US. OPERATIONS, HEADQUARTERS BUILDING, CONGRESS ST.	South Boston, MA	SW	2002	2.5'	55'	35,000	Permanent 3 level basement wall and support for 40' deep excavation.
B66	FLEET CENTER AIR RIGHTS BUILDING	Boston, MA	SW	2002	3.0'	75'	31,500	Permanent basement wall and support for 30' deep excavation using Hydromill.
B67	MBTA GREEN LINE RELOCATION	Boston, MA	SW	2002				
B68	MBTA SCIENCE PARK STATION	Boston, MA	SW	2003	3.0'	62'	38,500	Permanent station wall in low head room area.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
B69	70 FRANCIS STREET BUILDING	Boston, MA	SW	2004	2.5, 3.0'	65'	58,000	Permanent basement wall and support for 40' deep excavation.
	MISSISSIPPI :							
1	TOWN CREEK RELOCATION CHANNEL	Jackson, MS	SW, TD	1975	2.0'	30'	22,500	Slurry wall used for channel relocation and support of excavation with topdown construction method.
	MISSOURI :							
1	BISSEL POINT SECONDARY TREATMENT FACILITY	St. Louis, MO	SW, TB	1987	2.0'	38'	10,000	Support & permanent water cutoff wall for excavation and protection of adjacent Union Electric transmission towers.
2	THOMAS EAGLETON U.S. COURTHOUSE	St. Louis, MO	SW, TB	1995	3.3'	51'	61,000	Permanent basement wall for 4 basement levels with permanent tiebacks.
	NEBRASKA:							
1	OMAHA DOUGLAS CO. CIVIC CENTER	Omaha, NB	SW, TB	1973	2.5'	86'	170,000	Temp. support of excavation for 3 level garage & basement wall
2	UNIV. OF NEBRASKA	Omaha, NB	SW TB	1996	2.0', 2.5'	-	26,000	Permanent basement wall.
	NEVADA:							
1	RENO RETRAC PROJECT	Reno, NV	SW	2002	3.0'		200,000	Support walls for 50' excavation and groundwater cutoff for tunnel built under operating railroad (5000 lf).
	NEW HAMPSHIRE:							
1	PUMP STATION ,VARNEY BROOK	Dover Pt., Portsmouth NH	SW, SH	1988	3.0'	48'	6,500	Permanent shaft walls for construction of pump station.
	NEW JERSEY:							
1	PIER 1 UPGRADE	Bayonne, NJ	SW	1982	2.5'	63'	25,000	Protection wall used for bulkhead restoration.
2	PATH RR, VENTILATION BUILDING, COLUMBUS DR.	Jersey City, NJ	SW, SH	1985	2.5'	49'	8000	Protection and excavation support wall for ventilation shaft for PATH Subway.
3	PATH RR , EXCHANGE PLACE STATION, COLUMBUS DR.	Jersey City, NJ	SW, TD	1986	2.5'	48'	18,000	Bulkhead wall & support wall & access for new stair & escalator entrance to existing PATH Subway station.
4	LEGAL AND COMMUNICATION CENTER BLDG, RAYMOND BLVD.	Newark, NJ	SW	1987	2.0'	40'	9000	Support wall to protect building piling and 14' dia. sewer tunnel.

5	PATH RR, CAISSON NO. 1 SHAFT AT 15TH ST.	Jersey City, NJ	SW, SH	1988	3.0'	78'	13,000	Emergency ventilation and exit shaft for PATH Subway.
6	PATH RR, NEWPORT PAVONIA STATION, WASHINGTON BLVD.	Jersey City, NJ	SW	2000	2.0'	70'	13,000	New entrance to existing station using slurry wall to enclose the area for connecting to side of station.
7	30 HUDSON ST.WATERFRONT & BUILDING COMPLEX	Jersey City, NJ	SW,TB	2001	2.5'	90'	77,500	Two building site with permanent basement and excavation support wall at land reclamation site for high-rise building construction with 4 basements.
	NEW YORK CITY:							
1	63rd STREET TUNNEL, ACCESS SHAFT	Queens	SW, SH	1962	2.0'	75'	6,000	Shaft wall used ascofferdam for 25' diameter deep exacavation.
