



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

**CONTROL DE CALIDAD Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA
TABLAESTACADO EN LA CIUDAD DE MORELIA MICHOACAN.**

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

P.I.C. MICHEL HINOJOSA LÒPEZ

ASESOR

**M. C. JOSE LUIS CASTILLO
M. C. FELIPE DE J. JERONIMO RODRIGUEZ**

ASESOR EXTERNO

M. C. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RUIZ

MORELIA, MICH. DICIEMBRE DEL 2007

INDICE

CAPITULO I.- INTRODUCCION.	Pág.
I.1. Objetivo	1
I.2. Alcances	1
I.3. Antecedentes	1
I.4. Hipótesis	2
CAPITULO II.- GENERALIDADES.	3
II.1. Introducción	3
II.2. Marco Teórico del Tablestacado	4
II.3. Control de Calidad	10
CAPITULO III.- ESTUDIOS PREVIOS.	13
III.1. Topografía	13
III.2. Estudios de mecánica de suelos	15
III.3. Pruebas triaxiales	20
III.4. Consolidación	21
CAPITULO IV.- TABLESTACADO Y SUS APLICACIONES.	23
IV.1. Metodología de estabilización de excavaciones para suelos	23
CAPITULO V.- CONTROL DE CALIDAD.	32
V.1. Control de calidad de tablestacas	32
CAPITULO VI.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.	43
VI.1. Procedimiento constructivo de tablestacado	43
CAPITULO VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	52
BIBLIOGRAFIA.	53

CAPITULO I

INTRODUCCION.

I.1. OBJETIVO

Cuando por razones de espacios en una construcción se hace necesario realizar excavaciones en las que es imposible el desarrollo de un talud, además los cortes alcanzan pendientes que los ponen en peligro de estabilidad o bien por que existen estructuras superficiales que pueden ser dañadas o deben de ser preservadas, se hace necesario algún tipo de estructura que soporte los empujes horizontales de la masa de suelo que será contenida por tablestacas que han sido diseñadas para dar soporte y estabilidad a las excavaciones o taludes.

I.2. ALCANCES

Se opto por un tablestacado para estabilizar los niveles freáticos, como para contener el terreno hasta la profundidad de 4.50 metros por ser un terreno inestable y poder trabajar en dicho cajón de estacionamiento para después continuar con las pilas de cimentación.

I.3. ANTECEDENTES.

El tablestacado es un sistema que se ha utilizado desde el siglo XIV por los romanos.

Las tablestacas de madera fueron usadas para la construcción de ataguías, que permitieron construir los apoyos de los puentes sobre ríos, desde tiempos del Imperio Romano; en la vía Flaminia, al norte de Roma, se utilizó un anillo de tablestacas cerchadas con anillos de hierro.

La construcción de una tablestaca hecha en 1588 con pilotes de madera machihembrados, para formar una ataguía, dentro de la cual se extrajo el agua y se colocaron cimientos firmes para construir los pilares de un puente (Derry & Williams, 1960).

En este tipo de obras se utilizan martillos para el hincado de pilotes que funcionaban por medio de una rueda impulsada por una corriente de agua.

El uso de tablestacas de acero data desde 1822, cuando se presento una patente inglesa de tablestaca metálica. Posteriormente, la introducción del acero a un nivel comercial trajo nuevo ímpetu al uso de esta técnica, mejorándose las conexiones entre las piezas y la resistencia del acero utilizado.

A principios del siglo XX, se desarrollaron fundamentalmente dos tipos de tablestacas de acero:

- a) Las formadas por perfiles estructurales existentes, vigas I, canales, placas, etc.
- b) Las roladas especialmente con el propósito de utilizarse como tablestacas. Esta última variante es la que se utiliza actualmente.

Con la introducción del concreto reforzado, se extendió el uso de las tablestacas de madera hacia este material, conservándose varios detalles en cuanto a geometría y

procedimiento constructivo. Se conoce el uso de las tablestacas de concreto, cuando menos, desde 1914.

I.4. HIPOTESIS.

Las tablestacas de concreto sirven en tales casos durante el periodo de construcción como estibación de excavaciones y en el estado final como elemento de pantalla y cimentación para sustentación de cargas horizontales y verticales. Estimándose que se ahorra en costos de encierres provisionales y reduce el tiempo de construcciones.

CAPITULO II

GENERALIDADES.

II.1.- INTRODUCCION.

Para realizarse la construcción en la ciudad de Morelia Michoacán, en la obra de la ampliación centro “comercial plaza las ameritas” se requirió de una excavación en dicha obra para el cajón de estacionamiento de 4.5 mts de profundidad por lo que se decidió utilizar un sistema de tablestacado donde las colindancias en la parte sur y oriente son construcciones y del lado poniente y norte con calles teniendo instalaciones municipales, su función en la parte de las construcciones es que los edificios no sufran ningún desplazamiento y puedan fracturar su estructura, en las avenidas el gran tránsito vehicular que se presenta por dicha avenida que podría desestabilizar el terreno y sufrir agrietamientos en la carpeta asfáltica así como derrumbes hacia la obra; la aplicación de las tablestacas es para que trabajen como un muro de contención, sostener y disminuir la transmisión de presiones en el terreno y no sufrir ningún accidente en la excavación del núcleo central para el estacionamiento de la plaza comercial y reducir los problemas de filtraciones de agua en la excavación y así mantener en las condiciones actuales en las que se encuentran las construcciones vecinas incluyendo su estabilidad y seguridad estructural así como su funcionamiento, ver Figura II.1. panorámica.



Figura.II.1.- Foto panorámica de colindancia norte edificio “SEARS” con la obra.

II.2.- MARCO TEORICO DEL TABLESTACADO.

La historia de la construcción de la tablestaca se remonta a finales del siglo pasado, se encuentra todavía entre las técnicas de construcción mas modernas gracias a los nuevos campos de aplicación, no solo en el campo de las obras marítimas sino también en muchas otras obras de ingeniería son elementos de concreto pretensados utilizados para: muros de contención de tierra, estribos de puentes de carreteras, túneles, vías subterráneas, muelles, defensas de causes, aperturas para zanjas en colectores, ejecución de encepados bajo nivel freático, etc.

En condiciones de suelo blando o suelto, cuando no es posible realizar una excavación con taludes verticales, debido a la presencia de edificios o instalaciones colindantes, una de las soluciones es utilizar tablestacas hincadas antes del proceso de excavación; del mismo modo las tablestacas han sido utilizadas para corregir o dar alineamiento a riberas o puertos, para conformar apoyos de puentes o para dar estabilidad a taludes.

Las tablestacas pueden ser de madera, concreto, acero, o coladas en el lugar. Cada opción tendrá sus ventajas y limitaciones, de acuerdo con el problema específico a resolver. Para seleccionar el tipo de tablestaca es necesario tomar en cuenta diversos factores:

- La resistencia estructural de la tablestaca.
- Forma de trabajo
- El nivel de deformaciones admisibles.
- La necesidad de evitar la entrada de agua hacia la excavación.
- La posible utilización de la tablestaca en la estructura definitiva o su reutilización.
- El procedimiento constructivo.
- El tipo y número de apuntalamiento.

Los campos principales de la tablestacas se encontraban hasta comienzos de los años 60 en obras correspondientes a vías de navegación fluvial e instalaciones portuarias, actualmente se encuentran también gran cantidad de obras de tablestacas como estructura sustentante integrada o independiente en muchos otros campos ya mencionados.

La tablestaca de concreto sirve en tales casos durante el periodo de construcción como estibación de excavaciones, y en el estado final como elemento de pantalla y cimentación para sustentación de cargas horizontales y verticales. Este tipo de construcción ahorra costos y reduce el tiempo de construcción. La brevedad del tiempo de construcción con tablestacas se traduce en retenciones mínimas de la circulación en el caso de obras de tráfico. Este es un factor importante a tener en cuenta en la planificación y diseño de obras públicas referentes a tráfico urbano así como en el ámbito de vías ferroviarias. Las administraciones de ferrocarriles han reconocido las ventajas de la construcción rápida con interrupciones breves de funcionamiento, y han construido gran cantidad de obras de tablestacas.

La construcción de tablestacas es una construcción prefabricada. Sus características principales son el comienzo inmediato de la construcción, maquinaria sencilla y fácil de controlar, necesidad escasa de personal, progreso rápido de la obra y una amplia independencia de las influencias climáticas.

Ventajas de Pantallas de Tablestacas.

- Reducción de plazos de ejecución.
- Un costo menor.
- Un mejor control de calidad, al estar todos los elementos a la vista y accesibles.
- Un fácil tratamiento de hermeticidad.
- Soluciones de nudos mas sencilla.

La unión entre tablestacas puede ser machihembrada o solapada:

Para elegir el diseño de tablestacas se realiza un estudio de las profundidades a la que se desea llegar, de la naturaleza del terreno y de la presencia o no de agua se elegirán el modelo y la longitud de la tablestaca además del diseño.

Las tablestacas **solapadas** se utilizan para profundidades de excavación pequeñas cuando no se alcance el nivel freático.

Las tablestacas **machihembradas** se utilizan para profundidades de excavación donde la resistencia de la pantalla debe de ser mayor o cuando la presencia de nivel freático obliga a una mayor estanqueidad del sistema.

En el diseño y construcción de las tablestacas intervienen numerosas disciplinas de la ingeniería, como:

- Diseño Estructural.
- La Hidráulica.
- La Geotecnia.

Todas las relacionadas para poder predecir los impactos ambientales que su hincia puede producir; el proceso involucra desde el diseño, la construcción y la operación de la estructura.

ANTECEDENTES HISTORICOS DE ABLESTACAS DE MADERA, CONCRETO Y ACERO.

Las tablestacas de Madera

Las tablestacas de Madera fueron usadas para la construcción de ataguías, que permitieron construir los apoyos de los puentes sobre ríos, desde tiempos del imperio romano; al norte de roma, se utilizo un anillo de tablestacas cerchadas con anillos de hierro.

Las tablestacas de madera se han reemplazado gradualmente por tablestacas de acero, concreto u otras variantes. Sin embargo, cuando se tiene la facilidad de obtener madera, cuentan con algunas ventajas técnicas y económicas.

Las tablestacas de madera tienen la ventaja de formar una barrera impermeable, ya que la madera se hincha al contacto con el agua del subsuelo, impidiendo filtraciones dentro de la excavación; este tipo de tablestacas es muy flexible, por lo que generalmente se requieren mas niveles de apuntalamiento que con otras opciones. Esta solución debe utilizarse solamente en suelos blandos, sin dificultades de hincado, en algunos casos, es necesario realizar perforaciones previas.

Existen diversos tipos de tablestacas de madera, formadas por uno o cuatro tablonces de madera, aunque la mas utilizada es la Wakefield, con patentes de 1887 y 1891, que consisten en tres tablonces con espesores de 2”, 3” o 4”, de 30 cm de ancho, formando un machihembrado, figura.II.2.

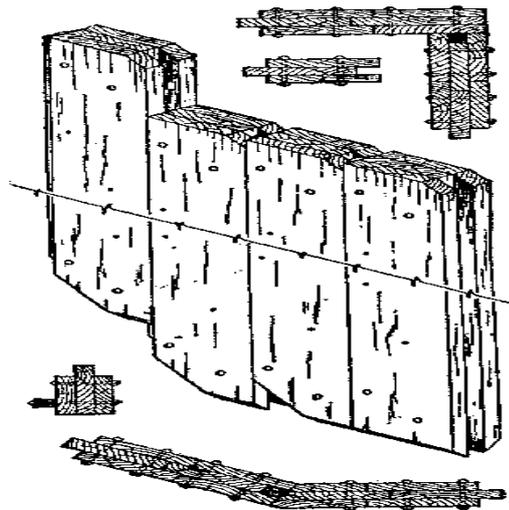


Figura. II.2.- Tablestacado Wakefield, Jacoby & Davis (1941).

La madera que se utiliza es de 2^a o 3^a, sin contener nudos flojos, estrellamientos o rajaduras; se requiere que los tablonces se cepillen ligeramente, dejándolos sin aristas (CNIC, 1987).

En la Figura. II.2, se observa como se pueden fabricar los cambios de dirección, ajustando las tres piezas de maderas; notándose el corte a 45° en la parte inferior, para ayudar a cerrar la distancia entre las piezas durante el hincado. En esta zona se coloca una lamina de acero calibre 18, para proteger la punta.

La unión de piezas se realiza en bancos especiales, prensando las piezas, para posteriormente taladrarlas y fijarlas con tornillos de ½ pulg o 5/8 pulg, que se colocan en arreglo triangular, en dos hileras separadas a cada 15 cm en sentido vertical y a cada 30 cm en sentido longitudinal. En los extremos de las tablestacas se colocan dos tornillos, Figura. II.3.

En una obra con perímetro cerrado se fabrican piezas de ajuste, que generalmente son más angostas que el resto, pudiendo ser doble macho o doble hembra.

Las piezas de esquinas requieren un diseño especial, utilizando el mismo principio de fabricación que el resto, se recomienda colocar una lamina calibre N° 18 entre los tablonces de la esquina, en toda la longitud.

Antes del hincado, es conveniente que las piezas se sumerjan en agua, cuando menos 12 horas, para lograr un mejor prensado con la tortillería, además de no tener cambios volumétricos al contacto con el agua del suelo.

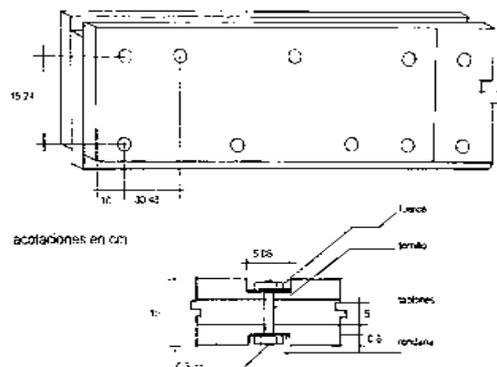


Figura. II.3.- Detalles para la fabricación de tablestacas de madera, CNIC (1987)

Para guiar las tablestacas dentro del suelo es recomendable excavar una zanja que contenga viguetas de acero, como se muestra en la Figura. II.4. Es importante verificar que la cabeza de los tornillos se encuentre sumida bajo la superficie de la tablestaca, para evitar que se atore en las vigas guía.

Para el hincado de la tablestaca, se sugiere utilizar martillos de caída libre o con una energía baja, para no romper las tablestacas. Se recomienda iniciar el hincado en una esquina, dentro de una perforación previa, para minimizar el desplome de la misma.

