



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO

**“CONSTRUCCIÓN DE MUROS TABLESTACA (MURO MILÁN)
EN LA ESTACIÓN GUERRERO DEL METROPOLITANO ‘LINEA B’
DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:
TOMÁS SUÁREZ JUÁREZ

ASESOR:
M. en I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ



Nezahualcóyotl, Estado De México, junio 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

“El éxito es un viaje, no un destino”

Con profunda gratitud:

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Especialmente a la Facultad de Estudios Superiores Aragón, donde el paso por sus aulas y laboratorios, me permitieron obtener una formación profesional que traerá grandes satisfacciones a lo largo de mi carrera profesional.

A mi familia: con respeto, gratitud y afecto.

A mis amigos y compañeros; a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron al logro de una de mis metas que era obtener el título profesional hoy y siempre, muchas gracias.

Alcances

Una obra civil, tiene la finalidad de satisfacer una necesidad o problemática. El desarrollo de este caso práctico tiene la finalidad de mostrar las técnicas de la ingeniería que son utilizadas, en la construcción por lo que la preparación en geología, geotecnia, mecánica de suelos, cimentaciones, estructuras, construcción, hidráulica y planeación constituyen la base científica del desarrollo de trabajo del ingeniero civil.

Por ejemplo el trazo juega el papel más importante en el procedimiento constructivo, ya que de este dependerá a partir de este momento, el que la construcción de los muro tablestaca quede en su posición correcta conservando los gálipos que el proyecto exigió. Otra técnica es el uso del brocal que es una estructura de concreto armado cuya excavación es realizada a mano con el objeto de detectar posibles interferencias e instalaciones municipales (ductos de teléfonos y compañía de luz, líneas de gas, drenajes, agua potable, redes de riego, etc).

La finalidad de su construcción, obedece a la necesidad de contar con una zanja que permita garantizar la posición y verticalidad correcta del equipo guiado durante el proceso de excavación del tramo de muro tablestaca (muro Milán) en cuestión.

La fuga de lodo bentonítico, represento atrasos en la obra ya que los tiempos de construcción estimados en los muros tablestacas no fueron los marcados en el proyecto y al mismo tiempo repercutió en los demás tiempos de trabajo. En este caso práctico en el que tuve la oportunidad de participar realmente se pone uno a prueba para tomar decisiones en la obra civil de manera responsable, contando con información confiable que nos permita tomar decisiones de manera crítica.

Objetivo General

Con base a los conocimientos adquiridos en esta prestigiosa universidad, se plantea un caso práctico y su desarrollo enfocado al proceso constructivo de un muro Milán. Partiendo de los fundamentos de la geotecnia para evaluar y examinar el tipo de suelo que determinará, el tipo de cimentación profunda que nos permita contener los empujes del suelo, para la construcción de la obra civil, un caso práctico de esto es el sistema de transporte colectivo metro de la Ciudad de México.

Objetivos específicos

El análisis del caso práctico que se expone explica el proceso constructivo de los muros Milán, utilizados en la estación del metro Guerrero, donde tuve la oportunidad de trabajar activamente en la obra Civil. En este tipo de procesos constructivos se determina la importancia de la toma de decisiones de un ingeniero civil, en la modificación de la naturaleza de manera inteligente, comprendiendo que toda causa tiene un efecto sin romper condiciones de equilibrio de nuestro medio ambiente.

Introducción.

En base a los problemas que se presentaron en la construcción del sistema de transporte metro, principalmente en las excavaciones, las cuales requieren de cimentaciones profundas para su desplante, se tuvo la necesidad de buscar nuevos métodos que ayudaran a solucionar estos problemas, sobre todo aquellos que se tienen en las zonas urbanas donde la obra por construir colinda con otras estructuras.

La necesidad de construir estructuras subterráneas en suelos blandos o granulares, en ocasiones bajo el nivel de aguas freáticas, ha obligado a buscar métodos que conjuguen por un lado la buena ejecución de la obra y por otro mantengan inalterado el estado de esfuerzos en el suelo de la estructura vecina , evitando así su colapso.

Este sistema de construcción basado en los muros Milán ha resultado de gran aplicación en la Ciudad de México, debido a las características tan especiales que presenta el subsuelo del Valle, es por eso que se considera necesario hacer un análisis de todos los factores que intervienen en su formación, como son: el clima, los depósitos diferentes de los volcanes, el lago, su estratigrafía y la zonificación de la cuenca en base a las propiedades particulares de cada una (Figura 1.2). En la actualidad la construcción de cajones para el tren subterráneo de transporte colectivo metropolitano, este procedimiento resulto el más favorable, tanto por lo económico y lo rápido de su construcción, comparado con otros métodos como el tablaestacado de madera con guías de acero.

Durante el desarrollo de esta tesis mencionaremos las ventajas que nos permiten obtener avances considerables , ya que los muros colados in situ en el suelo de la Ciudad de México aparte de construirse como una tabla estaca para poder efectuar con seguridad y rapidez una excavación, tiene la finalidad de formar parte definitiva

de la estructura. Entre los elementos estructurales de concreto armado que pueden colocarse en sitio, se encuentran los pilotes y los muros ; los cuales se aplican a la construcción de cimientos de edificios , cajones subterráneos, pilas de puentes, acueductos subterráneos, lumbreras de acceso a túneles . Sin embargo dentro de mi experiencia profesional, tuve la responsabilidad de trabajar en la construcción del metro Guerrero, donde utilice la construcción del Muro Milán y el uso del lodo bentonítico para la estabilización del suelo.

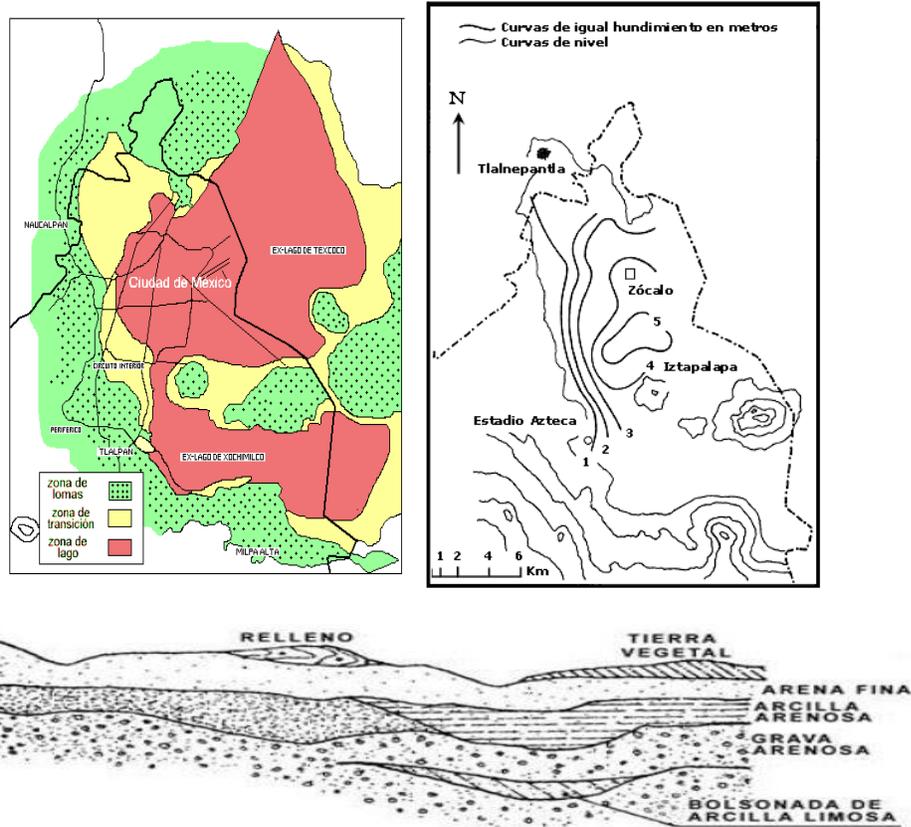


Figura 1.2. Estratificación y zonificación de la CDMX.

En la figura 1.3 se observa el plano del metro de la Ciudad de México, donde podemos observar que está conformado por 12 líneas que se identifican por una letra o número y un color. La longitud total de la red es de 225 kilómetros que sirven a 195 estaciones. De todas las estaciones más del 60 % son subterráneas, en

concreto 115. Otras 55 circulan a nivel de superficie y 25 estaciones van por viaducto elevado. Este sistema ferroviario que circula en redes de túneles subterráneos transporta rápidamente a los pasajeros a través de la Ciudad porque no son detenidos por el tráfico o el clima adverso sobre la superficie.

La zona de estudio en la que participe activamente fue la Línea B. Buena Vista – Ciudad Azteca que va de este a oeste, de manera particular en la estación del metro Guerrero. Es la línea de color verde y gris. Su longitud es de 23 kilómetros, 21 estaciones, 5 estaciones de correspondencia, 14 de paso y 2 terminales, 6 estaciones son subterráneas, 11 de superficie y 4 elevadas.



Figura 1.3. Plano del metro de las CDMX

El objetivo del presente trabajo es mostrar mediante mi experiencia profesional, el proceso constructivo de un muro Milán, para la construcción del metro Guerrero del sistema colectivo metro.

Índice

Introducción.....	5
1. Antecedentes.....	10
2. Definición de muro Milán.....	12
2.1. Definición	12
2.2. Aplicación del muro de Milán	13
2.3. Almejas para Muro Milán	15
2.4. El lodo bentonítico como estabilizador de la zanja.....	17
2.5. Procedimiento de construcción de un muro Milán.....	18
2.5.1 Construcción del muro in situ o colado en el lugar.....	18
2.5.2 Construcción del muro con piezas prefabricadas y avance modular	20
2.6 Construcción del muro con piezas prefabricadas con avance continuo.....	23
3. Marco teórico, funcionamiento, soporte teórico - técnico.....	26
3.1. Control de Calidad del lodo Bentonítico	27
3.1.1. Densidad.....	29
3.1.2. Viscosidad plástica	30
3.1.3. Viscosidad Marsh.....	32
3.1.4. Contenido de arena.	33
3.2. Empujes laterales sobre muros Milán o tablestacas	34
3.3. Teorías sobre empujes de tierra	34
3.3.1. Estado de empujes en reposo	36
3.3.2 Estado de empujes activo.....	37
3.3.3 Estado de empujes pasivo.....	37
3.3.4 Relación entre coeficientes de empuje	38
3.3.5 Desplazamiento Horizontal	38
3.3.6. Fricción y adherencia contra el muro o ademe	39
3.4. Cálculo de empujes laterales	40
3.4.1 Antecedentes.....	40
3.4.2 Teoría de Rankine	40
3.4.3. Teoría de Coulomb	42
3.4.4. Teoría de la espiral Logarítmica.....	44
3.4.5. Empujes laterales en suelos cohesivos-friccionantes.....	45

3.4.6. Excavaciones sin soporte	46
3.4.7. Sobrecargas y otras acciones.....	47
3.5. Ecuaciones para cargas lineales, uniformes, triangulares	51
3.5.1. Ecuación para cargas uniformes.....	52
3.5.2. Cargas Triangulares	53
4. Aplicación a un caso real	54
4.1.- Brocal.....	54
4.2.- Excavación de muro tablestaca.	54
4.3.- Cimbra metálica trapezoidal.....	55
4.4. Hincado de parrilla de acero de refuerzo	56
4.5. Tubería tremie (lingadas)	57
4.6. Colado de muro tablestaca	57
4.7. Problemática y solución de la obra	58
Conclusiones.....	61
Referencias.....	65
Glosario.....	67

1. Antecedentes

El empleo de bentonita como estabilizador de pozos de agua y petroleros se remonta a 1910, pero fue hasta 1938 que el ingeniero italiano Carlo Veder consideró usar la bentonita para estabilizar zanjas excavadas en el suelo. Posteriormente la técnica de los muros Milán floreció para la construcción del Metro de esa ciudad italiana, cuyo subsuelo aluvial con limos y arenas saturadas dificultaba las excavaciones; los inventores fueron los ingenieros Veder y Marconi que trabajando independientemente la desarrollaron por los años 1950 a 1953 (Schneebeli, 1971), inmediatamente fue adoptada en otros países europeos, que por esos años tenían intensivos programas de reconstrucción tanto por los daños producidos por la 2° Guerra Mundial como por la modernización de sus ciudades, Gould (1990). Sin duda en la ciudad de París la competencia entre dos empresas geotécnico-constructoras Soletanche y Bachy impulsó el desarrollo tecnológico actual de ese procedimiento de construcción.

En los Estados Unidos, donde casi todas las excavaciones profundas se estabilizaban con tablestaca de acero, en 1962 se construyó el primer muro Milán para un edificio en la ciudad de Nueva York, al paso de los años, el uso de las máquinas TBM (tunnel boring machine) se volvió más frecuente por su potencia, es tan potente como 12 jets jumbo, y puede horadar 18 m en un día, este tipo de máquinas horadoras de túneles fue usada en la década de 1930 durante la construcción de las líneas del metro en Nueva York; posteriormente, en 1967 se utilizaron en la construcción del metro de San Francisco y para la notable edificación del World Trade Center de Nueva York, obra en donde se demostró ampliamente la confiabilidad de esta técnica y desde entonces se ha venido incrementando su empleo en ese país.

En la Ciudad de México el muro Milán se empezó a aplicar en 1967, y tomó dos años desarrollar la habilidad de construirlo con la calidad que tenía en ese entonces

en Europa; en los siguientes 17 años se le construyó sin cambio ni mejora alguna. Hasta 1985 se despertó el empeño de depurar y actualizar la técnica de construcción, la Comisión de Vialidad y Transporte (COVITUR) impulsó en 1987 y 1988 investigaciones experimentales de campo, desgraciadamente ese esfuerzo se perdió sin generar un verdadero cambio. Se podría decir que en 1992 de nuevo se despertaron las inquietudes por depurar la técnica de construcción del muro, pero los logros fueron muy limitados.

En la construcción del metro de la Ciudad de México, el Muro Milán ha sido un elemento de extraordinaria utilidad, al inicio de la obra, en 1967, se adaptó la tecnología al subsuelo blando arcilloso de la ciudad, empleándolo como muro tablaestacado temporal para facilitar la excavación del cajón; en los primeros años se demostró también su confiabilidad como parte del cajón estructural definitivo, mediante un extenso tramo de prueba. En cuanto al procedimiento de ejecución, se comprobó la utilidad y eficacia de las almejas hidráulicas; respecto al fluido estabilizador, se recurrió al lodo bentonítico.

La variedad de sus aplicaciones cada día es mayor y la calidad que se le puede dar también ha mejorado, incremento su empleo como muros estructurales definitivos tanto en cajones para Metros, en cimentación de edificios, en simples muros de contención y muros de protección contra inundaciones. Otra frecuente aplicación es para la construcción de muelles marginales en regiones sísmicas.

En nuestro país se le utilizó por primera vez en la construcción del Metro de la ciudad de México (figura 1.1), posteriormente se le adoptó en los muelles de los puertos Lázaro Cárdenas, Altamira y Dos Bocas; se empleó ampliamente como sostenimiento temporal en las excavaciones de la 2° etapa de la siderúrgica SICARTSA. En edificios poco se ha usado, pero se advierte que su utilidad será creciente en el futuro.