2	WTC TELEPHONE VAULTS, West St.	Manhattan	SW	1966	2.5'	54'	13,000	Preconstruction of WTC site for utility relocations.
3	WORLD TRADE CENTER & PERIMETER BUILDINGS	Manhattan	SW ,TB	1967	3.0'	60' to 95'	217,000	Permanent wall used to protect adjacent buildings and utilities.
4	ARCHER AVE. SUBWAY SECTION	Jamaica, Queens	SW	1973	2.0' , 2.5'	60'	99,000	Support of excavation using cross lot bracing forsubway tunnel construction.
5	63rd STREET TUNNEL , RT. 131 SECT. 7 - 41ST STREET	Astoria, Queens	SW	1975	2.0' , 2.5'	110'	212,000	Support of excavation for 50' to 70' exacavation using cross lot braces and cutoff for subway tunnel construction.
6	SUBWAY SECTION CROSSING VAN WYCK EXPRESSWAY	Jamaica, Queens	SW, SH	1976	2.0'	60'	6,000	Temporary 30' diameter access shaft used for subway tunnel excavation under highway. Panels constructed with reverse circulation drilling sytem.
7	WESTWAY - RT. 9A AT WORLD FINANCIAL CENTER	Manhattan	SW	1981	2.0'	68'	65,000	Slurry wall used for proposed westway roadway underpass to be constructed adjacent World Financial Center.
8	NYCDEP MARINE TRANSFER STATION	Brooklyn	SW, LBE	1985	2.0'	40'	11,000	Bulkhead wall and load bearing elements for marine waste transfer station.
9	WORLD FINANCIAL CENTER BLDG "D"	Manhattan	SW, TB	1985	3,0	85'	85,000	Permanent basement wall in former landfill used as support of excavation and cutoff.
10	WORLD FINANCIAL CENTER BLDG "B"	Manhattan	SW, TB	1987	3.0'	80'	56,000	Permanent basement wall in former landfill used as support of excavation and cutoff.
11	RICHMOND AVE PUMP STATION, OAKWOOD BEACH WATER POLLUTION	Staten Island	SW, SH	1988	2.0'	158'	28,000	Shaft wall for 54' diameter by 90' deep excavation for circular pump station.
12	PATH RR, VENT BLDG AND SHAFTS AT WEST & MORTON STS.	Manhattan	SW, SH	1989	2.5'	97'	53,000	Two slurry wall ventilation and exit shafts & a substation adjacent to bulkhead.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
13	FINANCIAL SQUARE BUILDING	Manhattan	SW	1989	2.0'	50'	29,000	Permanent basement wall for 30' excavation.
14	LEXINGTON AVENUE FAN CHAMBER AT 131st St./ Lex. Ave.	Manhattan	SW	1989	2.0'	33'	9,500	Excavation support wall anf permanent ventilation shaft set on top of operating subway tunnel.
15	NYCDEP WATER TUNNEL, BUSHWICK SHAFT 20B	Brooklyn	SW, SH	1989	3.0'	200'	31,000	Shaft to 200' for access to 600' deep NYC Water Tunnel 3.
16	SHERATON FLUSHING WORLD TOWER, FLUSHING	Queens	SW, TB	1990	2.0'	35'	30,000	Permanent 3 level basement wall used in lieu of underpinning of adjacent buildings.
17	63RD ST. LINE TO QUEENS BLVD. SUBWAY EXT. CONTRACTS 20203, 20202 & 20201	Queens	SW, TB, SH	1994 to 1996	2.5', 3.0'	95'	400,000	Excavation support wall for subway. Access shafts of 76' & 91' deep for sewer siphon construction.
18	NYCDEP PAERDEGAT BASIN CSO OVERFLOW STORAGE TANKS	Brooklyn	SPTC, TB	2002	2.0'	208'	380,000	Support of 50' deep excavation and cutoff barrier adjacent to Paerdegat Basin.
19	MTA CONT. CQ026, LONG ISLAND RAILROAD EAST SIDE ACCESS, BELLMOUTH STRUCTURE AT NORTHERN BLVD.	Queens	SW	2002	3.0', 4.0'	90'	50,000	Excavation support wall for subway construction and access for tunneling 70' deep under elevated tracks for subway line connection.