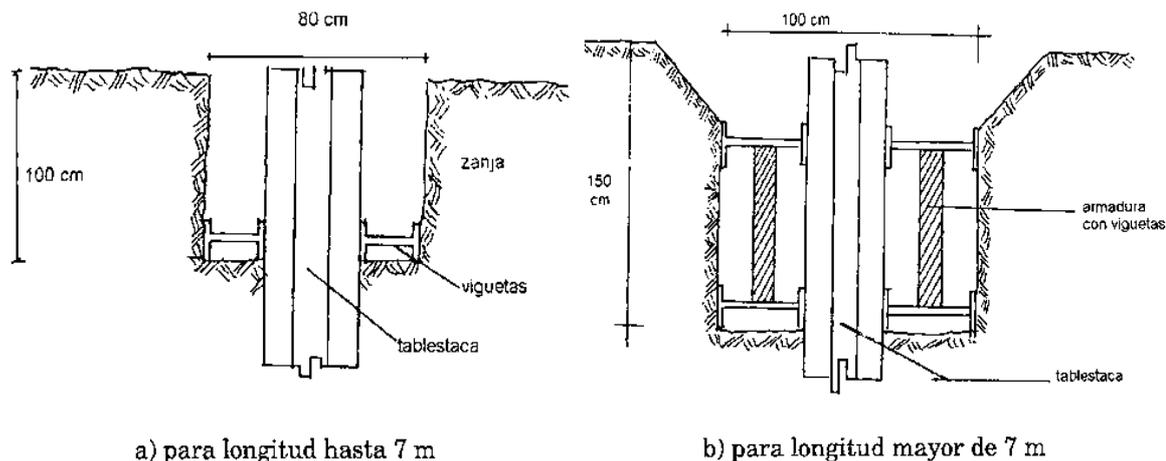


Figura. II.4.- Guía recuperable para el hincado de tablestacas, CNIC (1987).

Tablestacas de concreto

Las tablestacas de concreto reforzado son similares a las de madera, de sección cuadrada o rectangular, que se hincan una seguida de la otra, para formar un muro continuo, que puede construir parte de la estructura definitiva. Para mantener las tablestacas alineadas, se requiere una llave de cortante en la unión, que generalmente se logra con la figura de un machihembrado entre las piezas, Figura. II.5.

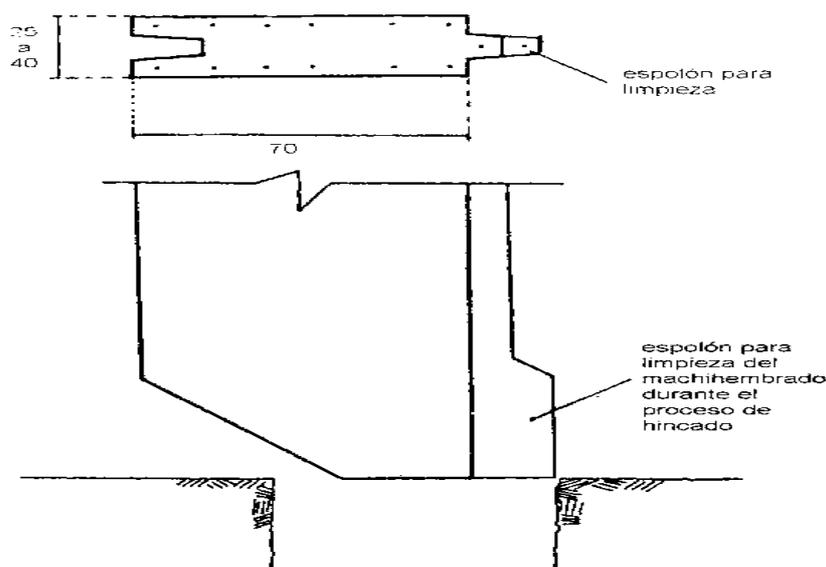


Figura. II.5.- Geometría de tablestacas del machihembrado.

La fabricación de estas piezas es similar a la de los pilotes de concreto precolados, utilizando camas de colado y almacenando las piezas para su posterior hincado, aunque es conveniente utilizar cimbras metálicas y curado a vapor, para optimizar el uso de la cimbra y de las camas de colados, Figura. II.6.

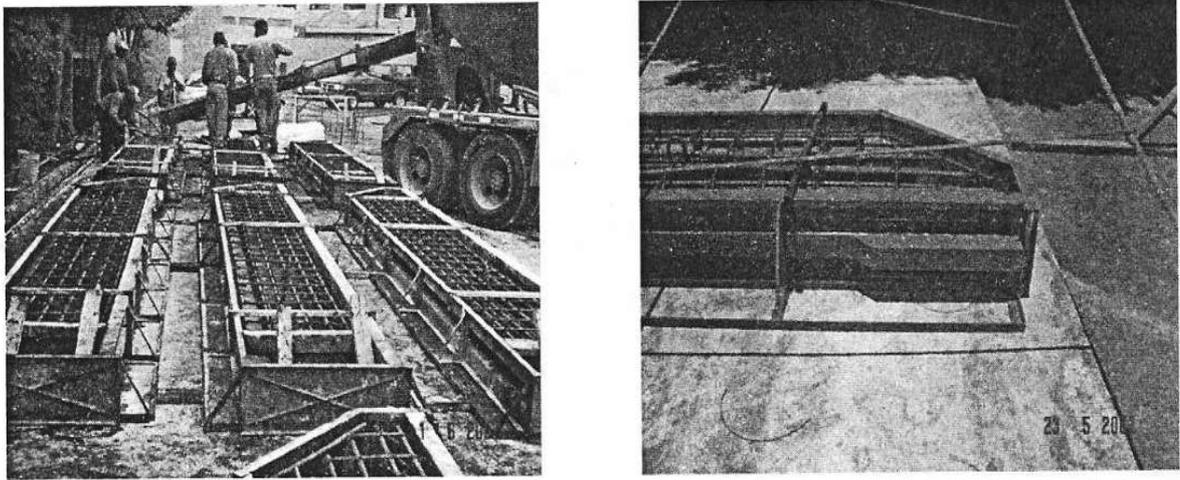


Figura. II.6.- Fabricación de tablestacas de concreto.

La sección de la tablestaca generalmente varía entre 20 y 40 cm de espesor, con anchos entre 40 y 70 cm; su longitud puede alcanzar hasta 16 mts en una sola pieza. Las puntas generalmente se construyen biseladas entre 30° y 45° , para que durante el hincado se provoque la tendencia a acercarse a la tablestaca previamente colocada. Es importante que la punta de la tablestaca contenga una saliente, que servirá como ayuda para la limpieza de suelo remanente en la pieza contigua. Figura.II.7.



Figura. II.7.- Geometría típica de tablestaca de concreto.

Los puntos para izaje y apoyo durante el acopio de tablestacas son similares a los de los pilotes de concreto, colocándose a $0.2L$ desde las orillas, siendo L la longitud de la tablestaca.

En algunos casos, es necesario realizar perforaciones previas, para ayudar al hincado de la tablestaca, en casos de existir estratos que dificulten el proceso. Dichas

perforaciones se hacen en la zona donde se ubicara la unión entre piezas, aunque es posible espaciarlas o acercarlas de acuerdo con las condiciones locales del suelo.

Para facilitar el hincado de tablestacas en suelos granulares finos, se puede utilizar un chiflón de agua. Los tubos para chiflón se pueden colocar dentro de la pieza, o por fuera de la misma.

En suelos con ciertos contenido de finos, algunas veces es posible abrir una perforación con el chiflón de agua bajo la punta de la tablestaca, aunque esta maniobra requiere de rapidez de ejecución, ya que estas perforaciones no son estables durante mucho tiempo (PCA, 1951).

Se inyecta el espacio que ha quedado en la unión entre cada pieza, utilizando mortero-cemento-arena (proporción típica), además de un aditivo expansor. Se utiliza un tubo equivalente al tremie, para colocar el mortero desde abajo hacia arriba.

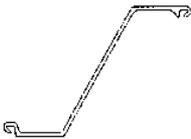
En caso de que este espacio contenga residuos de suelo, es posible limpiarlo con ayuda de un chiflón de agua, en toda la longitud de las tablestacas.

Tablestacas de acero

Las tablestacas de acero son las mas usadas mundialmente debido a su inherente resistencia, peso ligero y durabilidad. Consisten fundamentalmente de paneles interconectados por perfiles estructurales laminados en caliente o rolados en frío y que cumplen principalmente con los requerimientos de las especificaciones de la ASTM (American Society for testing and Materials), por la BS, (British Standards y por la EN (Eurocode)). Actualmente se proceden en una variedad de perfiles típicos cuyo uso depende de las solicitaciones y deformabilidad a que vayan a ser sujetos; aunado a lo anterior los requerimientos de durabilidad serán preponderantes en la definición del espesor o calibre de la sección.

Los fabricantes de acero tienen tres tipos de perfiles de catálogo, cuyo uso depende de la aplicación constructiva y de los requerimientos estructurales y de deformación. Esencialmente cada uno responde a las propiedades geométricas de su sección; en la tabla II.1a , se presenta las características de cada uno.

Tabla II.1a .- Características de las tablas de acero.

Perfil	Sección	Aplicación	Uso	Ventajas	Desventajas
Z		Excavaciones Muelles Apoyos de puentes	Quando los momentos flexionantes gobiernen el diseño	Sección simétrica sobre su eje neutro. Mayor momento de inercia	--
U				--	Momento de inercia bajo debido a que el eje neutro coincide en la unión.
Plano		Estructuras celulares circulares Estructuras cerradas	Quando la resistencia a la tensión de la conexión gobiernen el diseño	--	Momento de inercia nulo

Cada uno de los perfiles, de acuerdo con los fabricantes puede ser producido con las características del acero necesarias para soportar los efectos de deterioro por corrosión. Los fabricantes proporcionan catálogos con las propiedades geométricas necesarias para el diseño. La selección del tipo de perfil dependerá de las condiciones geométricas del proyecto, escogiéndose las secciones Z o U en geometrías abiertas y la plana cuando la geometría de la construcción es cerrada.

El desarrollo de la tablestaca de acero comenzó al constatarse que la tablestaca de madera no satisfacía ya las exigencias planteadas. Los desniveles cada vez más grandes del terreno en las obras fluviales y de construcción de puertos exigían capacidades mayores de carga, que no eran alcanzadas por la madera. En primer lugar se intento llevar a cabo cierres de obras con chapa ondulada y hierro fundido. La tablestaca de perfiles laminados ensamblados, corriente en el mercado, represento un paso adelante. La distribución desfavorable de masa llevo a la necesidad de un peso alto y con ello a una pantalla antieconómica. Además la capacidad de hincado y la estanqueidad de estos perfiles dejaban bastante que hacer.

II.3.-CONTROL DE CALIDAD.

Actualmente el control de calidad de las obras es muy importante en nuestro país como en el mundo, por que con ello podemos estar seguros de que la obra podrá prestar el servicio para el que fue diseñada, uno de los puntos mas importes en el control de calidad es el de verificar la calidad de los materiales empleados en la obra, asi como el empleo en la misma.

El índice de resistencia mas característico del concreto es su resistencia a la compresión, y el del acero, su resistencia a la tensión.

El control de calidad fue aplicado para cada una de las piezas, coladas y alas ollas en las que eran suministrado el concreto siendo un concreto prefabricado suministrado por la concretera Holcim Apasco dando ellos la calidad, también se contrato a un laboratorio de control de calidad certificado para las pruebas en campo y llevar un registro para ser presentadas a supervisión y cumplir con las especificaciones dadas por proyectos.

En las pruebas de calidad llevadas acabo en la planta (concretera) fueron:

- Peso exacto de los agregados (arena, grava y cemento) para dar la resistencia especificada en proyecto en las tablestacas.
- La granulometría en los agregados gruesos ya que es el ingrediente mas importante en el hormigón dado que el diámetro mayor fue de $\frac{3}{4}$ pulg, para obtener una mejor adherencia en la pieza.
- En los agregados finos siendo el segundo material importante de la producción de un buen concreto de buena calidad, las arenas no deben de estar contaminadas con otros materiales finos perjudiciales y deben obtener una buena granulometría.
- El aumento de la cantidad de agua va en detrimento de la calidad del concreto dicha agua debe de estar libre de ácidos, álcalis y grasas, el agua que contenga cuerpos orgánicos debe desecharse ya que puede interferir en el fraguado del cemento.
- El cemento CPC 30 R es un cemento que es recomendado y suministrado por la concretera dando las especificaciones de acuerdo a la norma mexicana (NMX-C-414-ONNCCE-1999), ya que el requisito esencial y característico del concreto, es su larga vida y su mantenimiento reducido ya que es el único material artificial que aumenta su resistencia con el tiempo.

Generalidades de los agregados:

En general los agregados, tanto gruesos como finos, deben de reunir las siguientes condiciones.

a) Limpieza. Deben de ser limpios con el objeto de que exista mayor adherencia (como ejemplo, el barro la limitaría), si los agregados no son los limpios habrá que lavarlos.

b) Elementos Orgánicos. Deben de estar libres de estos elementos, pues su presencia alteraría las reacciones químicas del cemento y afectaría su resistencia.

c) Resistencia.- La fatiga a compresión de la roca de la cual provienen, debe ser mayor o igual que la fatiga del concreto proyectado y poco porosas para que absorban menos aguas

d) Sanidad. Los agregados deben ser sanos para que al sufrir cambios de temperatura su volumen no aumente excesivamente.

e) Agua. El motivo principal de adicionar agua al cemento es causar su hidratación, el aumento de la cantidad de agua va en detrimento de la calidad del concreto.

El requisito esencial y por lo tanto característico del concreto, es su larga vida y su mantenimiento reducido, a mas de que, es el único material artificial que aumenta su resistencia con el tiempo siempre y cuando durante el proceso de fraguado y curado por humedad, aun después de un prolongado periodo de secado la resistencia volverá aumentar aunque no en la misma proporción que si no se hubiese permitido que el concreto llegara a secarse completamente

En este tipo de pruebas específicas se entregaban los reportes de la concretera del control de calidad del concreto suministrado en base alas especificaciones pedidas por proyectos para ser entregados a supervisión de la propietaria. También se invitaba al personal encargado de la contratista como cliente de la concretera para examinar física y visualmente de los agregados suministrados a las mezclas por olla que eran suministradas para el colado de las tablestacas así como las cantidades de los materiales que intervienen en la dosificación del concreto en pesos, separadamente.

En las pruebas de calidad en el concreto tomadas en campo por el laboratorio fueron:

Se observaba la mezcla que no lleve materiales muy gruesos y fuera de proporción uniforme para después hacer la siguiente prueba de revenimiento.

Revenimiento.- Es la medida convencional de trabajabilidad del concreto, llevándose acabo de la forma siguiente. Una diferencia de 2.5 centímetros en la determinación, puede provocar el rechazo de una carga completa del concreto.

1.- El cono de revenimiento se llena en tres capas apisonadas 25 veces con la varilla estándar punta de bala.

2.- Se procede a retirar el molde dejando asentarse el hormigón tanto como su consistencia lo permita.

3.- Se mide la distancia de la condición original del concreto a la condición revenida en su parte superior y ese será el revenimiento.

Cilindros y pruebas.- La resistencia del hormigón se mide como la resistencia compresiva a los 28 días, de cilindros de generatriz vertical de doble altura, que han sido mantenidos húmedos por inmersión o en arena húmeda a 21.2 °C., desde su vaciado.