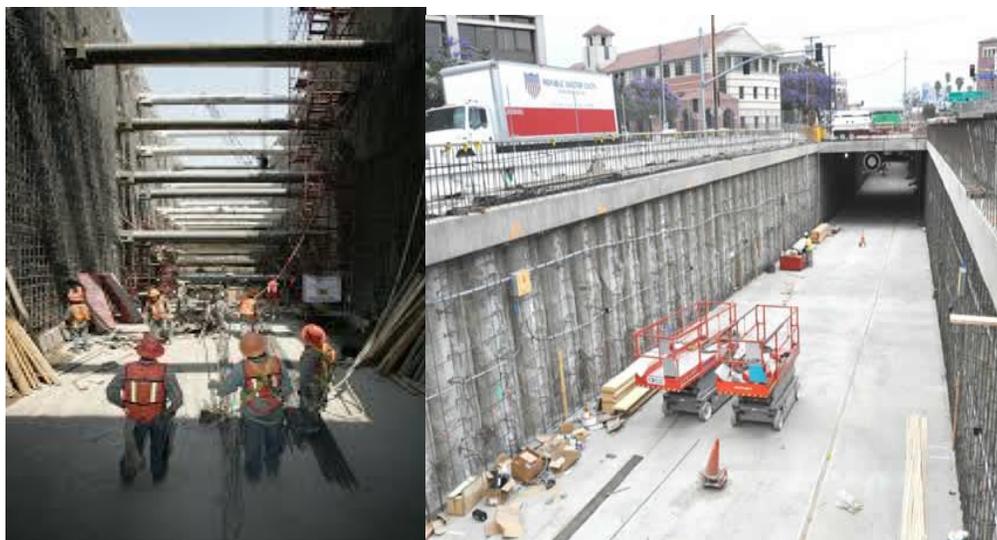


Figura 1.1. Uso de muro Milán para la construcción del metro de la CDMX.

2. Definición de muro Milán

2.1. Definición

Como afirman los autores, Santoyo y Pacheco (2002) “El muro Milán, diafragma o pantalla se puede definir como una pared de concreto reforzado que conforma en el subsuelo y que indistintamente recibe alguno de esos dos nombres, es un ingenio constructivo que ha influido notablemente en la construcción de estructuras alojadas en el subsuelo y sistemas subterráneos de transporte de transporte urbano en muchas ciudades del mundo; su función principal es la de servir como elemento de sostenimiento temporal de zanjas longitudinales abiertas en la masa de suelo y también se ha empleado extensamente para estabilizar excavaciones profundas para la construcción de cimentaciones.” (p. 57)

A través de esta técnica es posible realizar excavaciones profundas en zonas urbanas, sin afectar a los edificios cercanos, así como impermeabilizar la zona de

excavación, asimismo permiten prevenir inestabilidades durante la excavación conteniendo las paredes con lodos bentónicos, esta estructura de contención suele crearse in situ o puede venir prefabricada.

2.2. Aplicación del muro de Milán

Las aplicaciones de Muro Milán en construcción y edificación son diversas: Lumbreras, obras subterráneas, túneles de metro, pasos a desnivel, sótanos, estacionamientos subterráneos, cimentaciones de edificios urbanos, protección de márgenes, muelles o presas, entre otros (figura 2.1). Son muros de contención utilizados para soportar empujones horizontales de la masa del suelo teniendo una función temporal muy parecida a las tablaestacas, después la importancia del muro Milán se traslada a ser una parte estructural para mediar las condiciones que el suelo impone a corto y largo plazo.



Figura 2.1. Ejemplo de aplicación de muro Milán.

Los muros Milán y tablaestacas son utilizados para poder dar soporte a excavaciones profundas, con el uso de materiales como la madera, el concreto, el acero, o bien los muros de concretos colados en las zanjas llamados muros Milán

(Segovia, 2002). La variedad de sus aplicaciones cada día es mayor y la calidad que se le puede dar también ha mejorado, incremento su empleo como muros estructurales definitivos tanto en cajones para Metros, en cimentación de edificios, en simples muros de contención y muros de protección contra inundaciones por lo que sus aplicaciones en las construcciones civiles son muchas. Sirve como apoyo a las cimentaciones o para contener cortes verticales en excavaciones. Otra frecuente aplicación es para la construcción de muelles marginales en regiones sísmicas.

Un muro Milán cuenta con la capacidad de soportar empujes de la masa del suelo, cuando el muro ya forma parte de la estructura tiene la capacidad de soportar condiciones sísmicas y soportar en algunas ocasiones la supresión a la que se somete la estructura.

La cimentación es de suma importancia en cualquier tipo de construcción ya que es está la que se encarga de dar soporte a la estructura, por esta razón al hacer una excavación se hace necesario realizar estudios de suelo y entender los cambios que la excavación genera en las propiedades del suelo para poder generar un alivio en las fuerzas totales que se ejercen sobre este (Ruíz, 2011); los muros Milán son un tipo de cimentación profunda que actúa como un muro de contención.

Clasificación de los muros Milán.

Secciones de Muro Milán:

- ✓ 40 centímetros.
- ✓ 60 centímetros.
- ✓ 80 centímetros.
- ✓ Profundidad hasta de 40 metros.

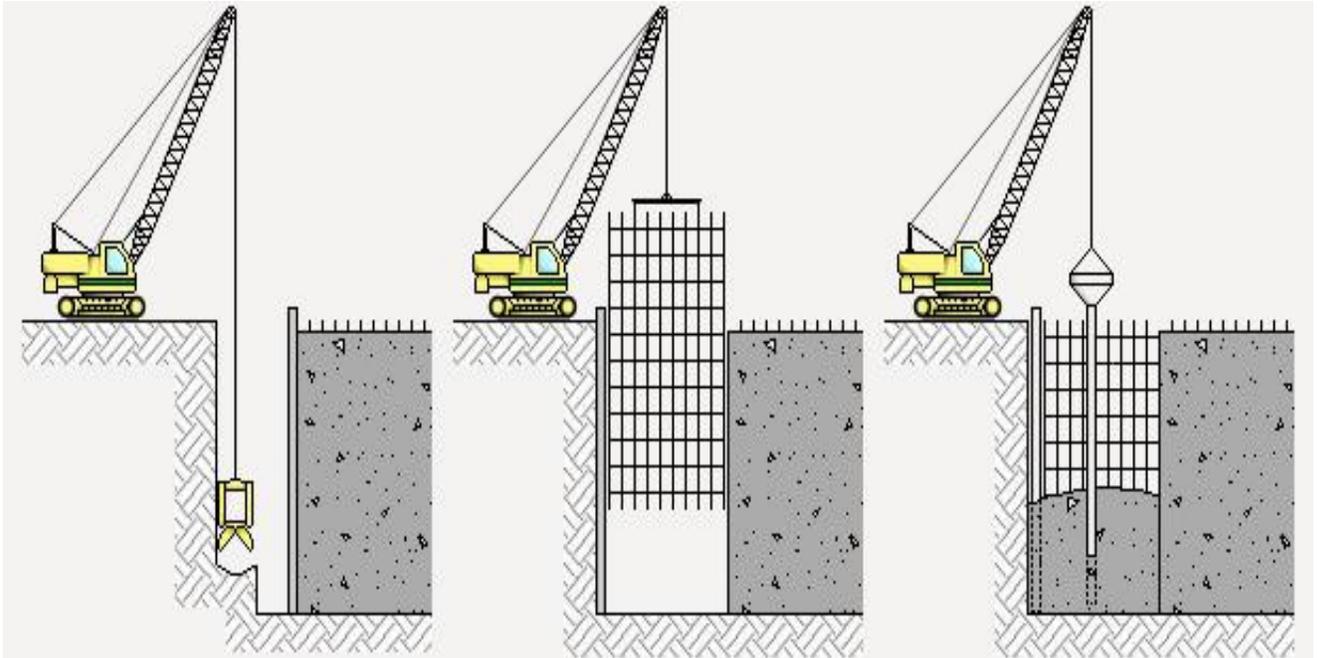


Figura 2.2. Proceso constructivo de un muro Milán.

2.3. Almejas para Muro Milán

Las Almejas TECNOGRAB se caracterizan por su simplicidad, resistencia, productividad y bajo mantenimiento, fruto de la experiencia de 40 años trabajando en cimentaciones, son equipos diseñados, desarrollados y probados en obra.

Se disponen de diferentes modelos con espesores de **300 mm y hasta 1.200 mm** en versiones mecánicas (de cable) así como hidráulicas, con medidas compactas y peso equilibrado para ser transportadas sin necesidad de permisos especiales. También existe una combinación eficiente y compacta, compuesta de una **grúa Hidráulica FUCHS** con **Almeja TECNOGRAB**, especial para ejecución de muro Milán en espacios reducidos, ideal para operación en zonas urbanas como estacionamientos subterráneos.(Tabla 2.1)

MODELOS DE ALMEJAS	300	400	500	600	800	1000
Altura Total(mm)	7700	7700	7660	7660	7660	7660
Altura C/ Valvas Abiertas	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Peso (Kg)	7100	7500	8950	10000	13500	10500
Ancho (mm)	2340	2340	2340	2340	2340	2340
Apertura valvas (mm)	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Dientes (mm)	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Peso Valva der.(kg)	440	540	540	624	750	845
Volumen (Lts)	57.3	74.4	77	9	105	120
Dientes	2	2	2	3	3	4
Ancho (mm)	330	430	470	620	820	1020

Tabla 2.1 Dimensiones de almejas

Se utiliza para realizar excavaciones en las que se va a extraer un gran volumen de tierra, como por ejemplo cimentaciones, estacionamientos subterráneos, es decir, excavaciones en las que necesitas contener las paredes circundantes. Figura 2.3.

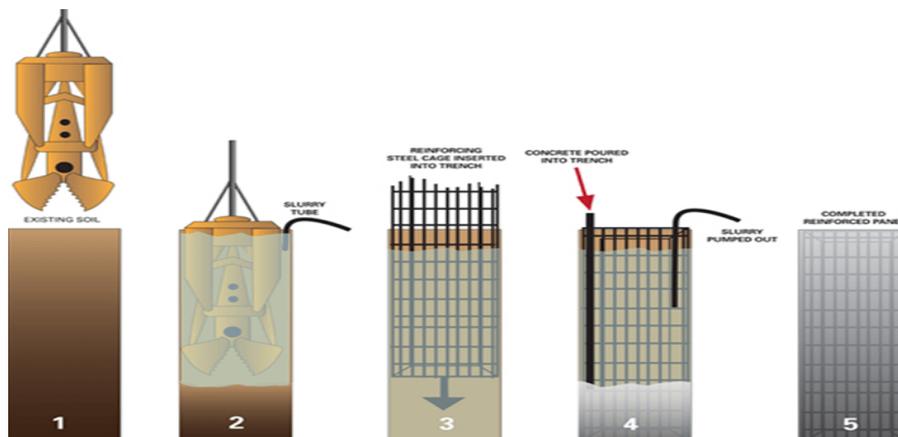


Figura 2.3 Contención de paredes circundantes

Sirve principalmente como apoyo a las cimentaciones o para contener cortes verticales en excavaciones. Sus aplicaciones en las construcciones civiles son muchas, y entre ellas podemos mencionar obras subterráneas y túneles urbanos (Metro), sótanos y cajones de cimentación de edificios, estacionamientos subterráneos, muelles, presas, silos, canales de gran sección y cárcamos de bombeo de gran capacidad.

2.4. El lodo bentonítico como estabilizador de la zanja

Los lodos bentoníticos introducidos durante la excavación de la zanja forman en sus paredes una costra o “cake” como consecuencia de la pérdida local de agua que sufren, se forma así una especie de membrana de muy baja permeabilidad que permite el desarrollo y aplicación de la presión del fluido estabilizador a las paredes de la excavación. En las arcillas de la ciudad de México cuando se excava la zanja sólo con agua, las maniobras de operación de las almejas forman de manera espontánea un lodo arcilloso que también es capaz de formar costra como en los bentoníticos.

Es evidente que en las arenas permeables se requiere un lodo viscoso y que sólo con bentonita e incluso aditivos se puede lograr la costra; en cambio, en las arcillas y en arenas con porcentajes significativos de arcillas, un lodo de baja viscosidad es suficiente, ya que en las paredes de la excavación necesariamente queda untada una capa de arcilla remoldeada por la almeja de excavación, la cual funciona como una excelente costra estabilizadora, que además es complementada en los eventuales estratos arenosos con los coloides del lodo arcilloso.

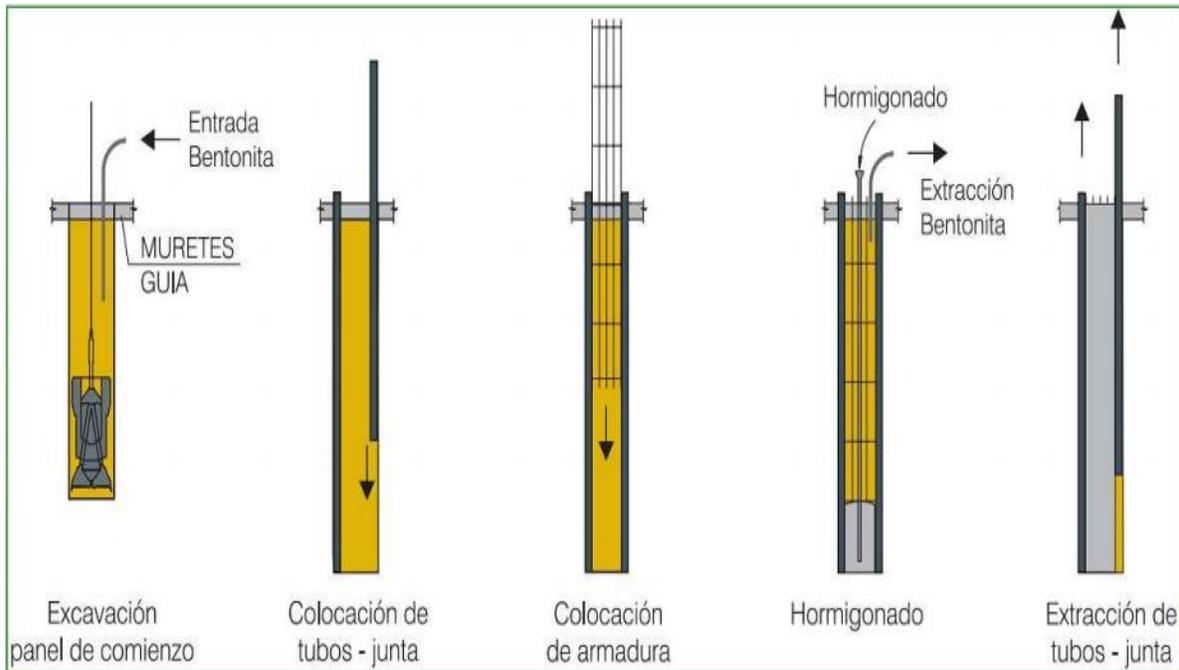


Figura 2.4. Aplicación de lodo bentonítico.

2.5. Procedimiento de construcción de un muro Milán

2.5.1 Construcción del muro in situ o colado en el lugar

La construcción de este tipo de muros colados en el lugar tiene reglas generales que sirven para asegurar que se alcance la calidad necesaria para su empleo como tablestaca y como muros estructurales. Siendo las más básicas las que se describirán a continuación.