	NEW YORK STATE:							
1	NYC WATER SUPPLY SHAFT	Westchester Co.	SW, SH	1979	2.5'	50'	5,000	Excavation support for 30' diameter access shaft for water tunnel construction.
2	IBM MANUFACTURING FACILITY	Dutchess Co.	SW	1990	2.0'	25'	5,000	T-wall panels wall for support of excavation and cutoff.
	OHIO :							
1	FEDERAL RESERVE BANK	Cleveland, Ohio	SW	1993	2.0'	80'	30,000	Excavation support wall
2	STADIUM RENOVATION OHIO STATE UNIVERSITY	Columbus, Ohio	SW	1999	2.0'	50'	88,000	Permanent support wall for lowered playing football field.
	OKLAHOMA:							
1	FOURTH NATIONAL BANK BUILDING	Tulsa, OK	SW	1968				Permanent slurry wall for basement construction.
	OREGON :							
1	BONNEVILLE NAVIGATION LOCK USA COE	Portland, OR	SPTC, TB	1980	3.0, 3.5', 4.0'	130'	104,000	Temporary & permanent walls for navigation lock.

2	CASCADE LOCKS BONNEVILLE L&D	Portland, OR	SW, TB	1988			11,000	Support of excavation.
3	CASCADE LOCKS BONNEVILLE L&D	Portland, OR	SW	1989			150,000	Permanent wall system
4	PORTLAND WEST SIDE CSO PROJECT, NICOLAI TUNNEL SHAFT	Portland, OR	SW, SH	2003	3.5'	150'	24,000	60' diameter construction access shaft for tunnel construction.
5	PORTLAND WEST SIDE CSO PROJECT,SHAFT AND PUMP STATION	Portland, OR	SW, SH	2003	3.0', 3.5', 4.0'	160'	165,000	144' and 60' diameter access shafts for pump station and tunnel construction.
	PENNSYLVANIA:							
1	HYATT REGENCY	Philadelphia, PA	SW	1974				2000 LF excavation support wall.
2	CENTER CITY RAIL CONNECTION	Philadelphia, PA	SW, TB	1979	2.0'	32'	16,300	Permanent wall for support of railroad tunnel portal and underpinning.
3	BRADY'S RUN PARK	Beaver Co. PA	SW,TB	1988	2.5'	35'	22,000	Permanent wall to stabilize lakefront area.
4	SOLDIERS & SAILORS MEMORIAL PARKING GARAGE.	Pittsburgh, PA	SW, TB	1990	2.0'	40'	35,000	Permanent wall for 5 level garage and protection of historical landmark building.
	RHODE ISLAND:							
1	40 WESTMINSTER ST. BUILDING	Providence, RI	SW,TD	1969	2.0'	40'	22,000	Permanent wall for up/down construction of 20 story building after completing 1st basement level and caissons.
	TENNESSEE:							
1	PRINTING PRESS FACILITY	Memphis, TN	SW, LBE				12,000	Support wall for 43' deep pit to support 12,000 ton hydraulic press.
	TEXAS :							
1	FIRST INTERNATIONAL TOWER BUILDING	Dallas,TX	SW, TB	1972	2.0'	50'	50,000	Permanent foundation wall.
2	BROWN & ROOT PROJECT	Corpus Christi,TX	SW	1975			1,000	Test section.
3	MEMORIAL DRIVE PROJECT	Dallas,TX	SW	1983			24,000	Permanent foundation wall.
4	ST. PAUL TOWER BUILDING	Dallas,TX	SW, TB	1983			35,000	Permanent foundation wall.
5	PARK CREEK PLACE BUILDING	Dallas,TX	SW	1984	2.0'	40'	20,000	Permanent foundation wall.
6	STERLING PLAZA BUILDING	Dallas,TX	SW	1984			35,000	Permanent foundation wall.
7	INTERFIRST PLAZA BUILDING	Dallas,TX	SW. PRE, TB	1984			35,000	Permanent foundation wall with precast panels
8	SECURITY BANK BUILDING	Dallas,TX	SW, TB	1985			29,000	Permanent foundation wall.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
9	THE ATRIUM BUILDING	Dallas,TX	SW,TB	1985			16,500	Permanent foundation wall.
10	NUEVA ST. DAM, MARINA & BRIDGE COMPLEX	San Antonio,TX	SW	1985			37,600	Permanent walls for dam and waterfront construction.