Si el cilindro se relaciona con el trabajo de obra, como es el caso que nos ocupa, los cilindros se dividen en de “calidad” y de “obra”, el primero se sujetara a las

condiciones antes expuestas y el segundo se le someterá en todo lo posible al mismo tratamiento que el concreto de la estructura, es decir, a exposición, temperatura y similares condiciones de curado.

Los cilindros de prueba para los tamaños de agregados usuales del concreto se llevan acabo en moldes metálicos de 15 cm de diámetro y 30 de altura compactando tres camadas de concreto con 25 golpes de varilla estándar Φ 5/8 pulg, punta de bala por camada y enrasado a nivel.

CAPITULO III

ESTUDIOS PREVIOS.

Para llevar acabo la solicitud de la demanda en la obra contemplada de la ampliación “plaza comercial las americas”, donde se considero un cajo de estacionamiento, se llevaron acabo estudios que de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas positivas las cuales fueron autorizadas para el inicio de la obra.

III.1. TOPOGRAFIA.

Levantamiento Topográfico, se llama así al conjunto de operaciones que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie de la tierra o a poca altura sobre la misma, estas operaciones consisten esencialmente, en medir distancias verticales .

Todo proyecto de obras públicas o privadas de cierta importancia requiere un levantamiento previo, sobre cuyos datos hace basarse aquel, que utiliza las alineaciones y los puntos determinados sobre el terreno.

La topografía es fundamental para el inicio de cualquier proyecto ahorrando en la construcción tiempo y costo cuando están basados en una buena topografía.

Se hizo el levantamiento del terreno general que tiene por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir las superficies de acuerdo a proyecto para proyectar la obra a construir.

En general el predio, colinda al norte y al oriente con propiedades particulares; al sur con la actual zona comercial y al poniente con la Avenida. Enrique Ramírez. Actualmente la zona de estudio alojaba a una antigua tienda comercial, zona de estacionamiento y viviendas particulares. Presenta una forma irregular parecida a un trapecio, ver Plano anexo de la Figura III.1.

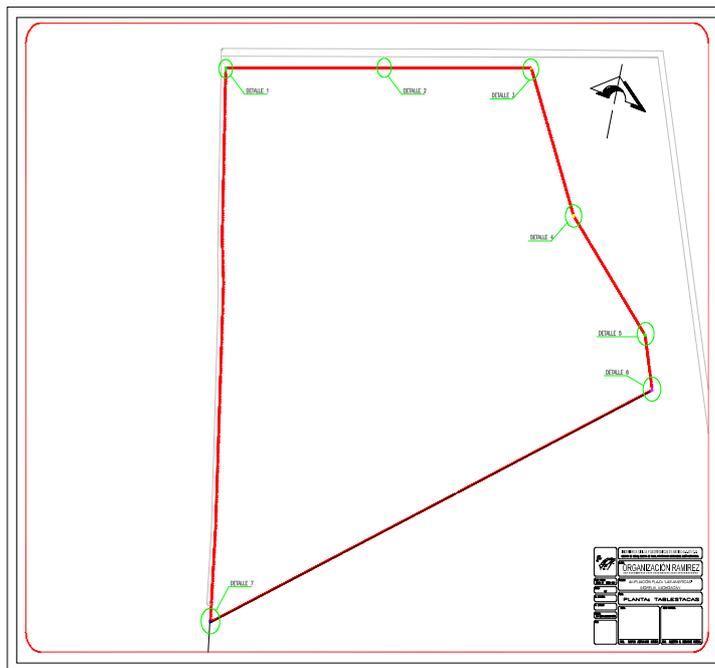


Figura III.1.-Plano de levantamiento topográfico del predio.

El trazo perimetral del terreno es muy importante para el hincado de las tablestacas ya que esta nos delimitaría el terreno y siendo este en donde se hiciera la excavación para el brocal que sirve como guía de la tablestaca y tener bien definido los quiebres y deflexiones del terreno para tener que fabricar las piezas llamadas especiales y de esquinas.

Previamente a cualquier trabajo de la demolición y excavación se deberán de colocar suficientes puntos de control para llevar un registro adecuado de los movimientos ocasionados por la construcción.

- Se instalaron palomas de nivelación topográfica en todas las paredes de colindancia, a 5.00 mts de separación y se medirán diariamente durante la excavación para el cajón del estacionamiento.
- Se deberá contar con un banco de nivel confiable, fuera del área de afectación (100.00 mts, como mínimo).
- Una vez instalados los puntos de control y el banco de nivel, se realizara una nivelación de partida preferiblemente ante un notario, así como el dictamen de las condiciones actuales en que se encuentran las construcciones vecinas incluyendo su estabilidad y seguridad estructural así como su funcionamiento.

El área aproximada para la ampliación es de $19,590.45\text{m}^2$, de los cuales $4,995\text{m}^2$ se destinarán para pisos de ventas y el resto lo integraran locales comerciales y andadores. El inmueble se conformara por un nivel de estacionamiento (cuota 0.00 y -4.50 respectivamente), planta baja mezanine en la cuota 0+000 y tres niveles de entresijos a cada 6 mts de altura, hasta llegar a la cuota de azote de + 18.00. Estructuralmente la nueva ampliación estará conformada por columnas y trabes de concreto preesforzado con entresijos de trabes preesforzadas “ π ” del mismo material y muros perimetrales de block.

Los entre-ejes, entre columnas serán de 9.90m, en el sentido transversal, y en el sentido longitudinal de 16.50m aproximadamente.

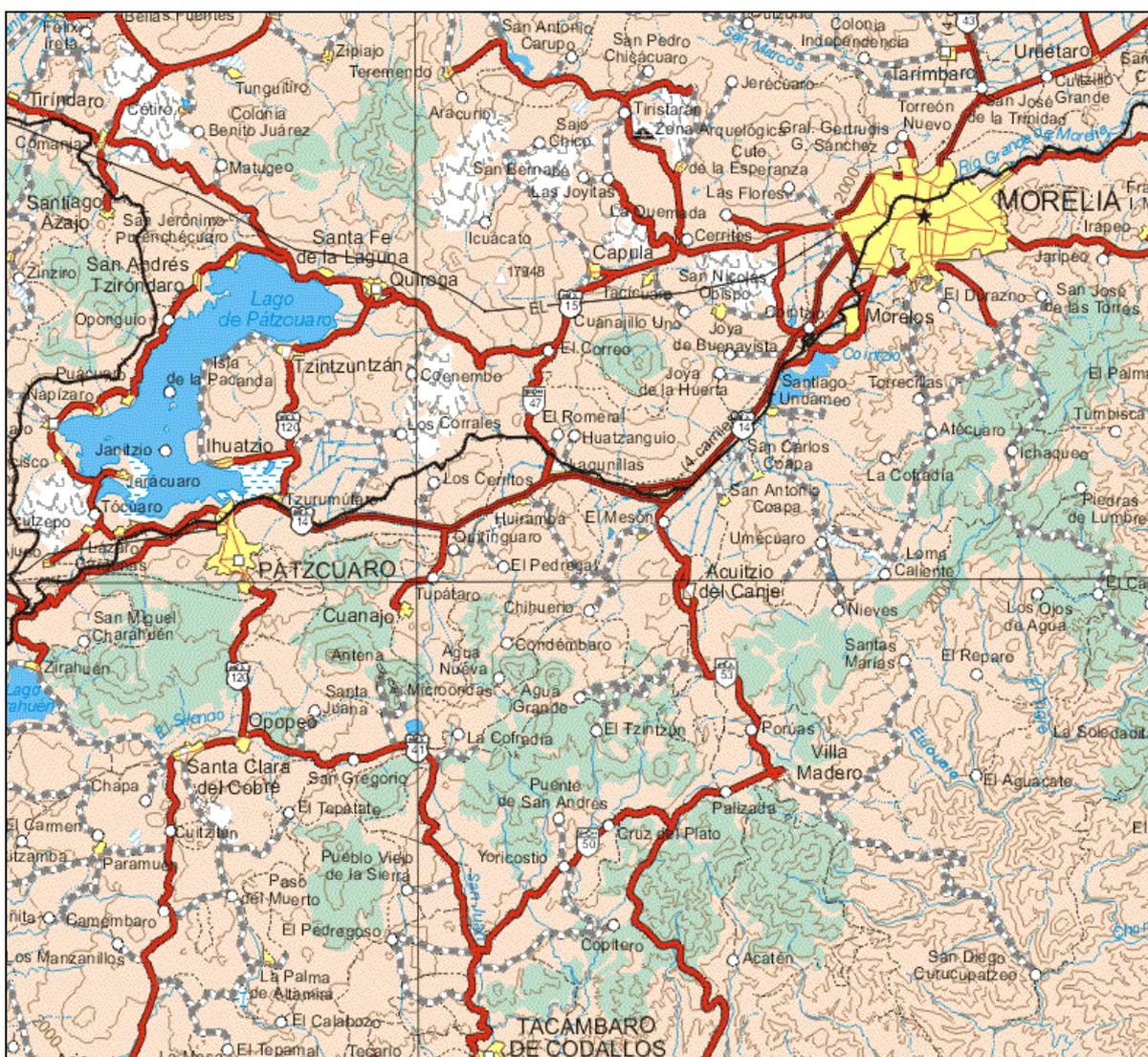


Figura.III.2.- Localización del predio “plaza las americas”, Morelia Michoacán.

La Ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán, se encuentra en los $19^{\circ}42''$ de latitud norte y a los $101^{\circ}07''$ de longitud Oeste.

La ciudad de Morelia se encuentra ubicada en la provincia de la zona neovolcanica caracterizada por una altiplanicie situada a mas de 2000 mts sobre el nivel del mar de las que sobresalen numerosos cerros.

Queda comprendida dentro de la zona sísmica No.5 de la carta regionalización sísmica de la republica mexicana para fines de ingeniería. Desde el punto de vista de la frecuencia con que han ocurrido los temblores en el país, la ciudad se localiza en la frontera entre la zona de sismos poco frecuentes y la de sismos frecuentes. De acuerdo con el plano de distribución de máximas intensidades sísmicas en la región, la ciudad caería dentro de la zona correspondiente a sismos de grado VII en la escala de Mercalli modificada.

III.2.- ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS.

La mecánica de suelos es la parte de la ingeniería que estudia las características de los suelos que permita predecir su comportamiento en las diferentes obras que el ingeniero civil construye.

El objetivo fundamental de la mecánica de suelos es la de conocer todo lo referente a sus propiedades para trabajar adecuadamente con ellos al ser utilizados como realmente de soporte o como material de construcción.

El objeto del estudio del subsuelo es la obtención de muestras que permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas de los diversos estratos y con ellos proceder a efectuar los análisis de capacidad de carga del terreno y de las deformaciones del mismo bajo las cargas que se le impongan. De esta manera se definirá el sistema de cimentación más adecuado para las estructuras; así como también se definirá el procedimiento constructivo.



Figura III.3.- Equipo para estudio de Mecánica de Suelos.

Perfil estratigráfico y propiedades de los diversos estratos.

a). Programa de exploración del subsuelo.

El conocimiento detallado de la estructura y propiedades del subsuelo resulta primordial para poder llegar aun diseño apropiado de la cimentación de la estructura. Es por ello que uno de los puntos clave del proyecto consiste en el programa de exploración, integrado por los trabajos ejecutados directamente en el campo y complementado con los ensayos de laboratorio para que posteriormente conjuntar los resultados en gabinete, hasta llegar aun modelo geomecánico susceptible del análisis matemático.

Número, tipo y profundidad de sondeos: Para el análisis de la cimentación se realizaron dos sondeos de 25.00m de profundidad denominados el SM-1, SM-2, exclusivamente en la zona de estacionamiento actual ya que no hay posibilidad de entrar a las otras áreas.

Tipo de muestra: Los sondeos se ejecutaron combinando el penetrómetro estándar de 60 cms de longitud, hincándose a percusión con obtención de muestras alteradas representativas y el muestreo inalterado empleando el tubo Shelby dentado o Barril Denison. De los diferentes estratos se obtuvieron las propiedades índices de los suelos con el muestreo alterado y con el muestreo inalterado las propiedades mecánicas. Con la prueba de Penetración Estándar se puede correlacionar el número de golpes “N” obtenidos, con la consistencia y a su vez con la compresibilidad de los suelos finos. De manera similar, relacionando “N” con el esfuerzo efectivo vertical a la profundidad del muestreo, se puede estimar la compacidad de suelos granulares y el Angulo de fricción interna.

b). Laboratorio.

A todas las muestras recuperadas se les determino su contenido natural de agua y se realizo su clasificación visual y al tacto. Selectivamente se efectuaron pruebas de limites de consistencia, porcentaje de finos y granulometría por mallas, atendiendo al tipo de material de que se tratara. Con estos datos se obtuvo la clasificación SUCS de los diversos materiales.

De las muestras inalteradas se determinaron la resistencia al esfuerzo cortante y la deformación de los suelos.

c). Gabinete.

Se prepararon los perfiles individuales de los sondeos, donde fue posible observar la variación con la profundidad de:

- Contenido de agua
- Estado físico
- Litología
- Consistencia o compacidad relativa, ya sea que el suelo exhiba un carácter cohesivo o friccionante.
- Gama de colores.
- Constitución granulométrica.

d). Perfil Estratigráfico.

Descripción Estratigráfica-(SM-1).

- Superficialmente se encontró una losa de concreto de 20 cms de espesor.
- La secuencia estratigráfica detectada en el sitio obedece a una depositacion en un ambiente lacustre, generado por la otrora presencia de una pequeña presa.