Módulo de excavación. Se identifica como tablero a un tramo de zanja que se profundiza con una máquina excavadora vertical, colocada en tres posiciones para alcanzar una longitud horizontal típica de unos 6 m y de la profundidad requerida; en cuanto al ancho, primero el de la excavación y después del muro terminado, usualmente es de 60 y 80 cm; en la Figura. 2.5. Se muestra como primero se excavan las dos posiciones laterales (A, B) y finalmente la central (C), con el único

propósito de lograr simetría en la operación de la almeja de excavación y con ello conservar su verticalidad. La longitud precisa de la zanja queda condicionada por la de cada segmento de muro, más el ancho de la junta o juntas temporales de colado.

Restricciones de frontera. Para definir el procedimiento de vaciado del concreto de un tablero se presenta alguna de las siguientes tres condiciones de confinamiento en sus extremos: (a) se trata de un tablero independiente que se colará confinado por dos juntas temporales; esto es, que ni el muro inmediato anterior o el posterior han sido fabricados; (b) que en ambos extremos estén construidos los muros y que tengan la edad mínima necesaria para soportar la maniobra de limpieza de sus juntas machihembradas; esto significa que el concreto ha alcanzado la resistencia que tolera esas maniobras, y (c) que en uno de los extremos se utilice junta temporal y el otro esté confinado por un muro con la edad mínima.

Secuencia alternada de excavación. La manera más ordenada y eficiente de atacar un muro Milán se ilustra esquemáticamente en la Figura. 2.5 y esencialmente consiste en una primera etapa de avance, que se detendrá cuando los muros iniciales tengan la edad mínima que se describió en el párrafo anterior; en ese momento el equipo de excavación y colado retrocede para iniciar la segunda etapa de avance, en la que se construyen los tableros intermedios faltantes.

Muros esbeltos: se define en este manual como muro Milán esbelto aquel cuyo espesor es de 30 a 45 cm, estos espesores hasta hace pocos años eran irrealizables, porque se carecía de la maquinaria necesaria para llevar a cabo la excavación. La importancia de poder fabricar muros Milán esbeltos los hace accesibles a mayores aplicaciones. En cuanto a la manera de construirlos es igual a los de tamaño usual excepto que se requiere maquinaria adecuada que incluso puede operar en áreas reducidas.

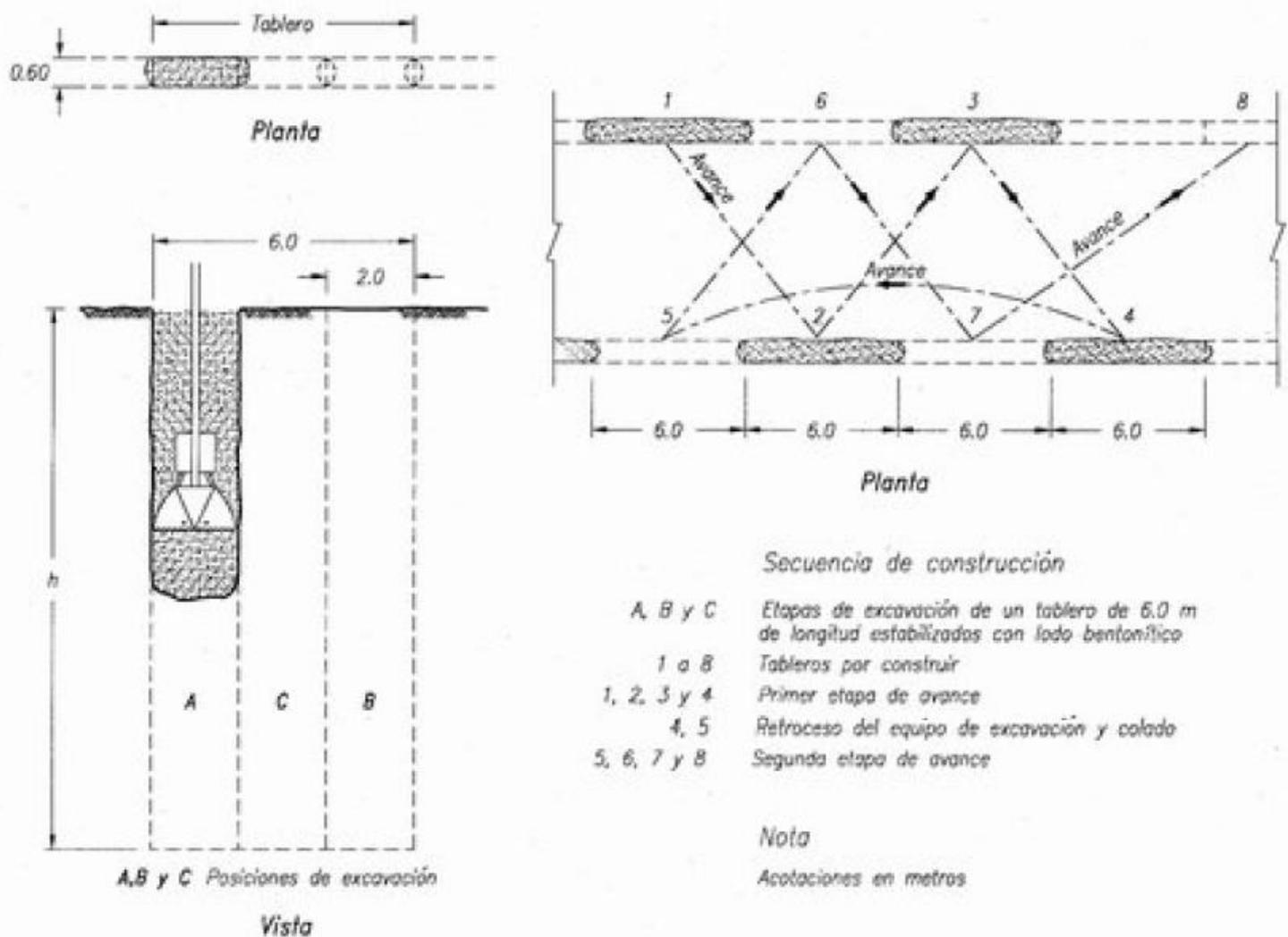


Figura 2.5. Secuencia alternada de excavación

2.5.2 Construcción del muro con piezas prefabricadas y avance modular

La empresa francesa Bachy desarrolló la técnica pionera de colocación de muros prefabricados (Xanthakos, 1979), la cual mantiene vigente el concepto del módulo tablero y que por ello sólo permite avances cortos en la excavación de la zanja. Por su parte, COVITUR, como se mencionó antes, experimentó un procedimiento similar

al de Bachy con módulos de excavación adaptados a la resistencia que imponen los suelos blandos de la Ciudad de México.

Descripción de estos muros. La zanja se estabiliza inicialmente con lodo arcilloso o bentonítico; ese lodo, previamente a la colocación de los pre-colados de concreto se sustituye con lodo fraguante. Las piezas pre-coladas son una secuencia de piezas verticales de concreto ensambladas mediante un gancho de acero y placas guía también de acero. Una vez colocadas todas las piezas, el lodo fraguante endurece hasta una resistencia similar a la del subsuelo para soportar y confinar al muro en su posición. La otra importante función del lodo fraguante es la de constituirse en barrera de baja permeabilidad, que complementa al sello principal; que en el caso de la empresa Bachy consiste en una banda de hule (Xanthakos, 1994).

Módulo de excavación. Los tableros que se han excavado en los muros experimentales en la ciudad de México han sido de 8 m de longitud, para permitir la introducción de 3 piezas de 2.5 m de ancho y 0.5 m de sobreexcavación adicional, para facilitar la maniobra de colocación de la última pieza. La apertura de estos tableros se hace también con tres posiciones alternadas del equipo excavador, Fig. 2.6.

Secuencia de excavación. El avance de estos muros se hace en zigzag, tal como se muestra en la Fig. 2.6; de esta manera se logra la colocación continua de las piezas prefabricadas y se aprovecha al equipo de construcción el mayor tiempo posible. En el caso de que se presente alguna interferencia, se puede dejar algún tablero pendiente, que después se deberá construir con la técnica de muro Milán convencional.

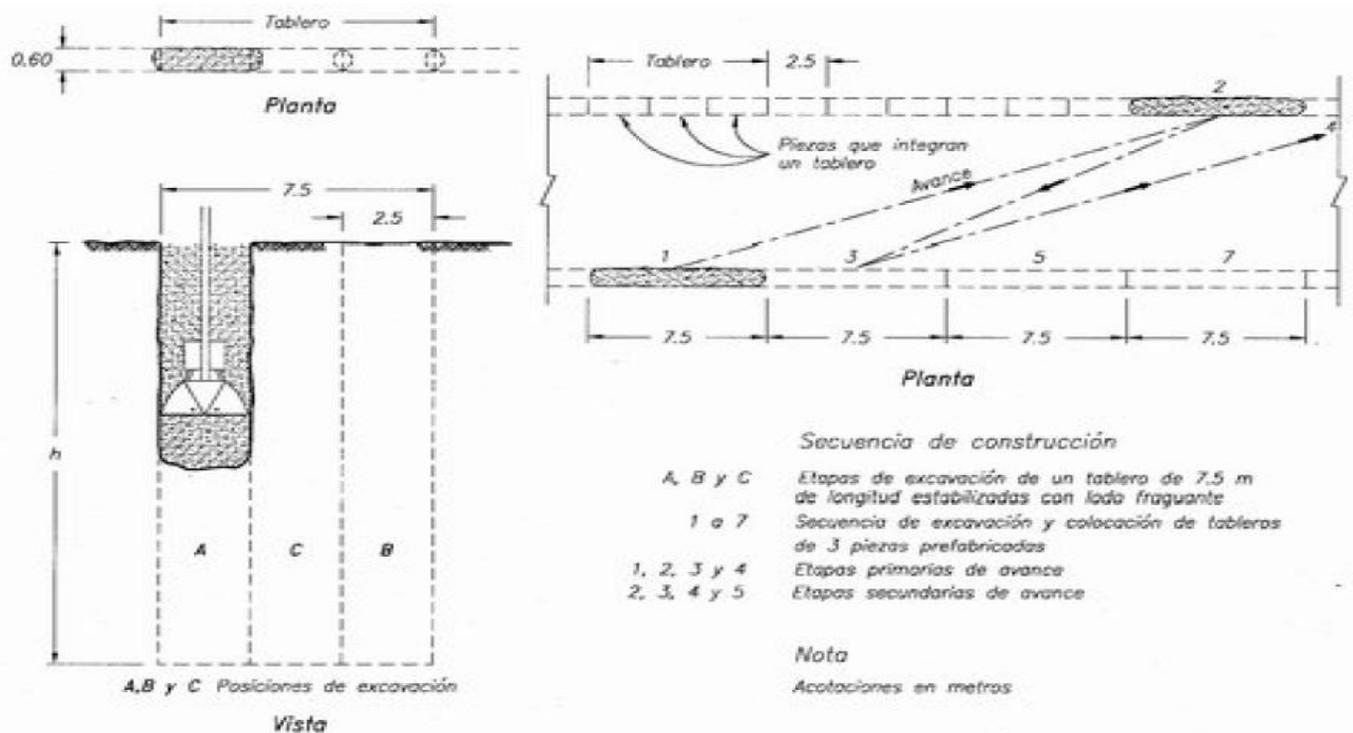


Figura 2.6. Secuencia de excavación en zigzag.

Manejo y desperdicio de lodos. Este procedimiento de construcción obliga a observar cuidados peculiares en el manejo de los lodos, particularmente durante la sustitución completa del lodo arcillosos o bentonítico por el lodo fraguante. Ésta debe hacerse con un tubo hermético que descargue en el fondo de la excavación, operando con la técnica del tubo “tremie” o bien con una bomba de lodos, ya que sólo así se evita la contaminación que induce la mezcla accidental de ambos fluidos.

En cuanto al desperdicio de lodos, ocurre que es posible recuperar casi todo el lodo arcilloso o bentonítico, cuando se disponga de tanques de almacenamiento temporal. Esta técnica fue casi abandonada en Francia por el desperdicio de lodo que llena los 50 cm laterales en la vertical sobrexcajada para las maniobras de colocación de las piezas de concreto prefabricado y que fácilmente llega a ser el 20% del volumen total del lodo fraguante, lo cual genera un gran sobrecosto.

Piezas precoladas. En la Fig. 2.7 se muestran distintos tipos de geometría de las piezas de concreto que se han utilizado y las juntas en la parte inferior que las han unido.

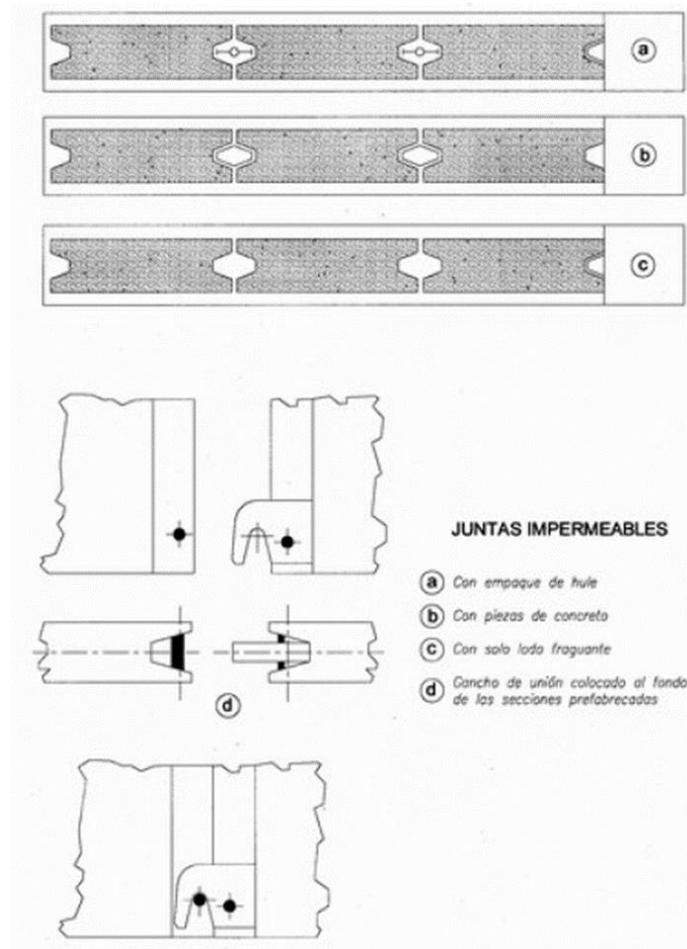


Figura 2.7. Tipos de geometría de las piezas de concreto y juntas impermeables

2.6 Construcción del muro con piezas prefabricadas con avance continuo

Esta ingeniosa técnica desarrollada en Francia por la empresa Soletanche (1970), con el nombre de Panasol, permite lograr un procedimiento continuo con avances de excavación largos y aprovechamiento máximo del equipo de construcción.