11	330 OAKLAWN OFFICE BUILDING	Dallas,TX	SW, TB	1986			31,000	Permanent foundation wall.
12	BRIGHT BANC PARKING GARAGE	Dallas,TX	SW, TB	1986			10,700	Permanent foundation wall.
13	DALLAS AREA RAPID TRANSIT	Dallas,TX	SW	1992	2.5'	55'	30,000	Support wall for construction of subway. Exit shaft used.
14	DALLAS AREA RAPID TRANSIT	Dallas,TX	SW	1992		-	30,000	Support wall for construction of subway at transition between tunnel and cut and cover sections and shaft area.
15	DALLAS AREA RAPID TRANSIT NC-1B	Dallas,TX	SW, TB	1994	2.0', 3.0'	-	60,000	Support wall for construction of subway.
16	PRESIDIO PLAZA BUILDING	San Antonio,TX	SW	1995	2.0'		36,000	Permanent foundation wall.
	VIRGINIA:							
1	AMTRAK RAIL YARD AND STATION	Alexandria, VA	SW	1970				Railroad station cash wall
2	OFFICE BUILDING - 8TH AND MAIN STREETS	Richmond, VA	SW	1973				Permanent wall for basement.
3	FOREST CITY RESIDENTIAL COMPLEX	Arlington, VA	SW	1991	3.0'	50'	47,000	Permanent wall and excavation cutoff and support using cross-lot bracing.
4	RICHMOND PUMP STATION	Richmond, VA	SW	1992			10,000	Permanent wall for pump station.
5	FOUR MILE RUN RELIEF PUMP STATION	Arlington, VA	SW, SH	1993	2.0'	80'	13,000	Permanent wall for 56' diameter shaft.
6	RICHMOND WATER FILTRATION PLANT	Richmoud, VA	SW				30,000	Slurry wall for construction of foundations for flood wall structure.
	WASHINGTON:							
1	WEST POINT PLANT	Seattle, WA	SW, TB					Permanent slurry wall and embankment support.
2	MERCER ISLAND ROUTE I-90 RET. WALLS - SHORE WOOD TO E. MERCER	Seattle, WA	SW,TB	1986	3.5'	56'	42,600	Permanent retaining wall for Highway I-90 and protection of apartment building on hillside.
3	EAST MERCER INTERCHANGE STAGE 2	Seattle, WA	SW	1987	2.0'	76'	55,000	Permanent retaining wall for Highway I-90.

4	SEATTLE LIGHT RAIL SYSTEM, BEACON HILL STATION	Seattle, WA	SW, SH	2005	3.0', 4.0'	180'	100,000	Shaft of 46' diameter for vents, elevations, mechanical and station support walls.
	WISCONSIN:							
1	FIRST WISCONSIN CTR. BUILDING	Milwaukee, WI	SW	1971	2.5'	65'	54,000	Permanent basement wall and support wall for 35' deep excavation. Friction piles support the wall panels.
2	WASTEWATER TREATMENT PLANT	Hudson, WI	SW, TB	1980				Excavation support wall.
3	MILWAUKEE THEATRE DISTRICT BLDG.	Milwaukee, WI	SW, TD	1986	2.5'	129'	132,000	Permanent wall basement by top down method used for support of excavation and underpinning.
4	CROSSTOWN INTERCEPTOR DROP SHAFTS CT-5, CT-6 & CT- 7	Milwaukee, WI	SW	1987			40,000	Slurry wall drop shafts (various locations).