- Entre 0.20 y 1.40m. se detectó un estrato con una compacidad que va de suelta a media; compuesto por gravas y gravillas de hasta $\frac{3}{4}$ pulg, (GC) empacadas en una matriz de arcilla con muy poca arena, color café; su granulometría se describe a continuación: G=49.50%, S=10.90 y F=39.50%. El número de golpes “N” registrado en la penetración estándar arrojó un valor comprendidos entre 0 y 21; su humedad natural varió de 30.72% a 25.96%.
- A continuación se observó que de 1.40m y hasta 7.10m. yace una arcilla con poca arena fina (CH), su color va de café oscuro a café. Su contenido natural de agua oscila entre los siguientes valores: 24.740% y 42.17%; su granulometría se describe a continuación: G=0.00%, 2.73%<S<8.32% y 91.68%<F<97.27%; el número de golpes registrado en la penetración estándar arrojó valores entre 6 y 10 golpes, por tal motivo su consistencia va de semirrígida a rígida y su compresibilidad de media a baja.
- De 7.10 a 9.10m se encontró un limo (MH) de color café, con algunos grumos del mismo material; de consistencia muy rígida y compresibilidad baja; el número de golpes arrojó valores de 16; contiene en promedio, 0.00% de grava, 6.60% de arena y 93.21% de finos limosos; su humedad natural oscilo entre 26.69% y 44.44%. En la parte inferior se detectó una lente de aproximadamente 40cm de limo arenoso (ML) color café, de consistencia muy rígida y compresibilidad baja; con: G=0.00%, S=37.30%, y F=62.2%.
- Posteriormente de 9.10 a 12.60m yace un material compuesto por boleos de hasta 15 cm, gravas y gravillas de hasta $\frac{3}{4}$ ” (GC), empacados en una matriz de arena con finos arcillosos; la resistencia a la penetración estándar arrojó valores mayores a 50 golpes, por tal motivo la compacidad es alta; su distribución granulométrica se describe a continuación; 51.10%<G<75.50%, 12.60%<S<32.90% y 5.00%<F<16.00% .
- De 12.60 a 13.20m se observó una arcilla (CH) con grumos, color café, de consistencia dura y compresibilidad muy baja; el número de golpes fue mayor a 50; contiene 0.00% de grava, 3.08% de arena y 96.92% de finos arcillosos; su humedad natural es W=37.78%.
- A continuación de 13.20 a 15.60m se detectó un material con una compacidad alta, conformado por gravas basálticas redondeadas de hasta $\frac{3}{4}$ pulg, (GC), empacadas en una matriz de arcilla con arena; la resistencia a la penetración estándar arrojó valores mayor a 50 golpes; la humedad natural osciló entre 16.77% y 21.98%; su granulometría se describe a continuación: 52.70%<G<68.80%, 15.00%<S<26.30% y 15.50%<F<96.92%.
- Entre 15.60m y 21.00m se observó una alternancia de boleos y gravas redondeadas de origen fluvial, empacados en una matriz arcillo-arenosa; de compacidad muy alta, ya que la resistencia a la penetración estándar arrojó valores mayores a 50 golpes. Dentro de este estrato, a un a profundidad de 18.00m, se observó un pequeño estrato de aproximadamente 5 cm de espesor, de gravas y gravillas de hasta 1”, empacadas en una matriz de arcilla con arena, de compacidad alta, color café; con: 66.30% de grava, 8.30% de arena y 25.40% de finos arcillosos.
- Finalmente de 21.0m y hasta 25.0m que es la profundidad final explorada, se detectó un toba conformada por limo arenoso SM de color café, de consistencia dura y compresibilidad muy baja, ya que el número de golpes arrojó valores mayores a 50. Contiene 22.00% de gravas, 28.80% de arena y 49.20% de finos arcillosos.

Descripción Estratigrafica –(SM-2).

- Superficialmente se perforó una losa de concreto de de 20 cm. de espesor.
- Entre 0.20 y 0.80m. se detectó un estrato con una compacidad suelta, compuesto por gravas y gravillas de hasta $\frac{1}{2}$ pulg, (GM) empacadas en una matriz de arena con finos

limosos, color café; su granulometría se describe a continuación: G=23.4%, S=43.6 y F=33.0%. El número de golpes “N” registrado en la penetración estándar arrojó un valor de 9; su humedad natural fue de 26.08%.

- A continuación se observó que de 0.80m y hasta 9.10m yace una arcilla (CH-CL) con poca arena fina, su color va de café oscuro a café. Su contenido natural de agua osciló entre los siguientes valores: 21.62% y 50.60%; su granulometría se describe a continuación: $0.00\% < G < 1.00\%$, $4.60\% < S < 22.50\%$ y $55.70\% < F < 95.40\%$; el número de golpes registrado en la penetración estándar arrojó valores entre 4 y 48 golpes, por tal motivo su consistencia va desde baja a alta y su compresibilidad de alta a muy baja. De 8.50m a 8.50m se encontró un estrato con arcilla arenosa (CL), gravas y gravillas de $\frac{3}{4}$ pulg, con una consistencia muy rígida y una compresibilidad baja, color café; con: G=20.9%, S=22.50% y F=55.70%.

- De 9.10 a 9.50m se encontró un limo (MH) con arena color café; de consistencia dura y compresibilidad muy baja; el número de golpes arrojó valores de 50 por lo cual su compacidad es dura y su compresibilidad muy baja; su humedad natural es W=3.14%.

- Posteriormente de 9.50 a 10.40 m se detectó un material compuesto por boleos, gravas y gravillas (GC), empacadas en una matriz de arena poco arcillosa; la resistencia a la penetración estándar arrojó valores mayores a 50 golpes, por tal motivo la compacidad es alta.

- Entre 10.40m y 15.00m se cruzó una alternancia de boleos y gravas redondeadas de origen lacustre, empacadas en una matriz arcillo-arenosa, de compacidad muy alta, ya que la resistencia a la penetración estándar arrojó valores mayores a 50 golpes.

- Finalmente de 15.00 m y hasta 20.00 m, que es la profundidad final explorada, se detectó una toba conformada por un material limo arenoso (ML) de color café, de baja plasticidad y con algunas gravillas en la parte superior, de consistencia dura y compresibilidad muy baja, ya que el número de golpes arrojó valores mayor a 50. Su humedad natural va de 29.62% a 35.61%.

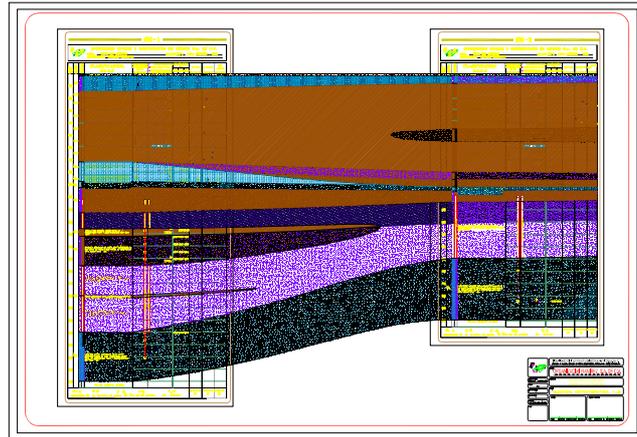
- El nivel freático se detectó durante los trabajos de exploración a 6.00m en ambos sondeos.

Adicionalmente en los sondeos se realizaron pruebas de permeabilidad promedio tipo Lefranc de carga variable, debido al carácter arcilloso de las matrices, de la cual se obtuvieron los siguientes valores:

En la tabla siguiente se presenta un resumen de los coeficientes de permeabilidad promedio que resultaron de las pruebas.

PRUEBA	PROFUNDIDAD (m)	PERMEABILIDAD PROMEDIO K (CM/SEG)
1	DE 0.00 A 9.00	2.452E-06
2	DE 0.00 A 12.00	6.157E-07
3	DE 0.00 A 15.00	3.977E-07
4	DE 0.00 A 18.00	1.000E-06
5	DE 0.00 A 25.00	6.632E-07

De acuerdo a los resultados de permeabilidad nos dice que es una arcilla de muy baja permeabilidad.



En la **Figura III.4.-** Se muestra el perfil estratigráfico de los sondeos.

III.3. PRUEBAS TRIAXIALES.

Las pruebas de compresión triaxial son mucho más refinadas que las de corte directo y en la actualidad son, con mucho, las usadas en cualquier laboratorio para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos a esfuerzos cortantes. Teóricamente son pruebas en que se podrían variar a voluntad las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre un espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. En realidad y buscando sencillez en su realización, en las pruebas que hoy se efectúan, los esfuerzos en dos direcciones son iguales. Los especímenes son usualmente cilindros y están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua, del cual se protegen con una membrana impermeable. Para lograr el debido confinamiento, la muestra se coloca en el interior de una cámara cilíndrica y hermética, de lucita, con bases metálicas **Figura III.5.** En las bases de la muestras se colocan piedras porosas, cuya comunicación con una bureta exterior puede establecerse a voluntad con segmentos de tubo plástico (tubo Sarán). El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor comunicado con ella. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la base superior de la cámara.

Las pruebas triaxiales suelen considerarse constituidas por dos etapas. La primera es aquella en que se aplica a la muestra la presión de cámara; durante ella o no permitirse el drenaje de la muestra, abriendo o cerrando la válvula de salida del agua a través de las piedras porosas. En la segunda etapa, de carga propiamente dicha, la muestra se sujeta a esfuerzos cortantes, sometiénola a esfuerzos principales que ya no son iguales entre sí; esto requiere variar la presión que comunique el vástago, de acuerdo con alguna de las líneas de acción ya mencionadas (pruebas de compresión o extensión); esta segunda etapa puede también ser o no drenada, según se maneje la misma válvula mencionada.



Figura III.5.- Equipo de laboratorio para pruebas triaxiales.

Como se comento que no solo es necesario revisar la resistencia del suelo contra una falla por cortante, si no que también verificar que los desplazamientos de la cimentación queden dentro de un orden de magnitud adecuado para permitir que la estructura sea funcional y que al mismo tiempo, no genere esfuerzos desfavorables en los miembros que la constituyen.

En este apartado se aborda el problema de las deformaciones del terreno, para las cuales se estudiaran las diferentes etapas:

- Análisis de esfuerzos en la masa de los suelos hasta una profundidad tal que la cimentación ya no modifique las condiciones de esfuerzo preexistentes. En este cálculo se tomaron en cuenta tanto la estratigrafía como la forma de la cimentación.
- Conocidos los incrementos de esfuerzos efectivos en cada punto se procedió a calcular el asentamiento por concepto de deformación elástica por el método de Steinbrenner para un sistema multicapa, ya que estos suelos no se apegan a la teoría de la consolidación de Terzaghi.

Los análisis llevados a cabo muestran una presión de contacto admisible $qa = 45.00$ t/m², los asentamientos generados son menores a 2. 50cms.

III.4. CONSOLIDACION.

En un mecanismo de disminución de volumen en un lapso de tiempo provocado por el aumento de cargas en el suelo, si el proceso ocurre en la dirección vertical se llama consolidación unidimensional.

Al proceso de deformación de suelo provocada por el reacomodo de las partículas sólidas y acompañado por la expulsión de agua recibe el nombre de

consolidación primaria. Su duración depende de la magnitud de la carga, del contenido de agua del suelo, de su permeabilidad y de las condiciones de drenaje.

A la reducción de un volumen de un suelo provocada por la deformación elástica y plástica de las partículas sólidas recibe el nombre de consolidación secundaria, para realizar la prueba de consolidación unidimensional la cual se realiza con un aparato llamado consolidómetro, ver Figura. III.6.



Figura III.6.- Equipo para pruebas de consolidación.

El objetivo fundamental de la prueba de consolidación es el de determinar la compresibilidad de los suelos cuando se ven sometidas a cargas que transmiten las estructuras sin embargo como el proceso de consolidación esta asociado con el tiempo y la rapidez con que sale el agua del suelo se utilizan parámetros y datos de la prueba para determinar el coeficiente de permeabilidad.

Se tomó como valor de análisis y diseño la capacidad de carga neta admisible (q_a) afectada con un factor de seguridad de 3. El análisis se realizó considerando tanto las cargas permanentes como las cargas dinámicas accidentales más desfavorables que pudieran presentarse serán inferiores en valor al de las cargas de trabajo de la estructura.

La capacidad de carga por punta es función de las dimensiones geométricas, de la forma y de la rugosidad de la punta, así como de la presión de confinamiento, la resistencia al esfuerzo cortante, la densidad y compresibilidad del suelo que se halla debajo y alrededor de la punta.

Por otro lado la capacidad a fricción es función de la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo del fuste del elemento, así como del esfuerzo efectivo horizontal.

Análisis de esfuerzos en la masa de los suelos hasta una profundidad tal que la cimentación ya no modifique las condiciones de esfuerzo preexistentes. En este cálculo se tomaron en cuenta tanto la estratigrafía como la forma de la cimentación.

Por la naturaleza de los suelos involucrados, el análisis fue de tipo elástico, ya que en estos suelos no es aplicable con todo rigor la teoría de consolidación debida a Terzaghi, para suelos finos saturados. En estos materiales la componente elástica juega un papel mucho más importante que la deformación plástica o el efecto viscoso.

CAPITULO IV.

TABLESTACAS Y SUS APLICACIONES.

IV.1. Metodología de estabilización de excavaciones para suelos.

El diseño de un muro tablestaca se realiza mediante un proceso iterativo, que involucra las siguientes acciones:

- a).- Cálculo de las fuerzas y de las presiones laterales que actúan sobre la tablestaca.
- b).- Determinación de la longitud necesaria de empotramiento.
- c).- Cálculo de los momentos flexionantes máximos; definición de la sección de la tablestaca en función de los máximos esfuerzos y de las condiciones de apoyos.
- d).- Determinación del apuntalamiento o anclaje.

Antes del inicio del proceso de cálculo las condiciones geométricas y el tipo y propiedades de los suelos sobre los que se apoyara la tablestaca, deben ser definidos. Las condiciones geométricas incluyen su posición y alineamiento, altura libre, sobrecargas, niveles de aguas, condiciones ambientales, etc. El tipo y propiedades de los suelos incluyen la definición de la estratigrafía a través de un número adecuado de sondeos; las propiedades mecánicas de los suelos determinadas a través de pruebas de laboratorio, así como las condiciones de agresividad de suelos y aguas.

Existen dos tipos básicos de muros de tablestacas:

- a).- Muros en cantiliver o muros en voladizo.
- b).- Muros anclados o apuntalados.

a). Muros en Cantiliver.

Una tablestaca o muro en cantiliver es aquel que se construye hincando en el terreno la sección estructural, una profundidad suficiente para desarrollar una reacción de viga en voladizo que resista las presiones activas sobre la tablestaca. Debido a las grandes deformaciones que pueden experimentar este tipo de solución es aceptable solo en muros de poca altura, aproximadamente 5 mts, ya que con la altura se incrementa su flexibilidad, siendo los momentos flexionantes proporcionales al cubo de su altura. La erosión, el arrastre de sedimentos y la consolidación de los suelos en la parte frontal del muro contribuyen en incrementar estas deformaciones.

El equilibrio estático de los muros en cantiliver se debe a la magnitud del empuje pasivo que desarrolla en la porción enterrada del muro, requiriéndose de grandes profundidades de empotramiento para lograr la estabilidad, lo anterior conduce a sobreesfuerzos en la sección estructural.

Las presiones que desarrollan en una tablestaca en cantiliver se presentan en la Figura.IV.1. Cuando la presión activa actúa en su altura libre, la tablestaca gira sobre un punto de rotación desarrollando presiones pasivas encima y debajo de este pivote. La diferencia aritmética entre las presiones pasivas y activas, $p_p - p_a$, se conoce como presión neta. En el punto de rotación la presión neta es igual a cero, y que se ilustra por el diagrama oabc; para diseño la curva abc es reemplazada por la recta dc, donde la profundidad del punto d se ubica por el equilibrio estático de presiones. Los errores obtenidos por esta suposición son de orden menor, por lo cual son aceptables.