Secuencia de excavación. En la Fig. 2.8, se muestra que la apertura de la zanja es continua, respetando la regla básica de operación simétrica de la almeja (A, B, C), que se logra avanzando alternadamente con la almeja de dos posiciones adelante y una atrás. El lodo fraguante simplemente se agrega en el extremo delantero del tramo que se está realizando, abriendo una zanja inicial somera que sirva como canal distribuidor y regulador del consumo de lodo; este detalle constructivo asegura que el lodo se consuma gradualmente y con ello se controla su calidad. ¹⁴

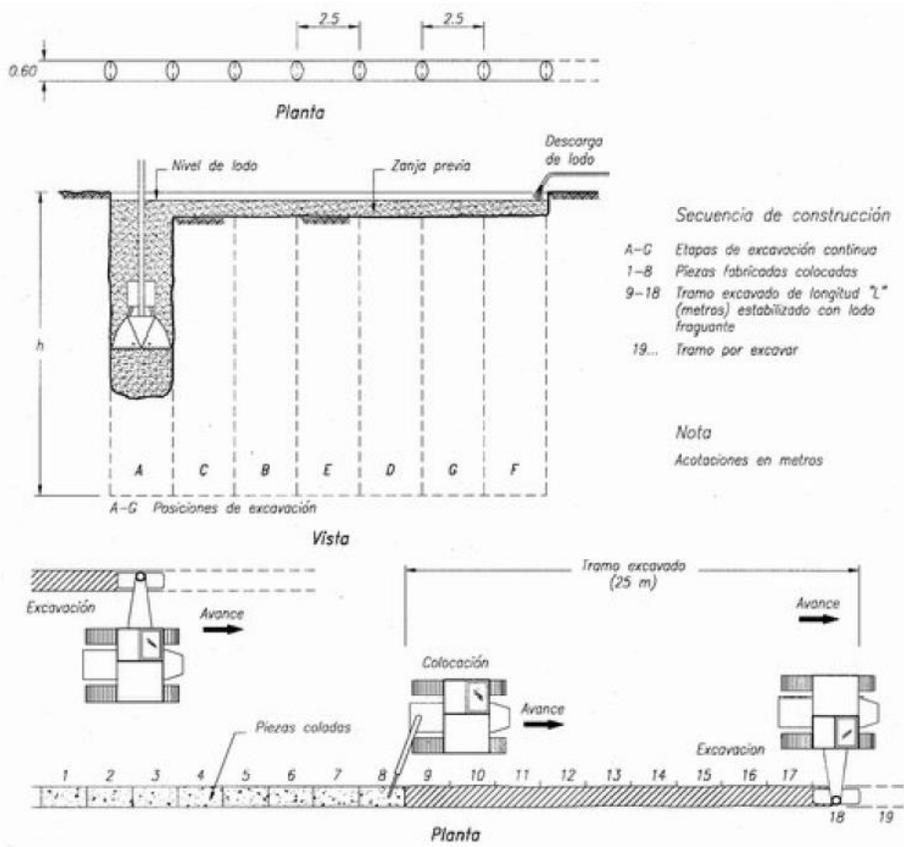


Figura 2.8. Secuencia de excavación continua.

Descripción de estos muros. Las piezas de concreto prefabricado son usualmente de 2.5 m de largo, de longitud igual a la profundidad del muro y de ancho usual de 40 a 60 cm. Se ensamblan mediante una ingeniosa junta Soletanche que tiene una

punta guía de acero que se ensarta desde la superficie y jala a la banda de sello de neopreno provista de dos huecos laterales que se inyectan con mortero y sellan herméticamente la unión, Fig. 2.9. El ensamble se realiza dentro de una excavación estabilizada con lodo fraguante con aditivo retardador de su endurecimiento.

Secuencia constructiva. La capacidad estabilizadora de los lodos fraguantes está basada en su mayor densidad, que permite excavaciones seguras de longitud grande, haciendo factible separar el proceso de excavación de la zanja y el de colocación de las piezas prefabricadas; ésta es la esencia de la técnica Soletanche, que conlleva a un procedimiento más ordenado y eficiente. Conviene también mencionar que el manejo del lodo es notablemente más simple y que su desperdicio es mínimo, porque el lodo desplazado por cada pieza de concreto se aprovecha en la continuación de la excavación.

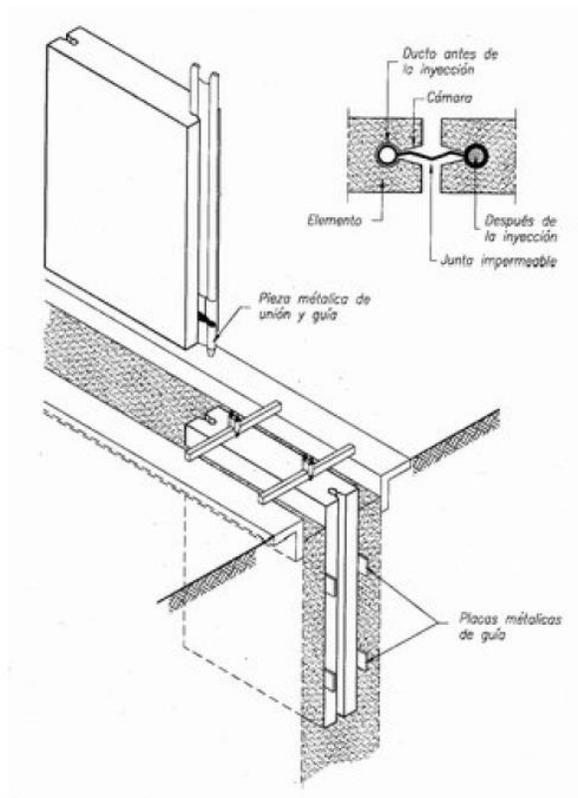


Figura 2.9. Aplicación del lodo bentonítico

3. Marco teórico, funcionamiento, soporte teórico - técnico

En el diseño de un muro Milán, es necesario conocer la respuesta del suelo ante los movimientos provocados por la excavación, ya que ésta origina varios de los esfuerzos totales, por la remoción de tierra y agua, cuyo resultado es el movimiento de la masa de suelo, por lo que el diseño se debe concentrar en el control y mitigación de las deformaciones inducidas. El control de estos movimientos es importante ya que su magnitud puede dañar a estructuras adyacentes o a los servicios públicos.



Figura 3.1 Zonificación respecto al grado de riesgo CDMX.

La respuesta del suelo está influenciada principalmente por los siguientes factores:

- Dimensiones de la excavación
- Propiedades de los suelos
- Control y abatimiento del nivel freático
- Proceso y secuencia constructiva
- Tipo de soporte y apuntalamiento

- Cercanía de edificios y de servicios públicos
- Sobrecargas temporales.

Se puede advertir, que cuanto más grande es la excavación mayor es el alivio de los esfuerzos realizados sobre el terreno y por lo tanto mayor libertad de movimiento en el suelo. En el caso extremo, una excavación profunda débilmente soportada puede originar una falla general por esfuerzo cortante de los suelos.

El tiempo que dure una excavación abierta y más si ésta tiene control de los niveles de agua, con esto se afecta de manera directa a las propiedades del suelo. Si suponemos una excavación que pudiera realizarse de forma instantánea, los esfuerzos y deformaciones que experimentaría el suelo serían en una condición de no flujo de agua, sería una condición no drenada. Por el contrario, si la misma excavación se realizara en un tiempo infinito, los esfuerzos y deformaciones en el suelo ocurrirían con flujo de agua, por lo que la excavación se realizaría en una condición drenada. En general los procesos de excavación se realizaran en un tiempo finito que representan una condición parcialmente drenada. De manera práctica se puede suponer excavaciones en suelos cohesivos se pueden considerar que responden a un comportamiento no drenado; con el mismo criterio se puede suponer que excavaciones que se realicen en suelos granulares responden a un comportamiento drenado.

3.1. Control de Calidad del lodo Bentonítico

a) Lodo Bentonítico

El empleo de lodos en la construcción de muros de Milán es una técnica que ha sido desarrollada para estabilizar las paredes de las zanjas cuando las excavaciones se realizan en materiales inestables (suelos), con o sin presencia de agua en el subsuelo. Además, describiremos las pruebas que comúnmente se realizan para determinar la calidad y características de los lodos, enfocadas a la construcción de muros Milán del Metro de la ciudad de México.

En la excavación de zanjas para muros Milán, el lodo se utiliza para:

- Estabilizar las paredes de la excavación.
- Evitar la depositación de azolves en el fondo, manteniendo la arena en suspensión.
- Permitir un desplazamiento eficiente para el concreto durante el colado.
- Mantener su bombeabilidad.

Fabricación de lodos

b) Preparación del lodo

Estos lodos son fabricados a base de bentonita y agua; se emplea cualquier marca o procedencia de la bentonita en polvo, buscando siempre que el rendimiento sea el óptimo.

En el agua que se emplea debe estar libre de exceso de sales y carbonatos que inhiben la hidratación de las partículas de bentonita; por ello se hacen las pruebas de laboratorio con los tipos de agua disponibles y las diferentes clases de bentonitas para precisar la combinación más adecuada.

c) Dosificación

La cantidad de bentonita en polvo que empleamos para la elaboración de lodo generalmente varía entre 50 y 80 kg por cada m^3 de agua, dependiendo de la calidad de ambos materiales; así, el valor más alto lo utilizamos para excavación en zanjas con problemas de estabilidad.

d) Control de lodos

Las características más importantes de los lodos utilizados en la excavación de zanjas con problemas de estabilidad son las siguientes:

- Densidad
- Viscosidad plástica
- Viscosidad Marsh
- Contenido de arena

El procedimiento para determinar las propiedades que debe cumplir el lodo bentonítico en la excavación de zanjas con problemas de estabilidad, se explican a continuación.

3.1.1. Densidad

Esta característica de los lodos se refiere a su peso volumétrico, el cual depende de la cantidad y peso específico de las partículas sólidas en suspensión.

Método para determinar la densidad

Equipo. Se emplea una balanza, provista de un recipiente de volumen calibrado en uno de sus extremos, en donde se deposita el lodo por ensayar. El cuerpo de la balanza es una regla metálica graduada con un contrapeso deslizante con el que se logra el equilibrio del conjunto, tiene además un nivel de burbuja y una base.

Procedimiento. Se toma una cantidad representativa del lodo y se vierte dentro del recipiente hasta llenarlo completamente; se coloca la tapa permitiendo que el excedente de lodo salga libremente por el orificio que para este efecto posee, presionado ligeramente sobre ella, de manera que el volumen que quede dentro del recipiente corresponda realmente al calibrado. Se limpia perfectamente el lodo

derramado y se coloca la balanza sobre la base; con el contrapeso deslizante se coloca la balanza en posición horizontal, observamos el nivel de burbuja, y se lee directamente sobre las escalas el valor indicado. Conviene aclarar que la lectura debe realizarse del lado correcto del contrapeso deslizante, ya que es muy común el error de leer del otro lado del indicador.

Las escalas que aparecen en la regla de la balanza están en libras/galón, libras/pie cúbico, gr/cm^3 , peso específico y gradiente de presión.

Calibración del aparato. Para garantizar que los datos obtenidos sean correctos, es necesario verificar periódicamente su calibración, tomando como base que el agua limpia debe dar las siguientes lecturas:

$$1.0 \text{ gr/cm}^3 \qquad 8.33 \text{ lib/gal} \qquad 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

En caso de variación en las lecturas indicadas, deberá removerse la tapa del recipiente colocado en el extremo opuesto al del lodo, que contiene una cierta cantidad de pequeñas esferas de plomo, las que deberán incrementarse o reducirse hasta corregir el error.

En la excavación de zanjas para construcción de muros Milán, la densidad de los lodos bentoníticos utilizada está comprendida entre 1.03 y 1.05 gr/cm^3 .

3.1.2. Viscosidad plástica

La viscosidad plástica de un lodo se define como la fricción interna, la resistencia a fluir o como la resistencia al esfuerzo cortante, y básicamente depende de tres factores.

- Viscosidad de la base líquida
- Tamaño, forma y cantidad de partículas en suspensión
- Fuerzas entre las partículas

Método para determinar la viscosidad plástica

Equipo. Para realizar este ensayo, se utiliza un aparato llamado viscosímetro rotacional, al que están integrados dos cilindros: uno central fijo (bob) y otro exterior móvil (rotor) que generalmente puede girar a 6 diferentes velocidades (600, 300, 200, 100, 6 y 3 RPM); consta además de un vaso para el lodo y una plataforma que pueda moverse verticalmente. La rotación del cilindro móvil produce un momento torsor a través del lodo, sobre el cilindro fijo, que es registrado por medio de un resorte calibrado y se indica en una escala circular. Adicionalmente se emplea un mezclador de propela con vaso.

Procedimiento. En el vaso del mezclador de propela se agita una cantidad suficiente de lodo durante 3 minutos para disparar el efecto de gelinización natural del lodo. Posteriormente se llena el vaso del viscosímetro hasta un poco antes del borde y se le coloca sobre la plataforma móvil, haciendo que los cilindros penetren en el lodo hasta una marca que tiene en la parte superior. Inicialmente se le aplica la velocidad de 600 RPM durante el tiempo necesario para que la lectura se estabilice. Enseguida se disminuye la velocidad a 300 rpm (revoluciones por minuto), registrando igualmente la lectura. La diferencia entre los dos valores registrados corresponde a la viscosidad plástica V_p del lodo, expresado directamente en centipoises.

$$V_p = \text{lectura } 600 \text{ rpm} - \text{lectura } 300 \text{ rpm} \text{ (expresado en cp)}$$

El centipoise es la centésima parte de un poise. El poise es la unidad estándar de viscosidad y se define como 1 dina seg/cm^2 .

Durante la excavación de zanjas, la viscosidad plástica es indicativa del grado de bombeabilidad del lodo usado, el valor de la viscosidad plástica no debe ser mayor de 20 centipoise, al momento del vaciado del concreto, lo anterior se debe tomar con cierta reserva, ya que el procedimiento usual de colados de muros de Milán con el método tremie está basado en la diferencia de densidades entre el concreto y el lodo, en donde la viscosidad puede no ser determinante.

3.1.3. Viscosidad Marsh

Esta característica es indicativa del grado de espesamiento de los lodos, sin que tenga una relación directa con la viscosidad plástica.

-Método para determinar la viscosidad Marsh

Equipo. Consta de un cono de 1500 cm^3 de capacidad, que termina en su extremo más angosto en un pequeño tubo de 5mm de diámetro interior, que descarga a un vaso receptor con una marca que indica un volumen de 946 cm^3 (0.25 galón).

Procedimiento. Se toma una cantidad mayor de 1.5 litros del lodo y se agita energéticamente, en forma manual si la prueba se hace en el campo o en el agitador de propela si es en el laboratorio, para disparar la gelinización.

El lodo se vierte dentro del cono, llenándolo hasta el nivel de la malla que sirve para retener ciertas partículas mayores de 1/16 pulg, manteniendo tapado el orificio de salida con un dedo.

Con un cronómetro se mide el tiempo que tarda en fluir los 946 cm^3 y el resultado se reporta directamente como la viscosidad marsh en segundos; el tiempo que tarda en fluir el lodo no debe exceder de 55 segundos, ya que si esto sucede significa que el lodo está contaminado.

3.1.4. Contenido de arena.

Se refiere a la cantidad de arena que se mantiene en suspensión en el lodo, expresada como un porcentaje.

-Método para determinar el contenido de arena

Equipo. Se emplea una probeta calibrada de cristal, complementada con una malla y un cono que se acoplan entre sí.

Procedimiento. Se toma una cantidad representativa del lodo y se vierte dentro de la probeta hasta el nivel indicado en ella, enseguida se llena con agua limpia hasta el siguiente nivel marcado en la probeta; a continuación, se tapa la parte superior de la probeta y se agita energéticamente el contenido. El lodo diluido se vacía sobre la malla, agregándole agua de manera de lavar la arena, después se conecta la malla invirtiéndola sobre el cono, y con un poco de agua se obliga a la arena pasar al interior de la probeta. Por último, se lee directamente el porcentaje en volumen de arena que contiene el lodo ensayado, en la escala que tiene la probeta en su extremo inferior.