	MEXICO:	City, State						
1	MEXICO CITY SUBWAY LINES 1, 2 & PART. 3	Mexico City, DF	SW	1968	2.0'-2.5'	50'	3,000,000	Excavation support wall.
2	MEXICO CITY SUBWAY LINES 3,4 & 5	Mexico City, DF	SW	1978	2.0'-2.5'	60'	3,000,000	Excavation support wall.
3	STEEL MILL	Lazaro Cardienas, Michoacan	SW	1984	2.6'	83'	17,000	
4	URBAN RAILWAY	Monterrey, NL	LBE	1988	2.0'	54'	-	Barrettes for bridge, as part of Metro subway.
5	QUAY WALL & DRYDOCK	Punta Banda	SW	1989				Permanent slurry wall for wharf & drydock.
6	CANCUN TOWER	Cancun, QR	LBE	1989	2.0'	62'	60,000	Load Bearing Walls in limestone, post-grouted.
7	HOTEL FOUR SEASONS BUILDING	Mexico City, DF	PRE	1990		46'	64,498	Permanent precast basement wall.
8	PLAZA ARQUIMEDES BLDG., POLANCO	Mexico City, DF	PRE	1991	1.0'	56'	34,721	Permanent precast basement wall for 3 level basement.
9	MEXICO CITY SUBWAY LINE 6, ZARAGOZA STA.	Mexico City, DF	SW	1991			35,000	Excavation support wall.
10	CAMPOS ELISEOS BUILDING, POLANCO	Mexico City, DF	PRE	1992	1.0', 1.6'	58'	21,435	Permanent precast basement wall.
11	FRENCH EMBASSY BUILDING	Mexico City, DF	PRE	1992	1.1'	51'	28,895	Permanent precast basement wall.
12	MEXICAN SENATE BUILDING	Mexico City, DF	PRE	1992	1.6'	72'	31,379	Permanent precast basement wall.
13	INFANTS HOSPITAL	Mexico City, DF	SW	1992	2.5'	46'	45,000	Permanent 3 level basement wall.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
14	MEXICO CITY SUBWAY LINE 8, GARIBALDI STATION	Mexico City, DF	PRE	1992	1.6'	37'	71,368	Permanent precast wall for subway construction..
15	CENTRAL HYDROTHERMAL PLANT	Topolobampo, Sinaloa	PRE	1993	1.6'	58'	41,816	Permanent precast wall for basement.
16	MEXICO CITY SUBWAY LINE B	Mexico City, DF	SW	1995	2.0'	90'	440,000	Excavation support walls.
17	EL ANGEL BUILDING	Mexico City, DF	SW	1995	2.0'	52'	16.898	Permanent slurry wall for basement.
18	MEXICO CITY SUBWAY LINE B	Mexico City, DF	SW	1995	2.0'	34'	95,243	Permanent wall for subway construction..
19	WORLD TRADE CENTER BUILDING	Mexico City, DF	SW	1995	2.0'	79'	145,122	Permanent wall for basement.
20	AUCHAN SUPERMARKET BUILDING	Mexico City, DF	SW	1996	2.6'	45'	63,332	Permanent basement wall.
21	MEXICO CITY SUBWAY LINE B	Mexico City, DF	SW	1997	1.3'	55'		Permanent precast walls. Section intersects with Line 6.
22	PETACALCO QUAI	Lazaro Cardienas, Michoacan	SW	1997	2.6'	98'	356,302	Quay wall for shore protection.
23	TORRE MAYOR BUILDING, CHAPULTEPEC	Mexico City, DF	SW	1998	2.0'	77'	80,000	Permanent slurry wall for basement.
24	W HOTEL BUILDING	Mexico City, DF	PRE,TB	1998	1.0'	100'	40,000	Permanent 7 level basement wall using temporary anchors.
25	PRICE WATERHOUSE BUILDING	Mexico City, DF	SW	1998	2.0'	67'	62,000	Permanent basement wall
26	HOTEL SIDEK HILTON BUILDING	Mexico City, DF	SW	1998	2.5'	90'	100,000	Permanent basement wall for planned 7 level basement top-down construction for protection of nearby strucures (project stopped).
27	CORPORATE OFFICES, SANTA FE	Mexico City, DF	SW, TB	1999	2.0'	50'	30,000	Permanent basement and temporary anchored support wall adjacent major highway.