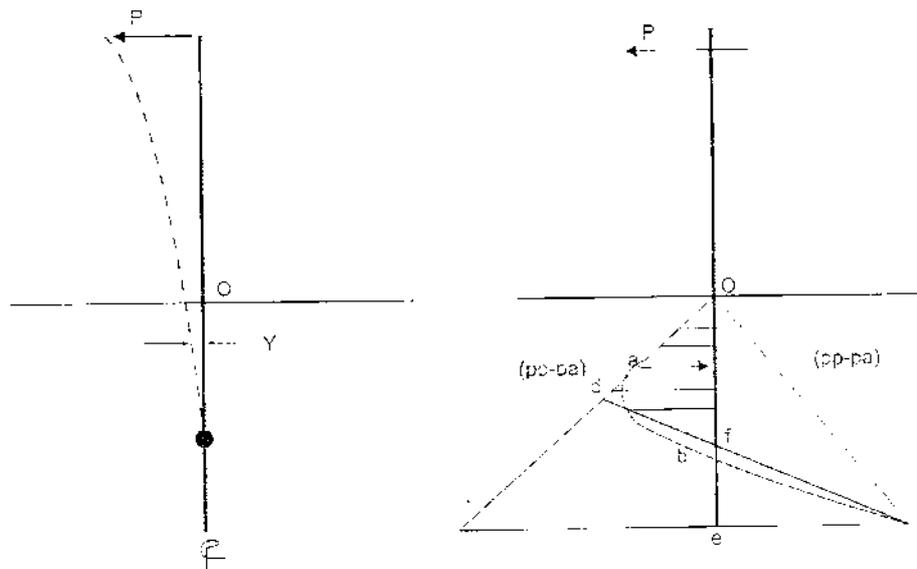


Figura. IV.1.- Presiones sobre la tablestaca en cantiliver.

Las presiones desarrolladas en una tablestaca en cantiliver dependen del tipo de suelo, así como del cambio de los parámetros de resistencia del suelo, por lo que el diseño de una tablestaca en suelo granular o suelo cohesivo se trata por separado.

Tablestacas en cantiliver en suelos granulares.- El diseño de una tablestaca en cantiliver en suelos granulares se basa en el procedimiento simplificado, donde para los suelos estratigráficos se deben considerar para cada estrato los valores apropiados del peso volumétrico, y de la capacidad relativa que depende del Angulo de fricción;

También se deberá tomar en cuenta para el cálculo de las presiones de suelos las condiciones geométricas del problema, como inclinación de la superficie, así como los efectos externos de las acciones que graviten sobre la estructura. El procedimiento de cálculo es el siguiente.

1).- Se estima la profundidad de empotramiento de la tablestaca, con base en la siguiente correlación:

Tabla IVa, Profundidad del empotramiento requerido

Numero de golpes en la prueba de penetración estandar N	Compacidad relativa Dr	Profundidad del empotramiento
0 – 4	Muy suelta	2.00 H
5 – 10	Suelta	1.50 H
11 – 30	Media	1.25 H
31 – 50	Densa	1.00 H
> 50	Muy densa	0.75 H

2).- El siguiente paso es calcular las presiones activas y pasivas, considerando la magnitud de las deformaciones requerida para cada uno de los estados y de las sobrecargas que actúan sobre la tablestaca; en el caso de presiones hidráulicas es razonable considerar el nivel de aguas al mismo nivel en ambos lados de la tablestaca.

3).- Se establece el equilibrio estático, la suma de fuerzas en la dirección horizontal es igual a cero, así como en la suma de momentos en cualquier punto es igual a cero.

El momento máximo se obtiene en el punto donde el cortante es cero.

Se incrementa la longitud del empotramiento de un 20 a un 40%, que resulta en un factor de seguridad de 1.5 a 2. Alternativamente se puede reducir el coeficiente de empujes pasivo entre un 30 a 50%.

El modulo de sección de la tablestaca requerida se determina con la siguiente expresión:

$$S = \frac{M_{\max}}{F}$$

Donde:

S = modulo de sección

F= resistencia estructural de la tablestaca

En las figuras. IV.2 a IV.3 se presentan graficas que permiten determinar rapidamente la profundidad de empotramiento y el momento máximo en función de los coeficientes de empujes y del peso volumétrico del suelo.

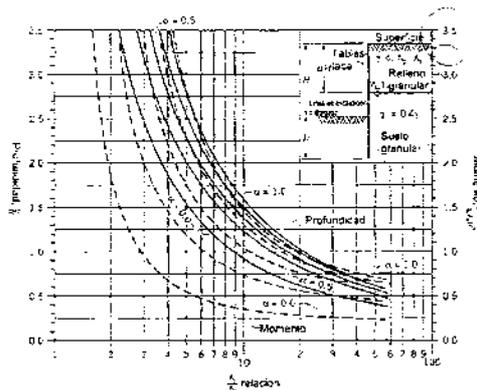


Figura. IV.2.- Tablestaca en cantiliver suelo granular y = 0.4

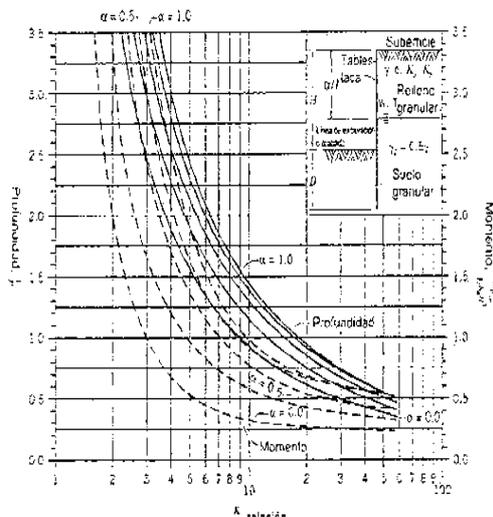


Figura. IV.3a.- Tablestaca en cantiliver suelo granular y = 0.5

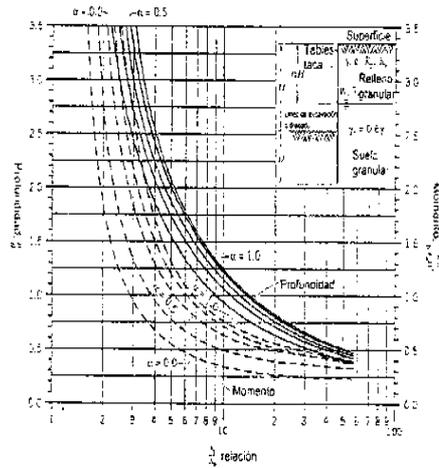


Figura.IV.3b.- Tablestaca en cantiliver suelo granular y = 0.6

Tablestacas en cantiliver en suelos cohesivos.- Las presiones de suelo que se desarrollan en una tablestaca empotrada en arcilla con relleno granular o cohesivo, se debe tener en cuenta para calculo de las presiones, que las arcillas puedan modificar su resistencia por: consolidación, contracción, secado, etc., efectos que modifican las presiones con el tiempo. Las presiones de tierra se calculan proponiendo que la arcilla deriva su resistencia del parámetro de cohesión del suelo.

El procedimiento de análisis es similar al descrito anteriormente, establecido el equilibrio de fuerzas y de momentos igual a cero. Se determina z a partir del equilibrio de fuerzas horizontales y del equilibrio de momentos se establece la profundidad de empotramiento.

El momento máximo se obtiene a la profundidad donde el cortante es cero

En las figuras.IV.4 a IV.6 se relaciona la profundidad de empotramiento D con el momento flexionante máximo M_{max} para $q_u = 2c$.

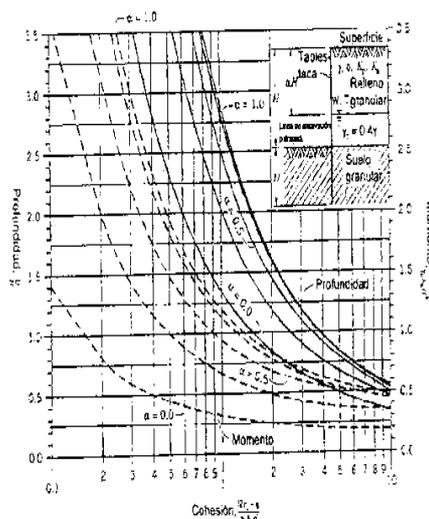


Figura IV.4.- Tablestaca en cantiliver suelo cohesivo y = 0.4

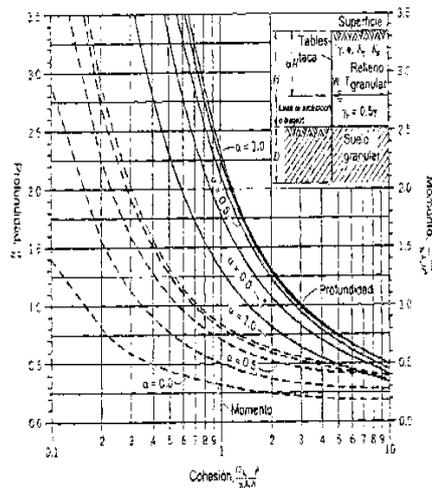


Figura IV.5.- Tablestaca en cantiliver suelo cohesivo $\alpha = 0.5$

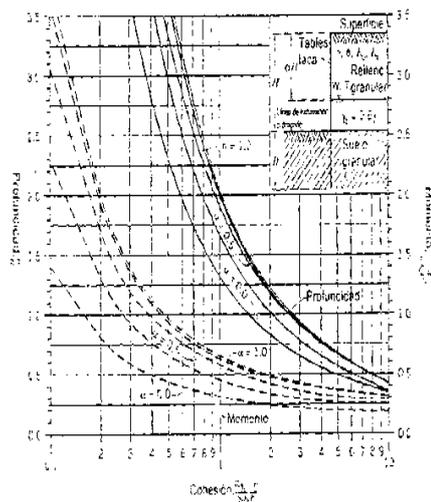


Figura IV.6.- Tablestaca en cantiliver suelo cohesivo $\alpha = 1.0$

Tablestacas Ancladas.

Las tablestacas ancladas derivan su resistencia del empuje pasivo desarrollado en la longitud empotrada y de la fuerza del tirante de anclaje, localizado en la parte superior de la tablestaca. Dependiendo de las condiciones de suelo, con este tipo de tablestaca se pueden alcanzar alturas de hasta 10 mts. La estabilidad general de una tablestaca anclada depende y los esfuerzos que ella se desarrollen, dependen de la interacción de varios factores, como:

- La rigidez relativa de la tablestaca.
- La profundidad de empotramiento.
- La compresibilidad.
- La resistencia del suelo, etc.

En general a mayor empotramiento de la tablestaca menores esfuerzos de flexión.

En la figura IV.7 se presenta la distribución de presiones laterales y las deformaciones de las tablestacas en función de la profundidad de empotramiento. El empuje activo que actúa sobre la pantalla no puede ser equilibrado por el anclaje solamente, es necesario que la tablestaca encuentre en el suelo de apoyo la resistencia faltante. En el caso,

- a).- Las presiones pasivas desarrolladas al frente de la tablestaca, son insuficientes para prevenir el desplazamiento y rotación del punto, c; los casos b, c y d).- Muestran el efecto de incrementar la longitud de empotramiento en la reducción de las deformaciones y giros.

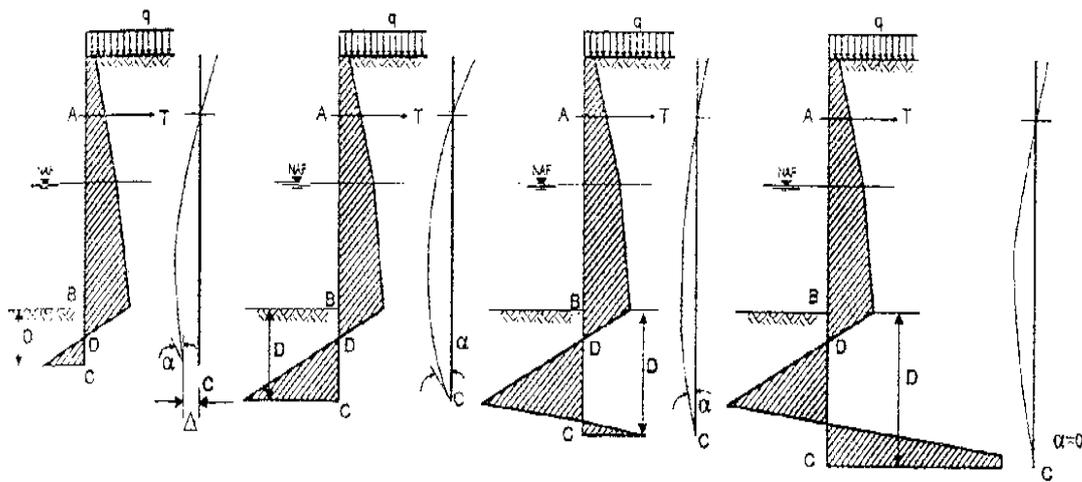


Figura IV.7.- Profundidad de empotramiento y distribución de presiones.

Cuatro métodos básicos se utilizan para el cálculo de tablestacas ancladas, los cuales se comentan en el siguiente orden.

- Método de apoyo libre
- Método de reducción de momentos de Rowe
- Método de apoyo fijo
- Métodos gráficos.

Método de apoyo libre.- Este método se basa en la suposición de que el suelo en el cual la tablestaca se hinca, es incapaz de producir una restricción efectiva de las presiones pasivas, al grado necesario de producir momentos flexionantes negativos. La tablestaca se hinca a la profundidad necesaria para asegurar su estabilidad, pretendiendo que se desarrolle el máximo empuje pasivo. Se considera que la tablestaca no se flexiona ante las presiones activas o pasivas, también se considera que no se desarrolla punto de giro debajo de la línea de excavación o dragado y en la parte interior de la tablestaca no se hay empujes pasivos, por lo tanto el problema se vuelve estáticamente determinado.

Método de reducción de momentos de Rowe.- A causa de su flexibilidad, las presiones de suelo que desarrollan contra las tablestacas difieren significativamente de las distribuciones hidrostáticas; el momento flexionante disminuye conforme se aumenta la flexibilidad de la

estructura, así que los momentos máximos obtenidos por el método de empotramiento libre resultan conservadores. Rowe propuso un método para reducir el valor del momento en función de la flexibilidad de la tablestaca; los factores que se deben considerar para la aplicación del método son:

- 1). El valor de la capacidad relativa del suelo
- 2). La flexibilidad de la tablestaca, expresada en términos del numero de flexibilidad

$$P = \frac{H^4}{EI}$$

Donde:

- P = numero de flexibilidad
 H = altura total de la tablestaca
 E = modulo de elasticidad
 I = momento de inercia.

- 3). Para suelos cohesivos el numero de estabilidad se define por:

$$S = \frac{1.25c}{\gamma_r H}$$

- 4). La altura relativa α de la tablestaca.

En la figura IV.8, se presentan varias graficas donde se relaciona el momento M referido a M_{max} determinado por el apoyo libre, con el número de estabilidad para arenas y arcillas.