Cuando se trata de excavaciones para muros Milán el límite de contenido de arena puede ser hasta el 20%, sin que afecte el desplazamiento del lodo por el concreto durante el colado.

3.2. Empujes laterales sobre muros Milán o tablestacas

Cuando por razones de espacio en una construcción se hace necesario realizar excavaciones en las que es imposible el desarrollo de un talud y, además los cortes alcanzan pendientes que los ponen en peligro de estabilidad o bien porque existen estructuras superficiales que pueden ser dañadas o deben ser preservadas, se hace necesario algún tipo de estructura que soporte los empujes horizontales de la masa de suelo que será contenida. Diversos tipos de estructuras se han utilizado, muchas de ellas con la idea de que sean autosustentables o bien con ayuda de anclajes, muertos o puntales. Tablestacas o muros Milán han sido diseñados para dar soporte a las excavaciones o taludes, usando materiales como la madera, el concreto, el acero, o bien, muros de concreto colados en zanjas llamados muros Milán. Para el diseño de cualesquiera de las estructuras mencionadas, así como de sus elementos de soporte o apuntalamiento, es indispensable determinar las fuerzas ejercidas por el suelo contenido, así como las ejercidas por los efectos ambientales.

3.3. Teorías sobre empujes de tierra

El empuje de tierras es la fuerza por unidad de área que ejerce el suelo sobre un elemento estructural. Su valor depende de las propiedades físicas del suelo, de la interacción suelo – estructura en la interfase y de la magnitud y características de las deformaciones en el sistema suelo–estructura. Depende también de la naturaleza de la cual derive su resistencia el suelo, la cual varía de acuerdo a su relajación con el tiempo “creep”, así como de sus cambios físicos o químicos.

A diferencia de los muros de contención de gravedad, los empujes de tierra sobre muros Milán o tablestacas no depende del tipo de suelo, más bien son función de la interacción suelo–estructura y esta a su vez de los movimientos que se desarrollen entre ambos, por lo tanto el problema matemático es altamente indeterminado.

Los estados de esfuerzos que se desarrollan dentro de la masa de suelo y que son de interés en el diseño de muros Milán o tablestacas, son los estados: en reposo, activo y pasivo. El empuje de tierras sobre cualquier estructura de retención puede variar de un estado inicial de esfuerzos conocido como estado en reposo, K_0 , a un estado límite mínimo como el activo, K_a , o a un estado límite máximo como pasivo, K_p .

Los estados límite están determinados por la ley de resistencia al esfuerzo cortante del suelo, representados gráficamente en la siguiente figura 3.2 por el círculo de Mohr:

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

Donde:

τ_f y σ_n	esfuerzos cortante y normal en el plano de falla
c	parámetro de cohesión del suelo
ϕ	ángulo de fricción del suelo

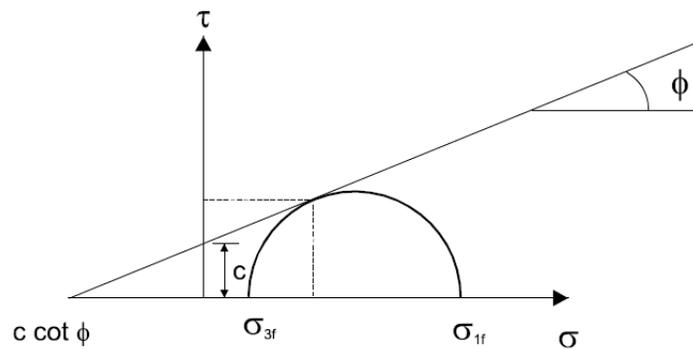


Fig. 3.2. Círculo de Mohr

El empuje de tierras refleja el estado de esfuerzo dentro de la masa de suelo. La relación entre los esfuerzos horizontales y los esfuerzos verticales es conocida como el coeficiente de esfuerzos, K , Fig. 3.3

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

Donde:

K: relación entre coeficiente de esfuerzos horizontales y verticales

σ_h : Esfuerzos horizontales

σ_v : Esfuerzos verticales

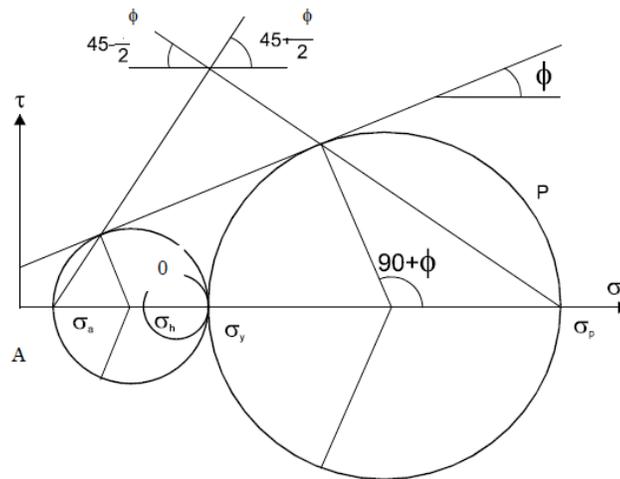


Fig. 3.3. Definición de los estados activo, pasivo y reposo.

3.3.1. Estado de empujes en reposo

Empujes en reposo se refiere al estado de esfuerzos o de deformaciones que existen en la masa de suelo antes de realizar una excavación o construir una estructura. Este estado de esfuerzos se muestra como el círculo "O" del diagrama de Mohr de la Fig. 3.3.

El coeficiente de empuje en reposo K_0 ha sido determinado experimentalmente por Jaky, con la siguiente relación:

$$K_o = 1 - \text{sen}\bar{\phi}$$

Donde:

$\bar{\phi}$ Es el ángulo de fricción del suelo.

3.3.2 Estado de empujes activo

Es el valor mínimo posible que el empuje horizontal puede alcanzar a cualquier profundidad. Este estado se desarrolla cuando la pared, muro o ademe se desplaza o gira hacia afuera del suelo, permitiendo que el suelo se expanda horizontalmente en la dirección del movimiento del muro. El estado de esfuerzos resultante se presenta en el diagrama de Mohr de la Fig. 3.3 como el círculo "A". Cuando un plano vertical, como lo es un muro flexible se flexiona por la acción del empuje horizontal cada elemento de suelo se expande lateralmente en dirección del movimiento, movilizand su resistencia al esfuerzo cortante, produciendo una consecuente reducción del empuje lateral. El valor mínimo posible se alcanza cuando se moviliza el máximo esfuerzo cortante y se presenta un estado de falla.

En la Fig. 3.3 se muestra la orientación del plano de falla referido al círculo de Mohr, cuyo coeficiente se expresa como:

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

3.3.3 Estado de empujes pasivo

Es el valor máximo posible que el empuje horizontal puede desarrollar cuando la pared, muro o ademe se desplaza o gira contra el suelo, comprimiendo a éste horizontalmente. El estado resultante es el empuje pasivo. En la Fig. 3.3 del diagrama de Mohr el círculo "P" representa este estado. Si el plano vertical del muro

se desplaza contra el suelo, como en el caso del empotramiento de una tablestaca o la reacción de un muerto de anclaje, el empuje lateral se incrementa hasta alcanzar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. El valor máximo posible se alcanza cuando se moviliza el máximo esfuerzo cortante y se presenta un estado de falla.

El coeficiente de empuje pasivo se presenta gráficamente en la Fig. 3.3 y cuyo valor respecto al círculo de Mohr es:

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

3.3.4 Relación entre coeficientes de empuje

De la inspección de las ecuaciones anteriores se observa que el coeficiente de empuje de tierras pasivo es significativamente mayor que el activo para algunos rangos de ϕ , del orden de 10 veces. La relación entre ellos se puede expresar como:

$$K_a = \frac{1}{K_p}$$

3.3.5 Desplazamiento Horizontal

La magnitud del desplazamiento horizontal requerido para desarrollar uno de los estados límite (máximo o mínimo) depende de la rigidez del suelo y estructura, de su interacción, así como de su altura. En suelos firmes o rígidos, como en arenas densas o arcillas preconsolidadas, la magnitud requerida para desarrollar un estado límite es relativamente pequeña; en cambio en arenas sueltas o arcillas blandas el valor para el desarrollo del estado límite es un porcentaje considerable de la altura. En la Fig. 3.4 se muestra cualitativamente estos valores en función de la altura del muro.

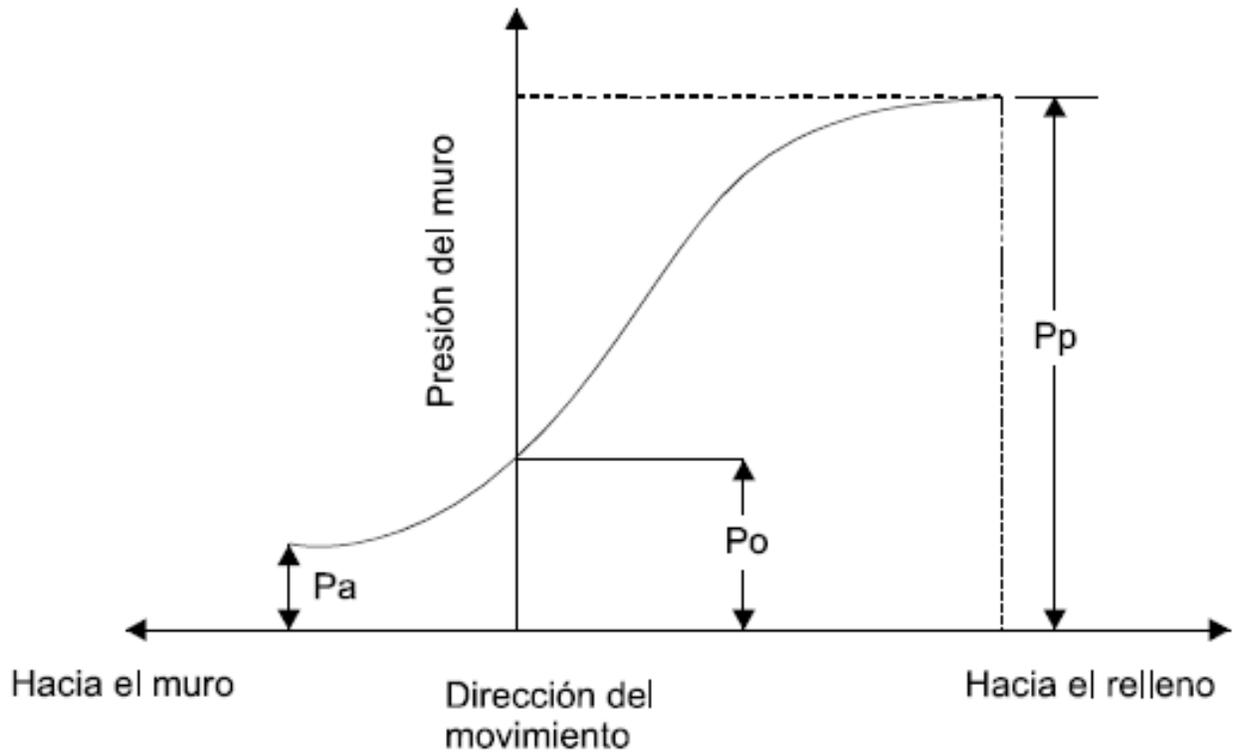


Fig. 3.4. Relación entre presiones y desplazamiento del muro.

3.3.6. Fricción y adherencia contra el muro o ademe

Como consecuencia del desplazamiento horizontal del muro o ademe, se desarrolla un movimiento vertical que produce esfuerzos cortantes verticales en la interfaz estructura– suelo, debido a la fricción entre muro y suelo en el caso de suelos granulares o bien adherencia entre muro y suelo en los suelos cohesivos. Estos esfuerzos cortantes verticales tienen efecto en el desarrollo de los empujes disminuyendo los empujes horizontales en el estado límite activo, o incrementando su valor en el caso del estado límite pasivo.

3.4. Cálculo de empujes laterales

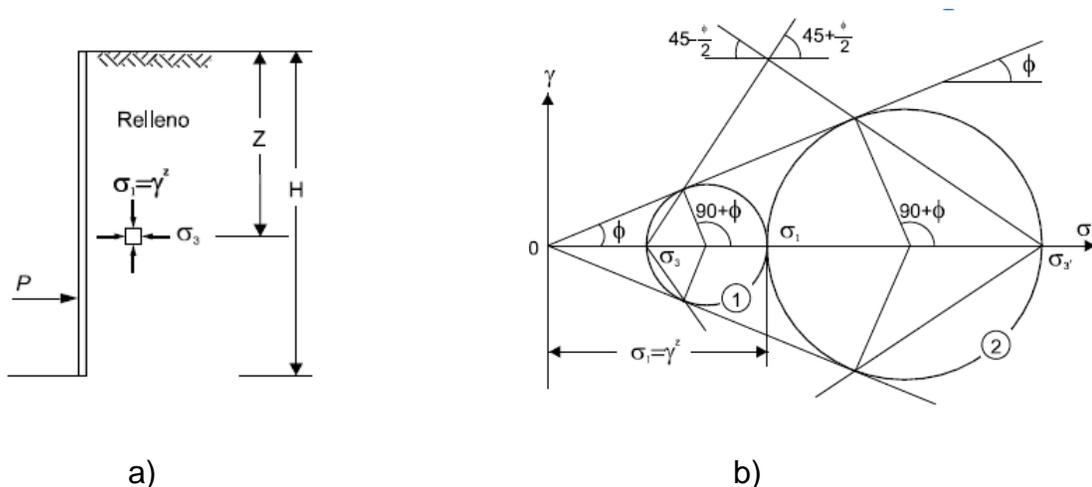
3.4.1 Antecedentes

Numerosas teorías han sido desarrolladas para calcular los empujes laterales sobre muros o ademes, las más empleadas son el de Coulomb formulada en 1776 y la de Rankine formulada en 1857. La diferencia esencial entre las dos teorías es la suposición de que la presencia del muro o ademe afecta o no el desarrollo de los esfuerzos cortantes en el contacto de la masa de suelo con el ademe o muro. En su formulación las dos teorías suponen un plano o superficie de deslizamiento plana, lo cual en algunos casos es aleja de la realidad, por lo que se ha propuesto otra teoría en la cual la superficie falla no es plana sino que sigue una ley logarítmica. Por sus inherentes implicaciones no se presentan en orden histórico.