28	JUDICIAL BUILDING	Toluca, Edomex	PRE	1999	1.2'	50'		Permanent precast basement wall.
29	LASALLE BUILDING	Toluca, Edomex	PRE	1999	1.0'	62'	46,923	Permanent precast basement wall.

30	TORRE INSURGENTES BUILDING	Mexico City, DF	SW	1999	1.7'	77'	32,120	Permanentl basement wall.
31	LA CORONA SOAP FACTORY BUILDING	Mexico City, DF	SW	2000	2.0'	40'		Excavation support wall.
32	MANPOWER BUILDING	Mexico City, DF	SW,TD	2000				Permanent 4 level basement wall using up-down construction method.
33	CULVERT IN HIGHWAY	Coatzacoalcos, Ver	SW	2001	1.1'	58'		Permanent sidewall of culvert.
34	MASARIK 275 BUILDING	Mexico City, DF	PRE	2001	1.0'	46'	18,947	Permanent precast basement wall.
35	REFORMA 115 BUILDING	Mexico City, DF	SW	2001	1.7'	101'	54,705	Permanentl basement wall
36	RIO HONDO PUMPING PLANT	Naucalpan, Mexico State	SW, SH	2001	2.0'	52'	13,544	Circular shaft for excavation support.
37	TAMUIN CENTRAL HYDROTHERMAL PLANT	Tamuin, San Luis Potosi	SW	2001	2.0'	39'	9,137	Reinforced plastic wall to stabilize excavation.
38	BROSS PRIVATE RESIDENCE	Mexico City, DF	SW,TB	2002	1.3'	40'	5,000	Excavation support wall.using temporary tiebacks.
39	CAISSON STRUCTURE	Reynosa, Tamps	SW	2002	2.0'	40'	4,000	Excavation support wall.
40	HAVRE STRUCTURE	Mexico City, DF	SW	2002	2.0'			Excavation support wall.
41	INSURGENTES 881 BUILDING	Mexico City, DF	SW	2002	2.0'	113'	75,000	Permanent 9 level basement wall.
42	PAJARITOS PETROCHEMICAL PLANT	Coatzacoalcos, Ver	SW	2002	2.0'	51'	10,900	Reinforced plastic wall to stabilize excavation.
43	TORRE LIBERTAD BUILDING	Mexico City, DF	SW,TD	2003	2.6'	101'	77,368	Permanent basement wall for planned 7 level basement with top-down construction.
43	TORRE LIBERTAD BUILDING	Mexico City, DF	LBE	2003	1.6', 2.6'	131'	59,172	Load bearing walls for raft foundation.
44	JV TOWERS	Puebla, Puebla	LBE	2003	2.3'	60'	32,000	Load bearing walls for 2- 350 ft high towers.
45	MOLIERE LOFTS STRUCTURE	Mexico City, DF	SW	2003	1.3'	45'	22,000	Permanent 3 level basement wall.
46	YMCA OFFICE BUILDING	Mexico City, DF	SW	2003	2.0'	40'	24,000	Permanent 2 level basement wall.
47	JUAREZ-SERDAN VIADUCT	Puebla, Puebla	PRE	2004	2.2'	47'	105,000	Permanent precast, prestressed walls, 13 ft. wide; wubway type structure.
48	REFORMA NEWSPAPER	Mexico City, DF	SW	2004	1.0'	33'	13,000	Permanent wall for rotary press (2 units).
49	RINCON BOSQUE CONDOS BUILDING	Mexico City, DF	SW	2004	1.1'	28'	4,500	Permanent 2 level basement wall.

	State/Country		Type	Construction Data				Project
	Project Name	Location	Method	Yr.	Width	Depth	Area (sf)	Description
50	PASEO SAN FRANCISCO ROADWAY	Puebla, Puebla	SW	2004	2.0'	50'	25,000	Excavation support wall.
51	CAPITAL PARK BUILDING	Mexico City, DF	SW	2004	1.5'	40'	30,667	Permanent 2 level basement wall.
52	JUDICIAL BUILDING	Mexico City, DF	SW	2004	2.0'	33'	55,000	Excavation support wall.
53	VERANDA TOWER BUILDING	Acapulco,Gro	SW	2004	2.0'	33'	5,500	Permanent 2 level basement wall.
54	EMPORIO PLAZA BUILDING	Acapulco,Gro	SW	2004	2.0'	27	43,000	Permanent 1 level basement wall.
55	CUAUHTEMOC MALL STRUCTURE	Mexico City, DF	SW	2004	2.0'	40'	106,667	Permanent 2 level basement wall.
56	NEWTON BUILDING	Mexico City, DF	SW	2004	2.0'			
	CARIBBEAN AREA:							
1	CORBIAN'S PLAZA BUILDING	San Juan, Puerto Rico	SW, TB	1972	2.5'	49'	47,000	Permanent basement wall and support wall for 42' deep excavation.