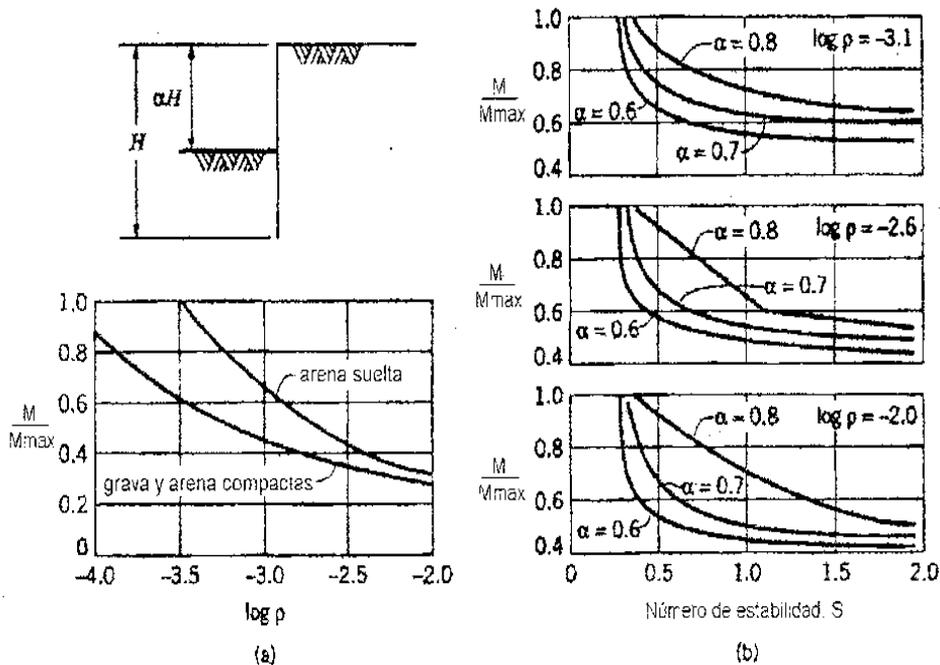


Figura IV.8.- Método de reducción de momentos de Rowe

Método de apoyo fijo.- El método se basa en la suposición que el desplazamiento en la punta de la tablestaca esta restringido por el desarrollo de empujes pasivos.

Métodos gráficos.- Los métodos gráficos son útiles a veces cuando las condiciones geométricas del problema lo vuelven muy complicado o cuando se requiere un valor exacto de los empujes resultantes. El procedimiento de cálculo se muestra en Pile Back (1987) y el ISPC (1992), donde se muestran detalladamente los procesos gráficos para el cálculo de tablestacas de apoyo libre o tablestacas ancladas.

Tablestacas doblemente ancladas:- Cuando la distancia entre la excavación o dragado, y el apoyo del ancla excede los 15 mts, puede resultar económica utilizar una línea intermedia de anclas. Con lo cual se logra reducir los momentos sobre la tablestaca y la profundidad de empotramiento. En la figura IV.9, se presentan los casos típicos de soporte con dos anclas. El procedimiento de calculo consiste en determinar la deflexión de la tablestaca a la profundidad donde se propone colocar la segunda ancla y estimar la reacción necesaria que contrarrestan la deflexión. Conocidas las fuerzas por equilibrio estático se determina la profundidad de empotramiento.

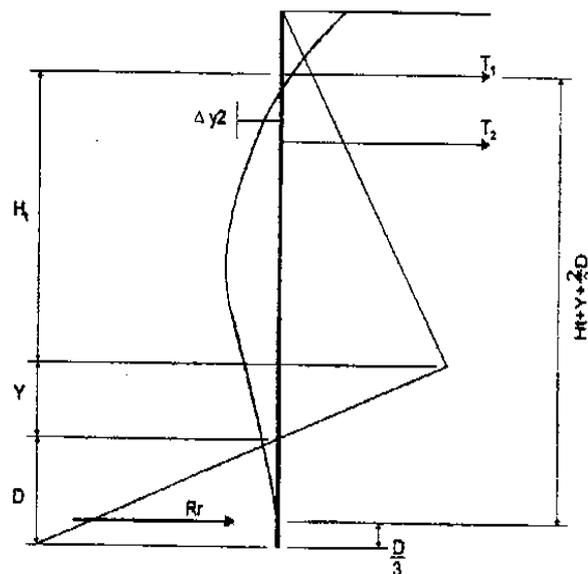


Figura IV.9.- Tablestaca doblemente anclada.

Estabilidad general:- La estabilidad general de una tablestaca puede revisarse con el Método Sueco de Estabilidad de Taludes, aplicando el concepto tradicional de factor de seguridad como momentos resistentes entre momentos motores. En la figura IV.10 se presentan las fuerzas resistentes y motoras.

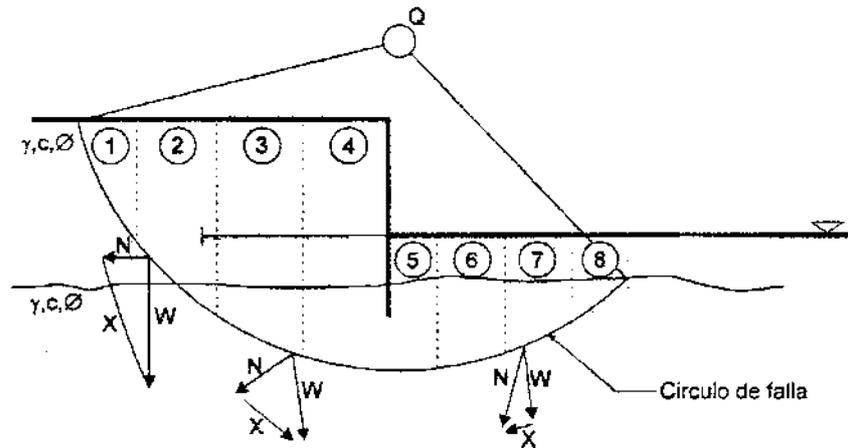


Figura IV.10.- Estabilidad general de la tablestaca.

CAPITULO V

CONTROL DE CALIDAD.

V.1. CONTROL DE CALIDAD DE TABLESTACAS.

El control de calidad en las obras es muy importante ya que por ello se puede considerar y estar seguros de los diferentes materiales a utilizar de los bancos de materiales asignados para la obra y su empleo en la construcción de las piezas a fabricar.

El control de calidad del concretó hidráulico y sus componentes, resulta fundamental si consideramos que, en nuestro país, este es uno de los materiales mas utilizados para la construcción.

El laboratorio tiene un papel importante en el control de calidad de los materiales por que en el es donde se realizaran las pruebas que nos indicaran si los materiales empleados en la obra cumplen con las especificaciones establecidas por las normas; así como con las especificaciones establecidas por el constructor.

Se realizaron pruebas de compresión simple en cilindros de concreto, se tomaron 4 muestras por cada muestra de un elemento, estos se tomaron en obra, todas las muestras fueron tomadas de camiones trompo.

Pruebas de control de calidad en el concreto.

A continuación se describen las pruebas que deben de llevarse acabo para un buen control de calidad en el concreto y para los resultados obtenidos en el laboratorio.

Muestreo del concreto fresco.

Siendo este el procedimiento más importante de todo el proceso de prueba del concreto, ya que si la muestra no es representativa y confiable todo los además pasos siguientes del procedimiento serán afectados, aunque al desarrollarlos cumpla con los requerimientos establecidos en la norma.

Equipo:

Antes de ser utilizado el equipo debe de estar en su totalidad limpio sin restos de concreto que puedan perjudicar a la muestra y con las superficies húmedas para el contacto con el concreto fresco.

- Carretilla o cubeta
- Charola
- Cucharón

Se debe de contar también con una libreta de reporte.

Muestreo de concreto procedente de camiones mezcladores o agitadores.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, la muestra debe tomarse de tres porciones diferentes de la carga, asegurándose de que la muestra de la carga sea tomada en el tercio medio de la misma, después de que se halla descargado por lo menos el 15% de la carga y antes de que se descargue el 85% de su totalidad de la mezcla.

El tiempo máximo que debe de emplearse para tomarse y completar la muestra es de 15 minutos.

Las porciones de la muestra deberán de depositarse en la charola y cuando se tenga la muestra completa se deberá de remezclar vigorosamente con el cucharón, hasta obtener una apariencia de la mezcla homogénea.

Se debe de evitar que la muestra quede al descubierto por más de 15 minutos, ya que en ese tiempo debe de haberse terminado de efectuar las determinaciones requeridas y elaborado los especímenes.

Reporte.

En la libreta de campo se anotaran con claridad de donde fueron tomadas las muestras especificando: donde, cuando, (fecha y hora), para que objeto fue empleado el concreto fresco.

REVENIMIENTO

Determinación del revenimiento del concreto fresco, el ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, esto es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, para una relación grava-arena determinada. La variación en el revenimiento es con frecuencia un medio para detectar variaciones en la relación agua-cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para la aceptación o rechazo del concreto fresco, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en los procesos de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

La norma oficial mexicana NOM-C-156-1980 da la definición de revenimiento como sigue:

Revenimiento es la medida de consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas las cuales se muestran en la figura. V.1.

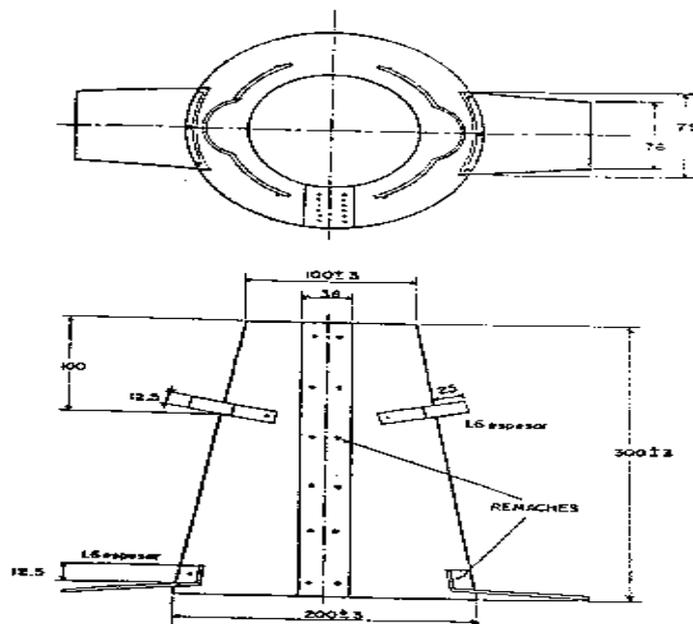


Figura. V.1.- Cono metálico para muestra de revenimiento de concreto fresco.

El equipo que se especifica para la prueba de revenimiento es:

- Molde metálico.
 - Varilla de acero de sección circular, lisa, recta de 16mm de diámetro, aproximadamente de 600mm de longitud con uno de los extremos redondeados hemisféricamente con un radio de 8mm.
 - Cinta métrica.
 - Herramienta manual como: palas, cucharas, llanas metálicas y guantes de hule.
- Ver Figura V.2, de equipo de revenimiento.



Figura V.2.- Equipo para prueba de revenimiento.

Llenado del cono y compactación.

Una vez homogeneizada la muestra, se selecciona una superficie plana, horizontal lisa, firme y no absorbente, como una placa metálica, se humedece la superficie y el interior del cono, a continuación se coloca el cono en la superficie plana colocando los pies en los estribos (colocándose en una posición que deberá de permanecerse durante todo el llenado y compactación del cono para la prueba) como se explica a continuación:

Se llena el cono en tres capas, cada capa debe ser de una tercera parte de la altura del cono y hacer la compactación siguiente.

La primera capa, debe de tener una altura aproximadamente de 7cms, para después compactar con 25 penetraciones con la varilla punta de bala, inclinándola para poder compactar las orillas en el cono y cerrar en forma de espiral hacia el centro.

Con la segunda capa, se debe de alcanzar una altura aproximada de 15 cms dentro del cono, se compacta con 25 golpes con la varilla punta de bala de la misma manera que en la primera capa, la varilla debe de penetrar por lo menos 2cms en la primera capa para obtener una compactación uniforme.

La tercera etapa, se llena el cono en toda su capacidad y rebasar ligeramente el borde para poder tener una muestra completa, compactándose también con 25 golpes de la varilla donde también deberá de penetrar por lo menos 2cms de la segunda capa, para poder obtener la muestra si hace falta mezcla para complementar el llenado total del cono se tendrá que agregar mas concreto antes de llevar la mitad de los golpes y proseguir con los golpes y terminar la muestra.

Después se enrasa y limpia el concreto sobrante con la varilla punta de bala, donde se enrasa el concreto apoyando la varilla en el bordo superior del cono. Una vez enrasado el cono se limpia el exceso de concreto alrededor del cono.

Después de enrasar y limpiar el concreto excedente, se prosigue a levantar el cono de manera suave, (para permitir que el concreto se libere del molde y se acomode de manera normal), para el levantamiento del cono se considera un tiempo de 5 ± 2 segundos de forma vertical y evitando giros ó inclinaciones del cono.

Se prosigue a la medida de revenimiento, después del levantamiento del cono se debe de colocar la cabeza del cono pegado a la muestra del concreto asentada, poniendo la varilla acostada y horizontal sobre el borde del cono y en dirección de la altura promedio de la base superior del concreto asentado. La medida es tomada vertical con la cinta entre la altura que se toma como lectura entre el nivel del cono y la parte central del concreto asentado, donde se tomara esta como medida del revenimiento del concreto suministrado para la estructura.

Si al tomar la medida del revenimiento en el concreto y no cumple con la especificada se tomara otra muestra de inmediato, tomando la muestra de la misma entrega y si esta tampoco cumple se considerara que la mezcla de esa entrega no cumple con el revenimiento ya que si esta no fuera de las tolerancias especificadas para el proyecto, simplemente se rechaza en el acto. Existen tolerancias aplicadas a concretos que no cumplen con el revenimiento de la mezcla y que pueden ser aplicadas en dichas pruebas según la norma oficial mexicana NOM-C-155, en la tabla V.1a.

Tabla V.1a .- Tolerancias de revenimientos especificados.

REVENIMIENTO ESPECIFICADO EN CMS	TOLERANCIA EN CMS
MENOS DE 5	± 1.5
DE 5 A 10	± 2.5
MAS DE 10	± 3.5

El valor del revenimiento deberá de tomarse en un tiempo no mayor de 15 minutos desde el inicio de la descarga.

En la libreta de reporte se deberá de anotar; la planta que lo suministra el concreto, la hora de salida de la olla, la hora de llegada a la obra, la hora de la muestra así como el resultado del revenimiento y el lugar donde se coloco el concreto.

Estos resultados y reportes son llevados acabo en campo con las ollas mandadas en los programas de colado donde se pide al laboratorio que se presente de acuerdo a los colados programados para llevar dicha pruebas, también para sacar y obtener los cilindros para las pruebas de compresión.

MUESTRA DE CILINDROS PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.

En las construcciones de concreto se da frecuentemente mucho énfasis a los resultados de las pruebas de cilindros individuales.