28

3.4.2 Teoría de Rankine

La teoría de Rankine se fundamenta en la suposición de que el muro o ademe no produce cambios en el plano de contacto entre muro y suelo; también supone que en la corona del muro o ademe la superficie del terreno es un plano, horizontal o inclinado y la superficie de falla también es plana. Cuando en la teoría de Rankine se alcanza uno de los estados límite se desarrollan las superficies de falla que se presentan en la Fig. 3.5



40

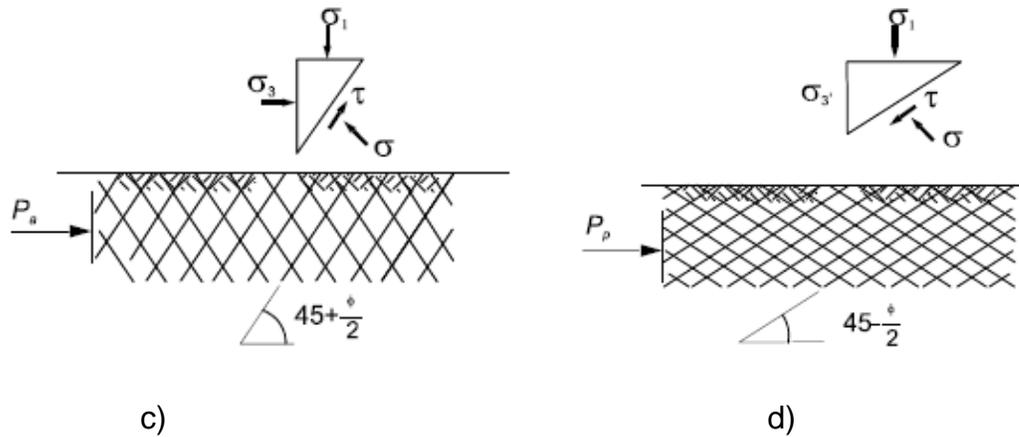


Fig. 3.5. Estados límite de falla de Rankine. (a) elemento en suelo granular; (b) círculos de Mohr para los casos activo y pasivo; (c) y (d) planos de deslizamiento para los casos activo y pasivo.

Las ecuaciones que representan los estados límites de empujes activo o pasivo en términos de presiones o empujes unitarios, son:

$$p_a = \gamma z K_a$$

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

$$p_p = \gamma z K_p$$

$$E_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

Donde

p_a y p_p Presión activa o pasiva desarrollada a la profundidad z , en unidades de esfuerzo.

E_a y E_p empuje de tierras activo o pasivo en la altura total del muro, en unidades fuerza por ancho unitario.

γz esfuerzo geostático vertical a la profundidad z usando el peso volumétrico sumergido del suelo abajo del nivel freático.

K_a y K_p coeficientes de empujes de tierras activo y pasivo respectivamente.

H Altura total del muro

Los coeficientes de empujes de tierra activo y pasivo de acuerdo con la teoría de Rankine dependen del ángulo de fricción del suelo ϕ y del ángulo de inclinación de la superficie del relleno β , y son dados por las siguientes expresiones:

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Para el caso de la superficie del relleno horizontal $\beta = 0$, las ecuaciones se reducen a:

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen} \phi}{1 - \operatorname{sen} \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

3.4.3. Teoría de Coulomb

Coulomb supone que la fricción en el plano de contacto entre suelo—muro produce cambios en los esfuerzos cortantes del suelo que tienden a modificar la magnitud y

dirección del empuje de suelos; también supone que en la corona del muro o ademe, la superficie del terreno es un plano, horizontal o inclinado y la superficie de falla también es plana, Fig.3.6

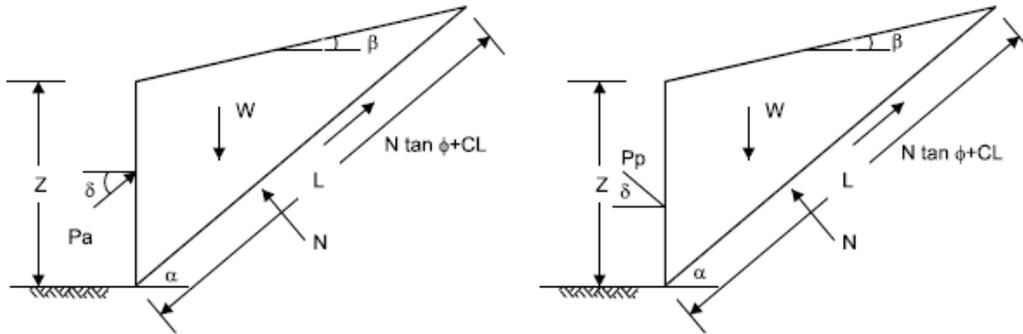


Fig. 3.6 Cuñas de deslizamiento de Coulomb

Para el caso activo cuando el empuje de suelos, la cuña de falla se desplaza hacia abajo y en su movimiento se genera fricción contra el muro; para el caso pasivo el muro empuja a la cuña de suelo hacia arriba, originando también fricción contra el muro. Los coeficientes para el cálculo de las presiones activa y pasiva son:

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \delta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \delta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2}$$

Al igual que en la teoría de Rankine, en la de Coulomb la superficie de falla es un plano; sin embargo, en este caso depende del ángulo de fricción del suelo, así como del ángulo de fricción suelo–muro; la inclinación del plano de falla para los casos activo y pasivo respectivamente se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha_a = 90 - \phi - \text{ang tan} \left[\frac{-\tan \phi + \sqrt{\tan \phi (\tan \phi + \cot \phi) (1 + \tan \delta \cot \phi)}}{1 + \tan \delta (\tan \phi \cot \phi)} \right]$$

$$\alpha_p = 90 + \phi - \text{ang tan} \left[\frac{\tan \phi + \sqrt{\tan \phi (\tan \phi + \cot \phi) (1 + \tan \delta \cot \phi)}}{1 + \tan \delta (\tan \phi \cot \phi)} \right]$$

Para una pared lisa con es decir $\delta = 0$ con superficie del terreno horizontal $\beta = 0$, o en el caso de $\delta = \beta$, las teorías de Rankine y Coulomb dan idénticos resultados.

3.4.4. Teoría de la espiral Logarítmica

Las teorías de Rankine y Coulomb suponen que la superficie de falla es plana, de lo observado en modelos de laboratorio se sabe que las superficies de falla tienden a ser curvas compuestas; sin embargo, para el caso activo el error cometido al suponer una superficie plana es pequeño; por el contrario, para el caso pasivo el error es grande y normalmente del lado de la inseguridad. Si el ángulo de fricción suelo–muro es bajo, la superficie de falla resultante es casi plana, pero si este valor es muy alto el plano para la superficie de falla del empuje pasivo es muy diferente al supuesto por la teoría de Coulomb produciendo magnitudes muy altas del empuje pasivo, poco realistas.

La magnitud del ángulo de fricción suelo–muro causa fuerzas tangenciales descendentes que incrementan las presiones verticales en el contacto suelo–muro provocando la superficie de falla curva que se muestra en la Fig. 3.3.6 El suelo falla por la superficie curva de menor resistencia y no por el plano de Coulomb, el cual requiere de grandes fuerzas cinemáticas.

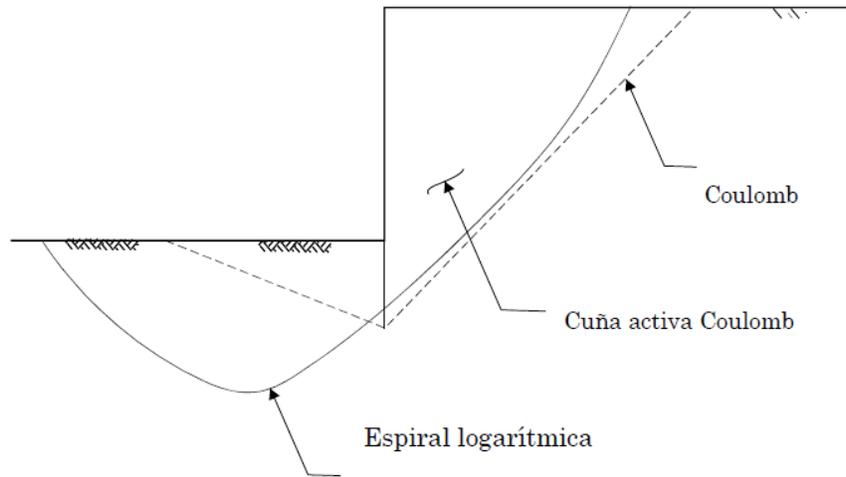


Fig. 3.7. Espiral Logarítmica

3.4.5. Empujes laterales en suelos cohesivos-friccionantes

El círculo de Mohr de la Fig. 2.6.1 puede ser usado para determinar el empuje de suelo sobre un muro con un relleno cohesivo-friccionante en términos de la relación de resistencia $\tau = + \sigma \tan \phi + c$, siendo las ecuaciones:

$$p_a = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma K_a H^2 - 2c\sqrt{K_a} H$$

$$p_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma K_p H^2 + 2c\sqrt{K_p} H$$

Donde:

c Parámetro de cohesión.

3.4.6. Excavaciones sin soporte

Teóricamente se puede determinar que algunas excavaciones no requieren de un soporte o ademe en suelos cohesivo–friccionantes o puramente cohesivos, si la presión lateral σ_3 (para el caso activo) no excede la resistencia del suelo; de la ecuación anterior, tenemos:

$$\sigma_3 = p_a = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

Para $z = 0$:

$$\sigma_3 = -2c\sqrt{K_a}$$

Lo cual significa que en la superficie se producen fuerzas de tensión. La profundidad teórica de la grieta se puede estimar suponiendo que en su fondo se tiene $\sigma_3 = 0$, la altura teórica de la grieta o crítica h_c , es igual a:

$$0 = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$h_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$$

La máxima altura crítica H_c para la cual una excavación puede mantenerse sin soporte, Fig. 3.8 se evalúa suponiendo el punto donde las fuerzas de tensión se igualan con la cohesión:

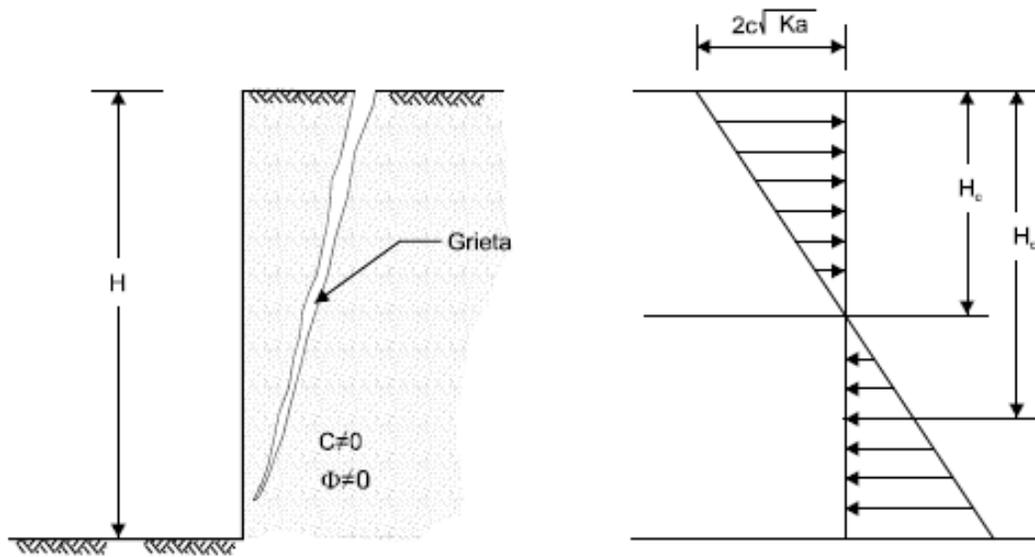


Fig. 3.8 Excavación sin soporte

$$2c\sqrt{K_a} = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$H_c = \frac{4c}{\gamma\sqrt{K_a}} = 2h_c$$

El resultado de la ecuación anterior debe evaluarse con cuidado, ya que cambios en el contenido de agua del suelo por desecación o humedecimiento, alteran las condiciones para las cuales una excavación puede mantenerse estable sin soporte, en las mejores condiciones una excavación sin ademe o soporte se puede mantener por un breve período de tiempo.

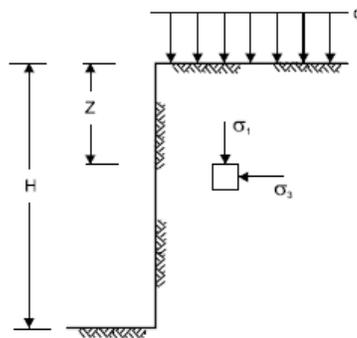
3.4.7. Sobrecargas y otras acciones

Los muros Milán o tablestacas normalmente soportan, además de los empujes del suelo, cargas en la superficie o sobrecargas, que pueden ser el apilamiento de material, la cercanía de alguna construcción, el peso del equipo de construcción, etc. Estas cargas contribuyen a incrementar el empuje activo del suelo y su tendencia de movimiento.

Los casos de carga de particular interés en la determinación de las presiones laterales son:

- Cargas uniformes de ancho infinito
- Cargas puntuales
- Cargas lineales paralelas a la pared
- Cargas uniformes de ancho finito
- Otras cargas

Las cargas son evaluadas con ayuda de la teoría de la elasticidad. Cargas uniformes de ancho infinito. Es una carga de magnitud q , que se aplica en toda el área superficial, Fig. 3.9 El efecto de la sobrecarga uniforme es aumentar el empuje vertical efectivo contra la tablestaca en una cantidad igual a la magnitud de la sobrecarga multiplicada por el coeficiente K de empuje de tierras activo o pasivo.



$$p = \gamma'zK \quad \text{sin sobrecarga}$$

$$p = \gamma'zK + qK \quad \text{con sobrecarga}$$

$$p = K(\gamma'z + q)$$

Fig. 3.9. Carga de ancho infinito.

Cargas puntuales. Es una sobrecarga aplicada sobre un área pequeña y tratarse como una carga puntual. En la Fig. 3.10 se dan los coeficientes por evaluar la presión lateral en función de la separación a la tablestaca y profundidad de cálculo. Su variación en el plano paralelo a la pared se muestra en la misma figura.

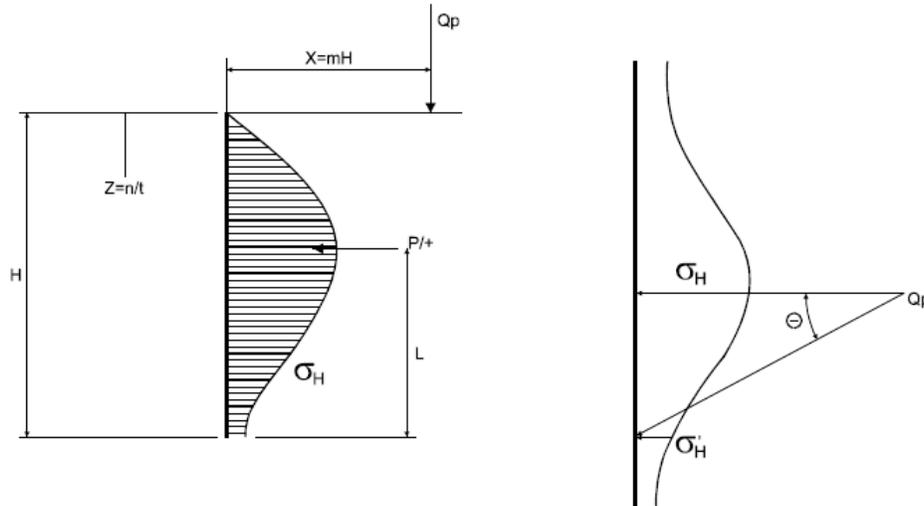


Fig. 3.10. Carga puntual.