2	CHASE MANHATTAN BANK	St. Thomas, Virgin Island	SW , LBE	1973	2.5'	29'	13,000	Permanent basement wall and support wall for 42' deep excavation, and 21 load bearing elements.
3	DE DIEGO EXPRESSWAY	San Juan, Puerto Rico	SW	1974	2.5'	49'	40,000	T-Shaped slurry wall for support of excavation for roadway underpass and underpinning.
4	COMPANIA DE AGUA PUMPING STATION	San Juan, Puerto Rico	SW	2000	2.7'	70'	31,000	Support of excavation wall for Pumping Station
	CANADA:							
1	TORONTO SUBWAY- BLOOR ST. SECTION	Toronto, Ontario	SW,TD	1960	2.0'	54'	26,000	Permanent Wall and Support of excavation for two stations using top down construction.
2	TRANSCANADA HIGHWAY MONTREAL, QIR - 60	Montreal, Quebec	SW, TB	1971			100,000	Support of excavation and underpinning for depressed roadway.
3	TRANSCANADA HIGHWAY MONTREAL, QIR - 56	Montreal, Quebec	SW, TB	1972			120,000	Support of excavation for depressed roadway.
4	C.E.G.E.P. BUILDING	Montreal, Quebec	SW, TB	1973			75,000	Permanent basement wall.
5	PUMPING STATIONS	Seven Islands, Quebec	SW	1973	2.0'	49'		Circular shaft of 43' o.d. for pump station.
6	MONTREAL METRO SUBWAY LINE	Montreal, Quebec	SW, TB	1973			5,000	Support of excavation for subway tunnel.

7	MONTREAL OLYMPIC STADIUM	Montreal, Quebec	SW	1973				
8	MONTREAL METRO STATION	Montreal, Quebec	SW	1974			260,000	Excavation support with bracing for subway.
9	MONTREAL FILTRATION STATION	Montreal, Quebec	SW, TB	1974			20,000	Excavation spport for pump station.
10	MONTREAL METRO SUBWAY - CONT. 119	Montreal, Quebec	SW	1974	2.0'	30'		Support of excavation for a subway tunnel.
11	MONTREAL METRO STATION de METRO VANIER	Montreal, Quebec	SW	1975			15,000	Excavation support with bracing for subway.
12	UNIVERSITY OF QUEBEC AT ST. DENIS ST.	Montreal, Quebec	SW	1975	2.0'	50'	78,000	Support of excavation and protection wall for historic St. Jacques Church for 30' deep excavation.
13	ONTARIO HYDRO PICKERING GENERATING STATION	Pickering, Ontario	SW TB	1977	2.5'	60'	31,600	Permanent foundation wall and support of 45' deep excavation adjacent Lake Ontario.
14	MONTREAL HIGHWAY UNDERPASS - QUEEN ELIZABETH	Montreal, Quebec	SW	1977				
15	MONTREAL SEWER OUTFALLS	Iles aux Vaches Island, Quebec	SW	1977	2.0'	135'	34,000	Access shaft of 34' dia. to 200' deep into rock used for sewer tunnel construction.
16	GUY FAVREAU BUILDING	Montreal, Quebec	SW TB	1978	2.0'	42'		Permanent perimeter wall for 2 level basement.
17	MONTREAL EMERGENCY TUNNEL - DOWNTOWN AREA	Montreal, Quebec	SW	1980				
18	BATHHURST WATER TREATMENT PLANT	Bathhurst, New Brunswick	SW	1980			4,000	Excavation support wall.
19	CALGARY LIGHT RAIL, UNDERPASS	Calgary, Alberta	SW	1985				Excavation support wall.
20	465 MCGILL ST. TOWER BUILDING	Montreal, Quebec	SW	1990	2.5'	65'	26,600	Permanent basement wall and support of excavation.

Primera edición en español

DEEP FOUNDATIONS INSTITUTE

326 Lafayette Avenue
Hawthorne, NJ 07506 USA
T: (973) 423-4030 F: (973) 423-4031
E-mail: dfiq@dfi.org
www.dfi.org