Ecuaciones para cargas puntuales

$$\sigma_H = 0.28 \frac{Q_p}{H^2} \frac{n^2}{(0.16 + n^2)^3} \quad \text{para } m \leq 0.4$$

$$P_H = 0.78 \frac{Q_p}{H}$$

$$\sigma_H = 1.77 \frac{Q_p}{H^2} \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3} \quad \text{para } m > 0.4$$

$$P_H = 0.45 \frac{Q_p}{H}$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1.1 \theta)$$

Donde:

$$m = x/H$$

$n = x/z$

Q_p carga puntual

x distancia de la carga a la pared

H altura total del muro

z profundidad de cálculo

σ'_H Distribución horizontal

Cargas lineales paralelas a la pared. Una carga continua paralela a la tablestaca pero de ancho muy pequeño perpendicular a ésta, se puede tratar como una carga lineal como se muestra en la Fig. 3.11.

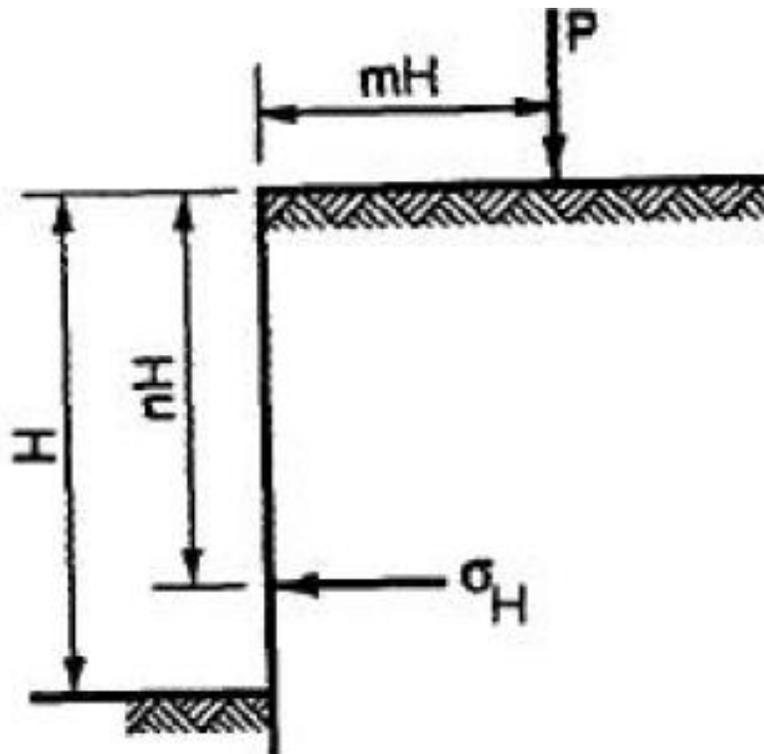


Fig. 3.11. Carga puntual.

3.5. Ecuaciones para cargas lineales, uniformes, triangulares

$$\sigma_H = 0.20 \frac{Q_l}{H} \frac{n}{(0.16 + n^2)^2} \quad \text{para } m \leq 0.4$$

$$P_H = 0.55 Q_l$$

$$\sigma_H = 1.28 \frac{Q_l}{H} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2} \quad \text{para } m > 0.4$$

$$P_H = 0.64 \frac{Q_l}{(m^2 + 1)}$$

Donde:

Q_l carga lineal

Cargas uniformes de ancho finito. Una carga uniforme de ancho finito equivale a una carretera o una vía de ferrocarril, donde el ancho está determinado; es una tira continua paralela al eje longitudinal de la tablestaca pero de ancho finito perpendicular, como se ilustra en Fig. 3.12 La presión adicional está dada por las siguientes ecuaciones, cabe comentar que cualquier valor de presión negativo será ignorado.

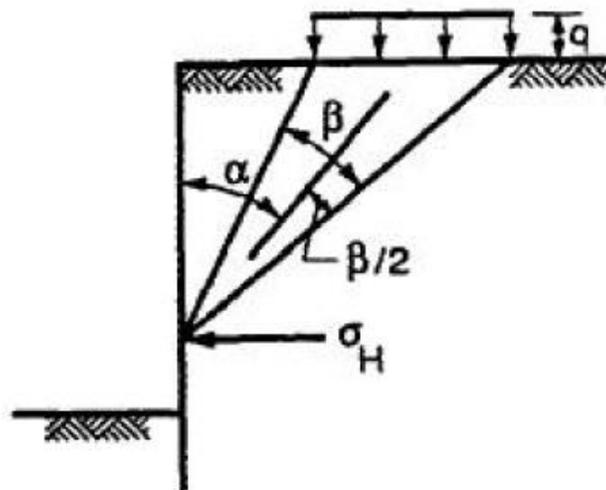


Fig. 3.12. Carga uniforme de ancho finito.

3.5.1. Ecuación para cargas uniformes

$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi} (\beta - \text{sen } \beta \cos 2\alpha)$$

Donde:

β y α se expresan en radianes

Cargas de rampa. Una carga de la rampa, Fig. 3.13, aumenta linealmente de cero a un máximo que se mantiene uniforme lejos de la tablestaca. Se supone que la carga de la rampa es continua en el sentido longitudinal de la tablestaca.

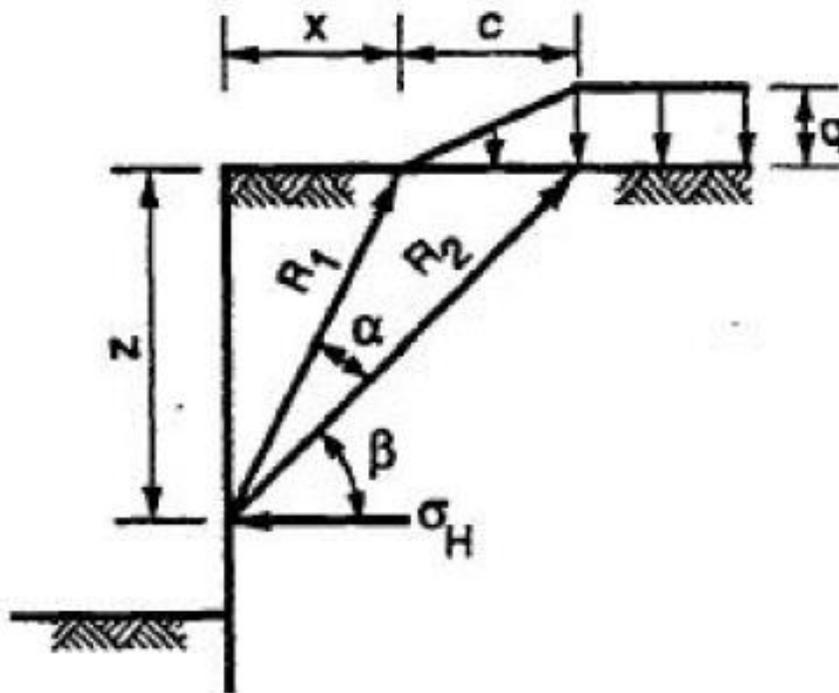


Fig. 3.13. Carga de rampa.

Ecuación para carga de rampa:

$$\sigma_H = \frac{q}{\pi c} \left(c\beta + x\alpha + 2z \ln \frac{R_2}{R_1} \right)$$

3.5.2. Cargas Triangulares

Una carga triangular varía perpendicularmente a la tablestaca como se muestra en la Fig. 3.14 y se supone continua sobre su eje.

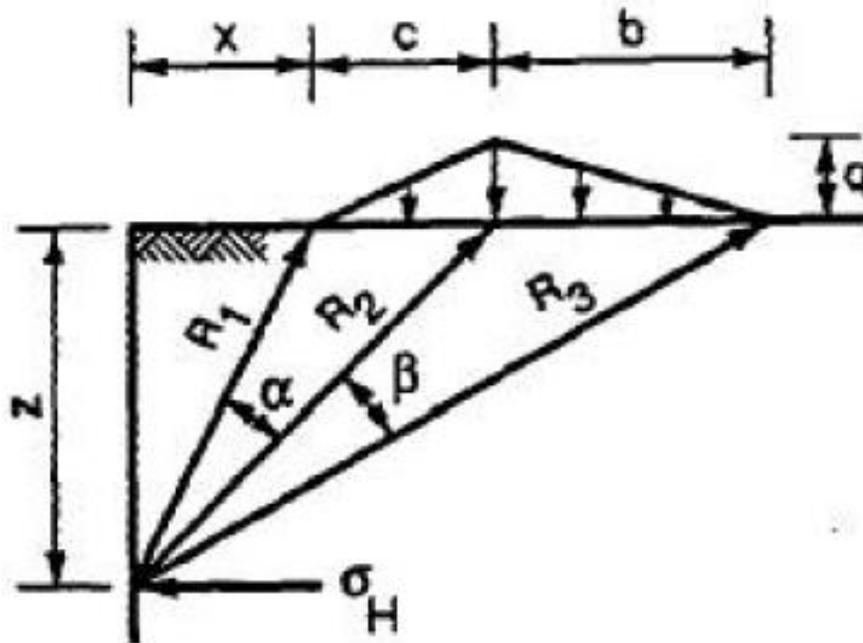


Fig. 3.14. Carga triangular.

Ecuación para carga triangular:

$$\sigma_H = \frac{q}{\pi} \left(-\frac{x}{c} \alpha + \frac{c+b-x}{b} \beta + \frac{2z}{c} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{2z}{b} \ln \frac{R_2}{R_3} \right)$$

4. Aplicación a un caso real

4.1.- Brocal

El brocal es una estructura de concreto armado, alojado en una zanja (cepa) cuya excavación es realizada obligadamente a mano con el objeto de detectar posibles interferencias e instalaciones municipales (ductos de teléfonos y compañía de luz, líneas de gas, drenajes, agua potable, redes de riego, etc).

La finalidad de su construcción, obedece a la necesidad de contar con una zanja que permita garantizar la posición y verticalidad correcta del equipo guiado durante el proceso de excavación del tramo de muro tablestaca (muro Milán) en cuestión.

El trazo juega el papel más importante en el procedimiento constructivo, ya que de este dependerá a partir de este momento, el que la construcción de los muro tablestaca quede en su posición correcta conservando los gálibos que el proyecto exigió.

4.2.- Excavación de muro tablestaca.

Una vez conformados los brocales, se inició la excavación en la zanja ya conformada, mediante el uso de una draga LS-108 ó LS-118, ya que debe tener la capacidad para sostener el equipo guiado. Las dimensiones del muro terminado son:

- Ancho 0.65 Metros.
- Longitud 7.20 Metros.
- Profundidad 19.20 Metros.

Se realizó la excavación de la zanja hasta el nivel de desplante del proyecto, debiendo usar lodo bentonítico para garantizar la estabilidad de las paredes, manteniendo un nivel constante, el cual es de 1.00 metro por debajo del borde superior del brocal (Figura 4.1).



Figura 4.1 Excavación de zanja.

Terminada la excavación hasta el nivel de desplante de proyecto, se tiene que verificar con el pescado (plomo de gran dimensión) si la excavación es correcta o en su caso proceder a la limpieza del mismo para garantizar la dimensión correcta del muro tablestaca.

4.3.- Cimbra metálica trapezoidal

Una vez alcanzado el nivel de desplante del proyecto, en la excavación se coloca en los extremos del muro las juntas metálicas de colado (Tapones), las cuales son elementos metálicos huecos de forma trapezoidal que funciona como cimbra tapón para contener el concreto del muro a colar y dejar la forma machimbrada para el colado subsecuente. Para su colocación nos auxiliamos con el uso de una draga LS-118 ó LS-118 como se muestra en la figura 4.2.

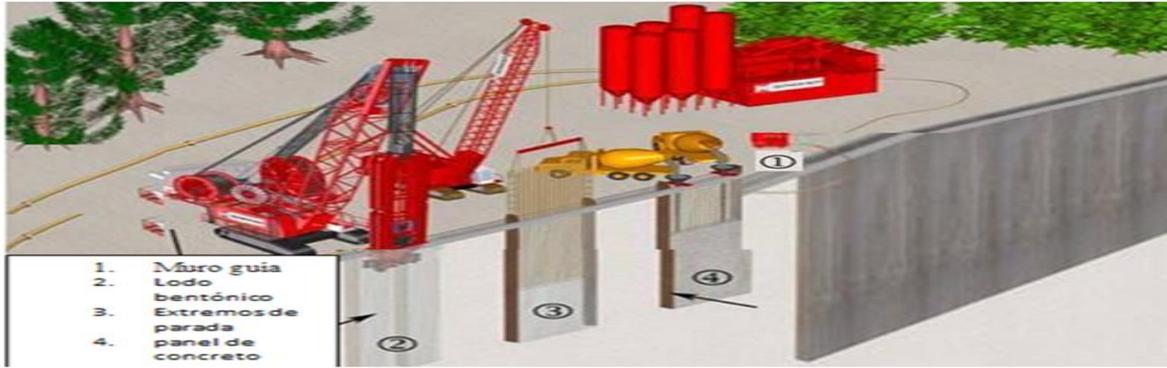


Figura 4.2. Draga LS-118 ó LS-118.

4.4. Hincado de parrilla de acero de refuerzo

Una vez colocada la cimbra metálica, se procede a colocar el acero de refuerzo (Parrilla) también con el uso de la draga LS-108 ó LS-118 como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3. Colocación de acero de refuerzo.

Se tiene que verificar que la parrilla quedara bien colocada, centrada y nivelada en su lugar correcto.

4.5. Tubería tremie (lingadas)

Para realizar el colado, es necesario colocar las lingadas que consisten en tramos de tubo de acero de 8" de diámetro, en longitud no mayor de 2.00 metros, para su fácil manejo, roscados en sus extremos y unidos mediante coples para conformar la longitud requerida para el colado. Este tipo de sujeción permite un hermetismo que impide, al momento de su introducción, la absorción de aire o lodo que contamine al concreto.

4.6. Colado de muro tablestaca

Posterior mente se inicia el colado del muro tablestaca (Muro Milán) con suministro de concreto por medio de olla revolvedora para facilitar el vaciado del concreto. Alcanzado el primer fraguado del concreto, es necesario remover las juntas metálicas evitando queden ahogadas en el muro colado mientras continua el colado del mismo (figura 4.4).



Figura 4.4. Remoción de juntas metálicas.

Terminando el colado total del muro tablestaca, se procede al retiro de las juntas metálicas para su uso en el próximo muro en turno.

4.7. Problemática y solución de la obra

Es muy frecuente observar, que en las diferentes etapas de construcción de los muros tablestaca nos encontremos con un sin número de problemas de construcción, en particular, enlistaremos algunos problemas y soluciones pertenecientes al cadenamiento 22+635.392 al cadenamiento 22+797.392.

Fuga de lodo bentonítico en la excavación de los muros tablestaca (Muros Milán) No. 35, 33, 6, 8, 4, 49 y 51 entre otros. Hablaremos caso especial de la fuga de lodo bentonítico en la excavación del muro tablestaca No. 35

a) construcción de muro tablestaca (muro Milán) no. 35

Este muro tablestaca pertenece a la cabecera poniente de la Estación Guerrero. Durante la excavación de este muro en su 1ª etapa, nos encontramos a 14.00 metros de profundidad una oquedad que nos originó la fuga de 120 m³ de lodo bentonítico y la suspensión de la excavación del mismo.

La solución para el sellado de la oquedad que origino la fuga del lodo bentonítico consistió en una mezcla de inyección compuesta por cemento, yeso y aserrín en una proporción de 1, 2 y 3 respectivamente, utilizando el siguiente volumen de inyección:

- Cemento 6 sacos.
- Yeso 12 sacos de 25 kg.
- Aserrín 18 costales.

Esta mezcla se realiza en seco, en el lugar de la obra; la mezcla y colocación se hace manualmente con pala, tirándola directamente a la excavación del muro tablestaca (Muro Milán).

Cuatro horas después de la colocación de la mezcla de inyección, se continuó con la excavación del muro tablestaca No. 35 1ª etapa hasta alcanzar el nivel de desplante del muro Niv. 9.05 metros. Posteriormente se continuo la excavación de la 2ª y 3ª etapa, encontrando otra oquedad a 16 metros de profundidad en la 3ª etapa, perdiendo 60 m³ más de lodo bentonítico y colocando también una mezcla más de inyección en dicha etapa pero con el siguiente volumen:

- Cemento 12 sacos
- Yeso 24 sacos
- Aserrín 36 costales

Una vez sellada la oquedad (cuatro horas después), se continuo con la excavación de dicho muro tablestaca hasta terminar con la excavación total y procediendo a su construcción final.

La fuga de lodo bentonítico en el muros antes mencionados, represento atrasos en la obra ya que los tiempos de construcción estimados en los muros tablestacas no fueron los marcados en el proyecto y al mismo tiempo repercutió en los demás tiempos de trabajo.

b) construcción de muro tablestaca (muro milán) no. 41 interferido por línea de alta tensión de 23 y 85 kva.

Es condición necesaria durante la construcción del muro tablestaca No. 41, no construir los muros tablestacas No. 40 y 42 para facilitar su construcción que es interferido por líneas de alta tensión.

Etapa de excavación del muro tablestaca No. 41

- a) Se inicia la excavación de la primera parte de la 1ª etapa del muro tablestaca localizada del centro del muro hacia el lado poniente del mismo con una longitud de excavación de 2.5 m y una profundidad de 5 metros.
- b) Se continua la excavación por medios manuales en ambos lados de la 2ª etapa del muro tablestaca que se encuentra debajo de los ductos de alta tensión, esta excavación se realizó manualmente, atado con arnés y bajando al personal sobre la almeja del equipo guiado hasta su terminación total, 2.45 m por debajo de los ductos de alta tensión y una longitud de 3.50 m.
- c) Después se continuo con la excavación de la 1ª etapa prima, perteneciente al muro tablestaca No. 42, hasta alcanzar el nivel de desplante 9.05 m, se hace la aclaración que esta etapa de excavación pertenece al muro tablestaca No. 42 realizando adicionalmente para facilitar el incado de la parrilla del muro tablestaca 41.
- d) Posterior mente se continua y termina la excavación de la 1ª, 2ª y 3ª atapa del muro tablestaca hasta alcanzar el nivel de desplante 9.05 m.

Conclusiones

El campo de la ingeniería abarca la investigación y aplica de técnicas mediante las cuales se realizan cambios en la naturaleza de manera inteligente sin romper condiciones de equilibrio, de tal manera que sus elementos y energía se ponen al servicio de la comunidad. Las técnicas de la ingeniería son muchas y variadas por lo que la preparación en geología, geofísica, geografía física y las matemáticas constituyen la base científica del desarrollo de trabajo del desarrollo de trabajo del ingeniero civil, además requiere ciertas habilidades como las siguientes:

- Inventiva: que le permite al ingeniero utilizar su pensamiento creativo en forma original para lograr un fin determinado.
- Inteligencia: del tipo que nos permite captar formas, partes y sus relaciones espaciales y mecánicas, ya que en su trabajo el ingeniero civil debe tender a mejorar los procedimientos en uso.
- Capacidad de mando y sociabilidad, ya que frecuentemente es director de grupos.
- Habilidad administrativa, pues por lo general es administrador de empresas. Y por supuesto la cualidad común a todas las profesiones, firme sentido de responsabilidad

De acuerdo con el grado de desarrollo particular de cada una de estas cualidades el ingeniero podrá trabajar en el gabinete, en las obras, en las fábricas, en la investigación, en la administración de empresas o en la docencia; aspectos todos comprendidos en la profesión. En el trabajo que me tuve la oportunidad de participar realmente se pone uno a prueba para tomar decisiones en la obra civil de manera responsable. El nivel que puede alcanzar un ingeniero civil en su trabajo profesional depende del grado en que posea estas facultades mencionadas anteriormente.

Debido a su complejidad precisa se deben tener aptitudes intelectuales superiores y una gran dedicación al estudio, razón por la cuales las carreras de ingeniería son las más difíciles. Sin embargo, no debe deducirse que sean profesiones cuyo estudio esté reservado a unos cuantos privilegiados, ya que estas facultades, innatas a todos, son susceptibles de desarrollo para aquel que pone su esfuerzo y empeño en lograrlo. Este esfuerzo vale la pena, no existe una satisfacción mayor que la de proyectarse a sí mismo, pues es una necesidad humana a la de crear, de trascender, la condición de mera existencia; claro que toda actividad cultural satisface esta condición, pero es la obra material duradera la que más claramente señala que se ha trascendido.

Esta actividad constructiva de un muro Milán se muestran todas las actividades de ingeniería, en el cálculo, al encontrar nuevos sistemas y realizar su trabajo imaginariamente; en la investigación al avanzar a lo conocido a lo desconocido y establecer vínculos de relación entre los nuevos descubrimientos; en la administración, crear una organización distinta y funcional para cada obra o cada producto; y en construcción, que es la actividad esencialmente creadora, cuyos resultados se sabe de ante mano serán de beneficio colectivo y de satisfacción para aquellos que intervinieron en ella. Un ingeniero civil se debe enfrentar con actitud creativa a los retos que le presenta su profesión.

Si la habilidad para tomar decisiones se aprende, también se puede practicar y mejorar. Parece ser que las habilidades en la toma de decisiones tienen capacidades para clasificar las distintas opciones según sus ventajas e inconvenientes y, una vez hecho esto, escoger la que parece mejor opción. El método básico sería:

- 1.- Definir el problema.

Con este paso hay que procurar responder a la pregunta de ¿Qué es lo que se desea conseguir en esa situación?

2.- Buscar alternativas

En este paso es importante pensar en el mayor número de alternativas posibles, ya que cuantas más alternativas se tenga, más posibilidades tenemos de escoger la mejor. Es importante evitar dejarse llevar por lo que hacemos habitualmente o por lo que hacen los demás. Si no se nos ocurren muchas alternativas, pedir la opinión de otras personas puede ayudar a ver nuevas posibilidades.

3.- Valorar las consecuencias de cada alternativa.

Aquí se deben considerar los aspectos positivos y negativos que cada alternativa pueden tener, a corto y largo plazo, tanto para uno mismo como para los demás. Para llevar a cabo este paso correctamente, muchas veces no es suficiente la información con la que se cuenta. En este caso es necesario recabar nuevos datos que ayuden a valorar las distintas alternativas con las que se cuenta.

Para cada una de las alternativas por separado, se hace una lista de todas las ventajas y desventajas que tenemos. Seguidamente, se dará una puntuación de 0 a 10 a cada ventaja y a cada inconveniente en función de su importancia, teniendo en cuenta que 0 es “nada importante” y el 10 significa que es “esencial o muy importante”. Finalmente, una vez puntuada cada ventaja y cada inconveniente en esa escala, se suman los números dados a todas las ventajas por un lado y todos los inconvenientes por otro. Si el resultado es positivo es que tiene más ventajas o que estas son más importantes que los inconvenientes.

4.- Elegir la mejor alternativa posible.

Una vez que se ha pensado en las alternativas disponibles y en las consecuencias de cada una de ellas, habrá que escoger la más positiva o adecuada.

Una vez que se han valorado las distintas alternativas, hay que compararlas entre sí, escoger la que más nos satisfaga. Como norma general, aquella que tenga más ventajas que inconvenientes, o se valora por medio del procedimiento matemático y analítico, aquella alternativa que tiene el número positivo más alto.

A veces la mejor alternativa no es ninguna de las propuestas, sino que surge como combinación de varias propuestas.

5.- Aplicar la alternativa escogida y comprobar si los resultados son satisfactorios.

Una vez elegida se debe de asumir la responsabilidad, de la decisión tomada y ponerla en práctica. Además de que se tiene que prever la evolución, los resultados, pues de esta forma se podrán cambiar aquellos aspectos de la situación que todavía no son satisfactorios y así aprender de nuestras experiencias.

Referencias

- Eulalio Juárez Badillo., Alfonso Rico Rodríguez (1974) " *Mecánica de Suelos Tomo I, II, III*. Editorial: Limusa.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., (2002). *Manual de Construcción Geotécnica* Editorial. Walter I Paniagua Z.
- Abramento M., Kachimst A, Casati A. (1998) "*Reforço do terreno*", capítulo 18 en *Fundações. Teoria e prática*, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Brasil.
- Abramson, LW. (1994) "*In situ ground reinforcement*, chap. 5 in *Ground Control and Improvement*, John Wiley & Sons, New York.
- ASCE (1997) "*Soil nailed retaining structures*", chap. 2.8 in *Ground improvement, Ground reinforcement, Ground treatment*. Developments 1987-1997. Geotechnical Special Publication N° 69, American Society of Civil Engineers, New York.
- Ischebeck E. (1996) "*Titan injection anchors*", Simposio Internacional de Anclajes, editado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Suelos, México.
- Juran I. and Elias V. (1991) "*Ground anchors and soil nails in retaining structures*", chap. 26 in *Foundation Engineering Manual*, ed. H.Y. Fang, Van Nostrand Reinhold, New York.

- Juran I. and Levy O. (2001) *'Soil nailing'*, *International knowledge database for ground improvement technologies*, ISSMFE-TC-17, <http://tc17.poly.edu/rikd.htm>.
- Simecsol (1996) *"Jet nails and jet piles; principles and applications"*, Simposio Internacional de Anclajes, editado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Suelos, México.
- Paniagua W.I. (1992) *"Refuerzo de suelos"*, Simposio Experiencias geotécnicas en la zona Poniente del Valle de México, editado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Suelos, México.
- SMMS (1996) *"Simposio Internacional de Anclajes"*, editado por W.I. Paniagua y F. González, Sociedad Mexicana de Ingeniería de Suelos, México.

Glosario

A

- **Aditivos para concreto:** (hormigón) son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.
- **Aluvial:** Terreno formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua.
- **Ademes:** Cubierta o forro de madera con que se aseguran los tiros, pilares y otras obras en trabajos subterráneos.
- **Almeja:** Es un diafragma convencional para ser utilizado en la construcción de paredes de cimentación permanente.
- **Adyacente:** Que está muy próximo o unido a otra cosa.
- **Abatimiento:** Maniobra que consiste en elevar un sillar, una viga u otros materiales pesados que se emplean en las construcciones.
- **Azolves:** Lodo o basura que obstruye un conducto de agua.

B

- **Bentonita:** La bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales y las que le confieren sus propiedades características.

C

- **Cárcamo:** Compartimiento destinado a recibir y acumular las aguas residuales durante un periodo de tiempo.
- **Circundantes:** Cercar, rodear
- **Confinado:** Encerrar o aislar un sector, área o edificio por seguridad.
- **Cohesivo:** Tiene mayor cantidad de arcilla, y presenta menos probabilidades de que se produzca un derrumbe.
- **Calibración:** ajuste de algún instrumento

- **Cadenamiento:** serie de piezas metálicas iguales, enlazadas entre sí, medición topográfica.

D

- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.
- **Diluido:** Reducir la concentración de una mezcla agregando un disolvente.
- **Diagrama de Mohr:** Método gráfico para determinar el estado tensional en los distintos puntos de un cuerpo.
- **Draga:** Equipo que puede estar instalado en una embarcación o tierra firme, que se utiliza para excavar material debajo del nivel del agua, y luego elevarlo hasta la superficie.

E

- **Estratigrafía:** Parte de la geología que estudia la disposición y las características de las rocas sedimentarias y los estratos.
- **Estratos:** Cada una de las capas de un terreno formado por los sedimentos en sentido horizontal que se distribuyen de forma paralela.
- **Esfuerzo cortante:** se desarrolla a lo largo de un elemento estructural que es sometido a cargas transversales.

F

- **Fraguado:** Endurecerse un material.
- **Freáticas:** Lugar geométrico de los puntos donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.

G

- **Geotecnia:** Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.

- **Granulares:** tiene mayor cantidad de arcilla, y presenta menos probabilidades de que se produzca un derrumbe.
- **Gálivos:** zona geométrica que debe estar libre de obstáculos alrededor de un sitio.
- **Galón:** unidad de volumen que se emplea en los países anglófonos

H

- **Hermético:** Que cierra perfectamente de modo que no deja pasar el aire ni el líquido.
- **Hidráulica:** Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.
- **Hidrostática:** Parte de la mecánica que estudia el equilibrio de los líquidos y los gases.
- **Homologado:** cuando ha sido oficialmente aprobado por una autoridad

I

- **Inherentes:** Que es esencial y permanente en un ser o en una cosa o no se puede separar de él por formar parte de su naturaleza y no depender de algo externo.

J

- **Juntas machihembradas:** sistema para ensamblar tablas de madera cepillada por medio de rebajes y cortes en sus cantos.

L

- **Libra:** Es una unidad de masa usada desde la Antigua Roma.
- **Lingadas:** Porción de cosas que levanta una cuerda de una vez, en la operación de cargar o descargar una mercancía.

M

- **Marginales:** No forma parte de lo central o de lo más importante.

- **Mitigación:** Reducción de la vulnerabilidad; la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento geológico.
- **Método tremie:** Método de colocación de concreto trémie utiliza una tubería, a través de la cual el hormigón se coloca debajo del nivel del agua.

N

- **Neopreno:** Caucho sintético que resiste temperaturas muy altas.
- **Nomogramas:** instrumento gráfico de cálculo, un diagrama bidimensional que permite el cómputo gráfico y aproximado de una función de cualquier número de variables.

O

- **Oquedad:** Espacio hueco en el interior de un cuerpo sólido.

P

- **Pilotes:** elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo
- **Propela:** (hélice) El concepto de la propela como un elemento de propulsión, no es nuevo ya que desde 400 años A.C. se comenzaron a utilizar elementos en forma de tornillos para levantar o mover agua.
- **Permeabilidad:** Cualidad de lo que es permeable

R

- **Revenimiento:** grado de plasticidad

S

- **Siderúrgica:** conseguir distintas aleaciones y tipos de minerales.
- **Supresión:** suprimir.

T

- **Tablaestaca:** piezas aplanadas y largas, de madera, acero o concreto reforzado o presforzado, que se hincan en el suelo, unidas o acopladas entre sí, de forma que constituyan cortinas planas o cilíndricas
- **Torsor:** componente paralela al eje longitudinal del momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal del prisma mecánico.
- **Talud:** Se llama talud a la inclinación que se da a las tierras para que se sostengan las unas a las otras.
- **Tubificación:** El movimiento de las partículas del suelo provocado por las filtraciones que provocan la formación de conductos

V

- **Viscosidad:** La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.
- **Viscosidad Marsh:** En el ensayo normalizado por el API para evaluar lodos a base de agua y a base de aceite, la medida de la **viscosidad** de embudo es el tiempo (en segundos) requerido para que un cuarto de lodo fluya fuera del embudo de **Marsh** hacia un vaso graduado. La **viscosidad** de embudo se expresa en segundos (para un cuarto de galón).
- **Viscómetro:** es un instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido.

Z

- **Zanjas:** técnica que se hace cuando el terreno junto a un corte debe soportar cargas a una cota superior a la del fondo de la excavación.