Aunque no concierne realmente a la evaluación estadística como tal, las pruebas de especímenes estándares de control de concreto durante la construcción, proporcionan buena base para la evolución de la resistencia potencial del concreto entregado en el sitio del colado. Las técnicas de colocación, consolidación y curado afectaran la calidad del concreto endurecido en la estructura.

Se deben ensayar a compresión en cilindros de 15cms de diámetro por 30cms de altura, para que se pueda juzgar de manera precisa la calidad del concreto, se deben de realizar en los especímenes mencionados para que desarrollen correctamente el llenado de los moldes, compactación, enrasado e identificación.

Para llevar acabo el molde de los cilindros se requiere el siguiente equipo:

- Moldes (los adecuados para las muestras, deben de ser aceitados por al parte interior para tener un mejor manejo y un buen sellado para no tener ninguna fuga).
- Cucharón
- Carretilla
- Varilla punta de bala ó vibrador (dependiendo del revenimiento del concreto).

Se debe contar también con el equipo adecuado para la protección de los cilindros después de moldearlos, ver Figura V.3.



Figura V.3.- Equipo de fabricación de cilindros para prueba.

Procedimiento:

Se debe de revisar que los moldes estén bien sellados para que no se tenga perdida de agua en la mezcla. Una vez sellados, se aceita la parte superior del molde, para después proseguir de la siguiente manera:

La parte donde se dejaran y llevaran acabo el llenado de los moldes deberá ser una zona donde no sean movidos para no alterar las muestras estando en una superficie plana y lisa, libre de vibraciones.

La temperatura ambiente que se desea en el lugar debe ser entre los 15 y 27 grados centígrados.

Se colocan los cilindros en la superficie para ser almacenados, etiquetados y llenados con la muestra homogeneizada debidamente remezclada y elaborar cada cilindro de la siguiente manera:

Llenado del molde y compactado.

Se deberá de llenar el cilindro en tres capas, cada capa deberá de ser una tercia parte del volumen del cilindro.

Al vaciar cada capa, con porciones tomadas con el cucharón se deberá de ir girando sobre el borde del cilindro para el acomodo adecuado en la descarga del concreto y reducir al máximo la segregación del agregado grueso del molde.

La primera capa deberá de tener una altura aproximada de 10cms para ser compactada con 25 penetraciones, realizándola en forma de espiral de la orilla hacia al centro. Después de que se haya compactado la primera capa, si quedan oquedades superficiales se golpea superficialmente por la parte exterior del molde ligeramente de arriba hacia abajo par que se cierren los vacíos que hayan quedado al compactar.

La segunda capa deberá alcanzar una altura aproximadamente de 20cms en el molde, se compactara con 25 penetraciones de la misma manera que la primera etapa, pero procurando que la varilla penetra mínimo 2cms en la primera capa.

Después de la compactación de la segunda etapa, si hay oquedades se repite el golpeteo por la parte exterior del molde así como se aplico en la primera etapa, para la tercera etapa se deberá de llenar el molde totalmente agregando un poco mas de material, para después de hacer la compactación con 25 golpes con la varilla que deberá de penetrar 2cms de la segunda capa, el molde deberá quedar totalmente lleno y agregar un excedente de concreto para el enrazado y quede la muestra perfectamente.

En el enrasado se elimina el excedente de concreto, pasando la regla con un movimiento de vaivén sobre el borde superior del molde para obtener una superficie uniforme y plana, es importante no hacer demasiadas pasadas que hacen que sangre el concreto.

Se etiquetan los cilindros para identificarlos, ya sea que se marcar sobre la parte superior del cilindro con una marca muy fina o colocándole etiquetas con sus respectivas claves de identificación que se tengas asignadas.

En la protección de los cilindros para evitar la evaporación del agua de los cilindros recién elaborados y etiquetados se deben de cubrir con una tapa no absorbente ni reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable sujeta.

Para el curado del concreto de los especímenes de prueba elaborados para comprobar las proporciones de la mezcla para el propósito de la resistencia, o como base para la aceptación, deben de retirarse por lo menos a las 24 horas. Después del molde permitiéndose un margen de 20 a 48 horas, y almacenarse en una condición húmeda a la temperatura de 23 ± 2 °C , hasta el momento de la prueba.

Curado inicial: Durante las primeras 24 horas después del moldeado, todos los especímenes deben de ser almacenados bajo condiciones que mantengan la temperatura adyacente a los especímenes en el intervalo de 16° a 27°C y prevenir perdidas de humedad de los especímenes. A toda hora la temperatura dentro y entre los especímenes deberá ser

controlada protegiéndolos de los rayos del sol y de cualquier mecanismo irradiador de calor. Los especímenes que serán transportados al laboratorio para el curado estándar antes de 48 horas, deberán permanecer en los moldes en un ambiente húmedo hasta ser recibidos en el laboratorio, desmoldados y colocarlos en curado estándar. Si los especímenes no son transportados en 48 horas, los moldes deben de ser removidos en 24 horas y usar curado estándar hasta ser transportados.

Curado estándar: Una vez terminado el curado inicial y dentro de los 30 minutos de remover los moldes, se almacenarán los especímenes en una condición húmeda con agua libre en sus superficies a toda hora a una temperatura de 23 ± 1.3 °C. Temperaturas entre 20 y 30 °C son permitidas por periodos que no excedan de 3 horas antes de la prueba. Los especímenes no deberán ser expuestos a goteos o corrientes de aguas.

El cabeceo de cilindros es la preparación de los cilindros de concreto para las pruebas, para lograr una superficie plana y las cargas sean aplicadas uniformemente.

Equipo:

- Placas cabeceadoras
- Dispositivo de alineamiento
- Recipientes para fundir azufre.

Procedimiento:

Si la parte de la cabeza que va a recibir el material de cabeceo esta contaminado de aceite o cera que evite la adherencia del cabeceo, esta tendrá que ser limpiado. Si se desea que las placas para el cabeceo puedan ser cubiertas con una capa fina de aceite o grasa para evitar la adherencia del material del cabeceo.

Se prepara la cera para el cabeceo, a una temperatura de 140 ± 10 °C. Se recarga el recipiente con material fresco y el suficiente numero de intervalos para asegurara que el “material mas viejo”, no haya sido empleado mas de 5 veces y evitar que el material no pueda disminuir la resistencia y fluidez ocasionada por la contaminación del mortero, el aceite o desperdicios de distintas clases, y perdida del azufre a través de la volatilización.

La placa para el cabeceo o dispositivo para el cabeceo deberá ser calentado ligeramente para evitar el enfriamiento del material y permitir la producción de capas delgada. Lubríquese ligeramente la placa y agítase el mortero de azufre inmediatamente antes de colocar cada capa.

Las cabezas de los cilindros deberán de estar totalmente secas para la aplicación del cabeceo con azufre para evitar la formación de burbujas de vapor o bolsas espumas de mas de 6mm de diámetro en cada capa. En caso de emplear dispositivo vertical, coloque el azufre dentro de la placa de cabeceo, levantando el cilindro arriba de la placa y haciendo contacto con lateral con las guías, deslizando el cilindro hacia abajo hasta que haga contacto con la placa de acero mientras se mantiene un contacto constante con las guías de alineamiento. El cilindro deberá de permanecer en contacto con las guías mientras descansa y se endurece el mortero de azufre depositado sobre la tapa de acero, coloque suficiente azufre para cubrir la cabeza del cilindro mientras el mortero de azufre se solidifica.

Resistencia a la compresión.

Este método consiste en aplicar una carga axial a los cilindros moldeados, y calcular la resistencia a la compresión mediante la división de la carga máxima obtenida entre el área real de la sección transversal del cilindro.

Los resultados de este método de prueba pueden ser utilizados como base del control de calidad del concreto, determinación de variaciones con especificaciones, control de evaluación de la efectividad de las mezclas y usos similares.

Equipo:

- Metro para medir el diámetro del cilindro
- Maquina universal forney.

Procedimiento:

Una vez obtenido el diámetro del cilindro se coloca en la maquina universal centrando el eje vertical del espécimen en el centro de la placa de apoyo, se ajusta la platina superior a la cara del espécimen de manera que no aplique carga de impacto. Se nivela y se pone en ceros la maquina para poder aplicar la carga constante, se continua la carga del espécimen hasta la falla del mismo registrándola en la bitácora del laboratorio.

$$\text{Resistencia (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Carga (Kg)}}{\text{Área de contacto(cm)}}$$

Conociendo y registrando su edad se determina su porcentaje de resistencia respecto a la resistencia de proyecto de la forma siguiente:

$$\% \text{ de resistencia} = \frac{\text{Resistencia real a cierta edad}}{\text{Resistencia de proyecto}}$$

Todos los informes deben incluir los siguientes conceptos:

1. Numero de identificaron del cilindro.
2. Diámetro del cilindro
3. Área de la sección transversal
4. Carga máxima
5. Resistencia a la compresión
6. Edad en días
7. Tipo de mezclado
8. Tipo de cemento
9. Ubicación del elemento
10. Revenimiento

Las pruebas de revenimiento y las muestras para compresión de los cilindros fueron llevadas acabo por el laboratorio de control de calidad certificado dando resultados al contratista para sus reportes informados de acuerdo a las condiciones de las especificaciones dadas para el proyecto siendo estas llevado acabo y cumpliendo con dichas normas en el empleo de los materiales y aplicaciones de la pruebas, ya que si se detectaba alguna anomalía se tendría que sancionar a la contratista de acuerdo en el contrato por cada inconformidad por parte de esta.

A continuación se presentan el informe de pruebas a compresión axial en cilindros de concreto hidráulico:

Estadística del concreto a los 3 días:

Resistencia del concreto: 250 kg/cm²

Tipo de cemento: CPC- R30

REFERENCIA NORMA: NMX-C-083-1997-ONNCCE

No	No. ensaye	Revenim.	Fecha colado	Fecha ruptura	Carga w(Kg)	Area (cm ²)	F'c (kg/cm)	Resist. %	Edad dias	Resisten. Teorica%
1	128	8.0	24/01/06	27/01/06	30400	177	177	69	3	acceptable
2	132	8.0	24/01/06	27/01/06	30900	177	175	70	3	acceptable
3	163	9.0	25/01/06	28/01/06	31800	177	180	72	3	acceptable
4	174	8.0	26/01/06	29/01/06	31500	177	181	72	3	acceptable
5	198	9.0	27/01/06	30/01/06	32600	177	184	74	3	acceptable
6	217	11.0	30/01/06	02/02/06	30000	177	169	68	3	acceptable
7	221	11.0	31/01/06	02/02/06	28800	177	166	66	3	acceptable
8	255	8.0	01/02/06	04/02/06	29000	177	164	66	3	acceptable
9	265	11.0	02/02/06	05/02/06	29600	177	167	67	3	acceptable
10	289	12.00	03/02/06	06/02/06	30000	177	169	68	3	acceptable
11	311	7.0	04/02/06	07/02/06	30200	177	171	68	3	acceptable
12	329	8.0	08/02/06	11/02/06	30200	177	171	68	3	acceptable
13	351	7.0	13/02/06	16/02/06	29000	177	164	66	3	acceptable
14	380	10.0	15/02/06	18/02/06	28000	177	161	64	3	acceptable
15	390	6.0	16/02/06	19/02/06	38400	177	217	87	3	acceptable
16	429	9.0	21/02/06	24/02/06	36000	177	201	80	3	acceptable
17	433	9.0	22/02/06	25/02/06	34800	177	194	78	3	acceptable
18	460	8.0	24/02/06	27/02/06	35000	177	196	78	3	acceptable
19	464	7.0	28/02/06	03/03/06	33600	177	190	76	3	acceptable
20	497	10.0	11/03/06	14/03/06	34200	177	193	77	3	acceptable
21	500	12.00	13/03/06	16/03/06	34400	177	194	78	3	acceptable
22	521	6.0	15/03/06	18/03/06	40400	177	226	90	3	acceptable
23	529	7.0	17/03/06	20/03/06	46000	177	260	104	3	acceptable

Estadística del concreto a los 7 días:

Resistencia del concreto: 250 kg/cm²

Tipo de cemento: CPC- R30

No	No. ensaye	Revenim.	Fecha colado	Fecha ruptura	Carga w(Kg)	Area (cm ²)	F'c (kg/cm)	Resist. %	Edad dias	Resisten. Teorica%
1	085	7.0	20/01/06	27/01/06	43600	177	244	97	7	acceptable
2	089	9.0	20/01/06	27/01/06	51200	177	286	114	7	acceptable
3	092	8.0	20/01/06	27/01/06	31800	177	180	72	7	acceptable
4	099	7.0	21/01/06	28/01/06	56400	177	319	127	7	acceptable
5	120	10.0	23/01/06	30/01/06	37800	177	214	85	7	acceptable
6	124	12.0	23/01/06	30/01/06	33200	177	188	75	7	acceptable
7	129	8.0	24/01/06	31/01/06	34400	177	192	77	7	acceptable
8	133	8.0	24/01/06	31/01/06	35000	177	196	78	7	acceptable

9	164	9.0	25/01/06	01/02/06	36800	177	208	83	7	acceptable
10	175	8.0	26/01/06	02/02/06	36800	177	208	83	7	acceptable
11	199	9.0	27/01/06	03/02/06	40800	177	231	92	7	acceptable
12	218	11.0	30/01/06	06/02/06	36400	177	206	82	7	acceptable
13	222	11.0	31/02/06	06/02/06	35800	177	200	81	7	acceptable
14	256	8.0	01/02/06	08/02/06	33000	177	237	95	7	acceptable
15	266	11.0	02/02/06	09/02/06	34400	177	194	78	7	acceptable
16	290	12.0	03/02/06	10/02/06	37800	177	214	98	7	acceptable
17	312	7.0	04/02/06	11/02/06	34600	177	195	78	7	acceptable
18	330	8.0	08/02/06	15/02/06	34800	177	197	79	7	acceptable
19	352	7.0	13/02/06	20/02/06	36200	177	205	82	7	acceptable
20	381	10.0	15/02/06	22/02/06	35600	177	201	80	7	acceptable
21	391	6.0	16/02/06	22/02/06	39600	177	228	91	7	acceptable
22	430	9.0	21/02/06	28/02/06	42400	177	237	95	7	acceptable
23	434	9.0	22/02/06	29/02/06	40600	177	229	92	7	acceptable
24	461	8.0	24/02/06	03/03/06	43200	177	244	98	7	acceptable
25	465	7.0	28/02/06	07/03/06	40200	177	227	91	7	acceptable
26	498	10.0	11/03/06	18/03/06	42400	177	237	95	7	acceptable
27	501	12.0	13/03/06	20/03/06	40600	177	226	92	7	acceptable
28	522	6.0	15/03/06	22/03/06	43600	177	246	99	7	acceptable
29	530	7.0	17/03/06	24/03/06	51800	177	293	177	7	acceptable

Estadística del concreto a los 14 días:

Resistencia del concreto: 250 kg/cm²

Tipo de cemento: CPC- R30

No	No. ensaye	Revenim.	Fecha colado	Fecha ruptura	Carga w(Kg)	Area (cm ²)	F'c (kg/cm ²)	Resist. %	Edad dias	Resisten. Teorica%
1	086	7.0	20/01/06	03/02/06	51400	177	287	115	14	acceptable
2	090	9.0	20/01/06	03/02/06	58600	177	337	135	14	acceptable
3	093	8.0	20/01/06	03/02/06	36000	177	203	81	14	acceptable
4	100	9.0	21/01/06	04/02/06	62000	177	350	140	14	acceptable
5	121	10.0	23/01/06	06/02/06	41600	177	232	93	14	acceptable
6	125	12.0	23/01/06	06/02/06	36600	177	207	83	14	acceptable
7	130	8.0	24/01/06	07/02/06	42800	177	242	97	14	acceptable
8	134	8.0	24/01/06	07/02/06	43200	177	244	98	14	acceptable
9	165	9.0	25/01/06	08/02/06	46000	177	260	104	14	acceptable
10	176	8.0	26/01/06	09/02/06	43200	177	244	98	14	acceptable
11	200	9.0	27/01/06	10/02/06	44000	177	246	98	14	acceptable
12	219	11.0	30/01/06	13/02/06	43200	177	244	98	14	acceptable
13	223	11.0	31/02/06	14/02/06	42600	177	238	95	14	acceptable
14	257	8.0	01/02/06	15/02/06	42000	177	237	95	14	acceptable
15	267	11.0	02/02/06	16/02/06	40800	177	231	92	14	acceptable
16	291	12.0	03/02/06	17/02/06	42600	177	245	98	14	acceptable
17	313	7.0	04/02/06	18/02/06	43200	177	244	98	14	acceptable
18	331	8.0	08/02/06	22/02/06	43000	177	243	97	14	acceptable
19	353	7.0	13/02/06	27/02/06	44400	177	251	100	14	acceptable
20	382	10.0	15/02/06	01/03/06	42000	177	237	95	14	acceptable
21	392	6.0	16/02/06	02/03/06	49200	177	278	111	14	acceptable
22	431	9.0	21/02/06	07/03/06	48800	177	273	109	14	acceptable
23	435	9.0	22/02/06	08/03/06	46400	177	259	104	14	acceptable

24	462	8.0	24/02/06	10/03/06	48800	177	276	110	14	acceptable
25	466	7.0	28/02/06	14/03/06	48800	177	273	109	14	acceptable
26	499	10.0	11/03/06	25/03/06	48000	177	268	107	14	acceptable
27	502	12.0	13/03/06	27/03/06	49000	177	277	110	14	acceptable
28	523	6.0	15/03/06	29/03/06	65000	177	363	145	14	acceptable
29	531	7.0	17/03/06	31/03/06	59000	177	339	136	14	acceptable

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

5.1.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE TABLESTACADO

Previo a las actividades para la construcción de la tablestaca, debe de realizarse trabajos de demolición y limpieza necesarios para despejar el área donde se ubicara la cimentación. Es necesario liberar la totalidad del área, ya que la construcción requerirá de una secuencia de avance que implica el no contar con obstáculos que detengan o suspendan las actividades.

Se excava una zanja de 1.20 m de ancho y 1.4 m de profundidad, para alojar la estructura de los brocales de concreto, que servirán como guía en el hincado de los primeros metros, ayudando a lograr una mejor verticalidad y posicionamiento de las tablestacas, como también nos ayudara a delimitar el área del terreno donde se llevara acabo la excavación del cajón para estacionamiento.

Se coloca la primera pieza en una esquina, con geometría casi cuadrada, como se muestra en la Figura VI.1, y sin bisel en la punta; se sugiere que se hincue a través de una perforación previa, con extracción parcial del material.

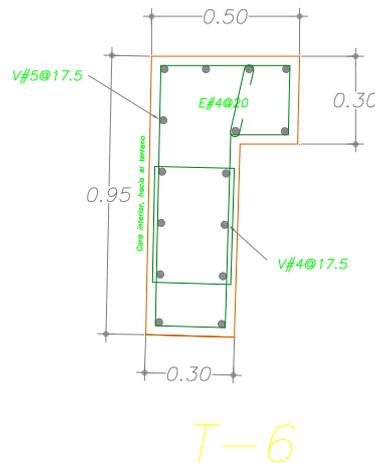


Figura VI.1.- Tablestaca de esquina

Se hincan las piezas subsecuentes, siguiendo la secuencia indicada en la Figura VI.2, procurando que el “macho” de la pieza por hincar remueva el suelo que permanece en la “hembra” de la pieza ya hincada.

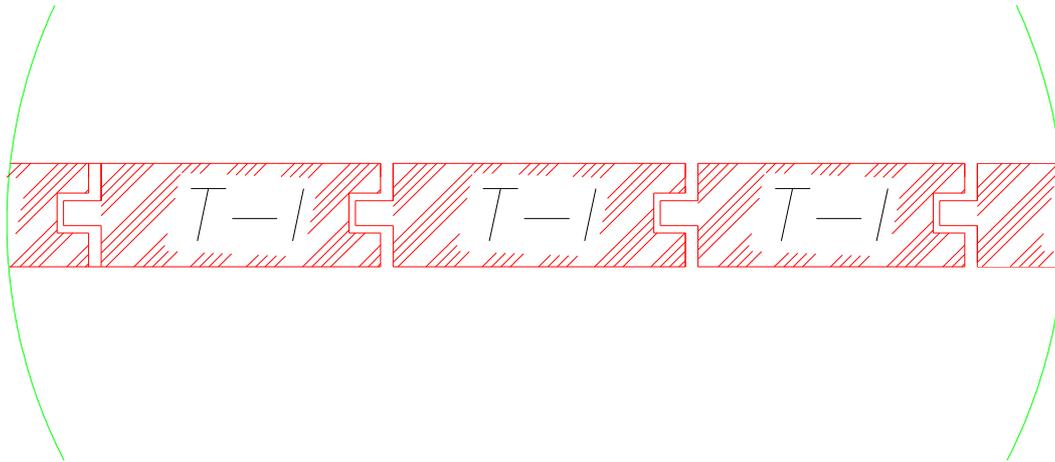


Figura VI.2 .- Secuencia de hincado de tablestacas.

El hincado de las piezas puede lograrse con martillos de caída libre, diesel de acción sencilla u otros y debe cuidarse la protección en la cabeza de la tablestaca, utilizando los casquetes adecuados, Figura VI.3.

Es conveniente utilizar vigas fijas para el hincado de tablestacas, para lograr una mayor calidad en el posicionamiento de la pieza o utilizando un cable de acero que abrace la tablestaca para lograr un mejor machimbre; dado que el ancho típico de las tablestacas es de 70cm, generalmente se utilizan guías en las cuales el martillo de hincado se coloca al frente, para que no existan obstrucciones entre la guía y la tablestaca como se muestra en la Figura VI.a.

Es importante conservar la verticalidad y alineamiento de cada pieza; si es necesario, posible acercar la tablestaca a una de las anteriores utilizando un cable de acero a tensión. Para lograr el apoyo del cable, se sugiere que sobresalga una pieza 10 o 15cm, a cada 6 o 7mts.



Figura VI.3.- Martillo para hincado de tablestaca de acción sencilla.

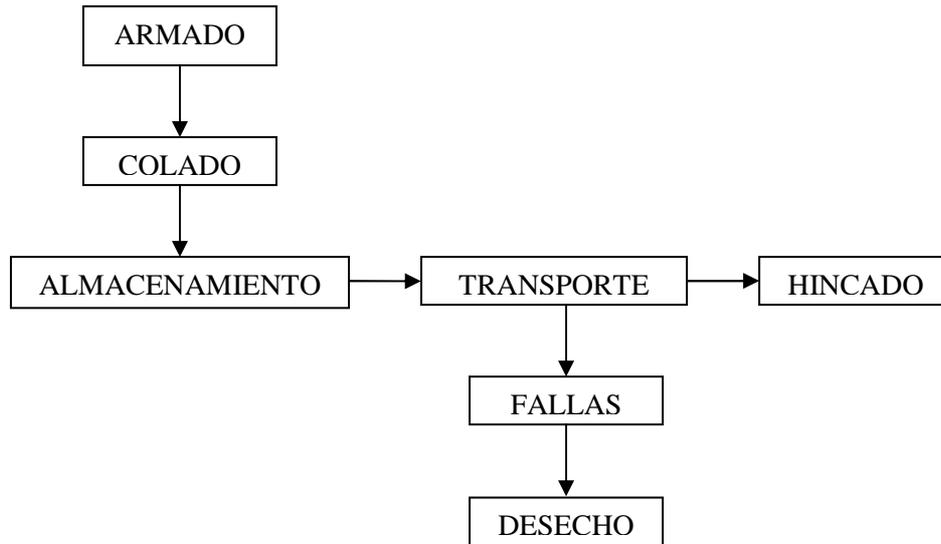


Figura VI.1a .- Diagrama de construcción de tablestacas:

La construcción se lleva a cabo de manera elocuente a lo anterior, Figura VI.1a, mostrándose cada uno de los pasos de manera consecutiva a continuación.

- Se habilita el acero de la pieza de tablestaca colocándola en la cimbra para después vaciar el concreto de resistencia $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ especificada y esperar que el fraguado del concreto se efectúe en las camas de colado, Figuras VI.4a y VI.4b.



Figura VI.4a.- Armado del tablestacado.



Figura VI.4b.- Cimbrado para colado del tablestacado

- Se almacenan las piezas coladas en los bancos para que el concreto alcance su máxima resistencia y poder hincar la tablestaca y no sufra alguna falla (cortante) al momento del hincado, Figura VI.5.



Figura VI.5.- Banco de almacenamiento de tablestacas.

- Antes de hincar la tablestaca se construye un brocal de concreto reforzado con acero de: 1.20 de ancho, 1.40 de altura y 0.10cms de espesor que servirá como guía en el hincado de los primeros metros ayudando a lograr una mejor verticalidad y posicionamiento de las tablestacas, Figura VI.6.



Figura VI.6.- Construcción de brocal para guía de tablestacas

- Posteriormente se hace una perforación previa del terreno para disminuir la capacidad del mismo que sirve como guía en la tablestaca y el hincado sea más rápido y llegue a su profundidad de proyecto, Figura VI.7.



Figura VI.7 .- Perforación guía para hincado de tablestacas.

- El hincado de las piezas se llevan acabo con martillo de caída libre (DELMAC-3600), diesel de acción sencilla montado en grúa (LINK-BELT,LS-108) donde debe cuidarse la protección en la cabeza de la tablestaca utilizando casquetes adecuados, Figura VI.8.



Figura VI.8.- Equipo de hincado de tablestaca.

- El hincado de las piezas son subsecuentes siguiendo la secuencia del indicado, procurando que el “Macho” de la pieza por hincar remueva el suelo que permanece en la “Hembra” de la pieza ya hincada para tener una mejor verticalidad y un buen alineamiento, Figura VI.9.



Figura VI.9.- Tablestacas hincadas.

Dado que pueden surgir dificultades durante la instalación de las tablestacas, frecuentemente se utilizan piezas para el ajuste de las longitudes del proyecto, al final de un tramo para hacer los cierres de ese frente.

Durante el hincado de tablestacas de concreto (aunque también se aplica a las de madera) surgen problemas especiales. La porción superior del tablestacado puede mostrar un alineamiento correcto; sin embargo, al encontrarse obstáculos, las tablestacas tienden a desviarse de la vertical durante el hincado.

Al realizar la excavación, es frecuente que la posición inferior de un tablestacado siga una línea ondulada, como se indica en la línea D-D' de la Figura VI.10. Dado que una línea recta entre los puntos A'-B es mas corta que la D-D', la posición inferior D de una tablestaca no mantiene una línea vertical hasta la posición superior B, y al hincar un mayor numero de piezas, las tablestacas se inclinan mas, como se muestra en A-B-C-D de la Figura VI.10.

Por este motivo, es necesario fabricar piezas especiales, para ajustar el tablestacado, especialmente si se esta formando un circuito cerrado en el perímetro de la obra. Estas piezas pueden ser fabricadas con cualquier combinación de machihembrado: doble hembra, doble macho o hembra y macho.

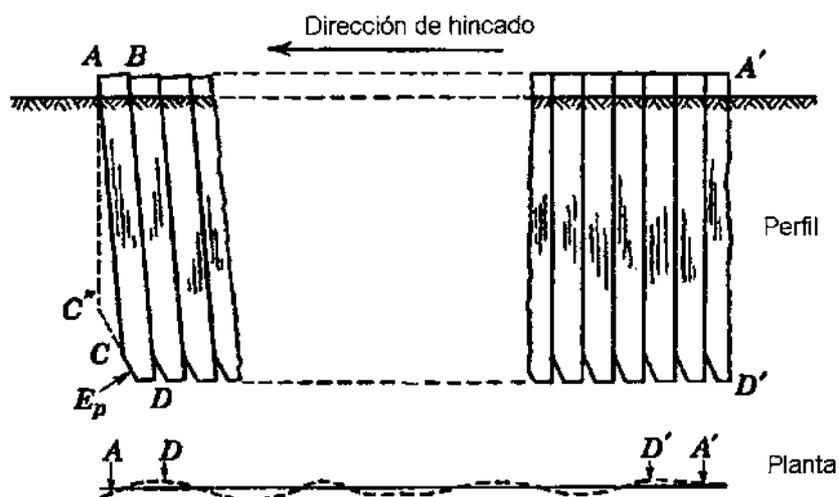


Figura VI.10.- Dificultades durante el hincado de tablestacas, Tschebotarioff (1962).

La tablestaca es un elemento estructural que nos sirve para detener los empujes de las tierras trabajando como cantiliberes empotrados en el terreno inferior, por lo cual se logra que las presiones se transmitan a capas inferiores mas resistentes o mas profundas y deben de estar calculadas de tal manera que soporten la flexión producida por el empuje laterales de las tierras contenidas y que no se desalojen horizontalmente.

Para el hincado de tablestaca en el cajón de estacionamiento en la ampliación de la “plaza comercial las Américas” se fabricaron tablestacas con longitudes de: 10.20, 9.20 y 7.50mts, ya que en el proyecto se tenia considerado tablestacas de 10.50mts en todo el perímetro por ser estos dos niveles para cajón de estacionamiento y de ahí que nada mas era conveniente tener un solo nivel y se considero un empotramiento de 2.00mts para que trabajara la tablestaca, las modificaciones fueron diseñadas de acuerdo al perfil del estudio de mecánica de suelos lo cual en la parte nor-oriente y oriente, tanto la capa de boleos, así como la capa dura emerjan, dado la topografía del embalse antiguo. Por ello al detectarse estos materiales resistentes a una elevación superior se

hincaron tablestacas mas cortas de 9.20 y 7.50mts, ya que no era necesario hincar tablestacas de 10.20mts de longitud por haber encontrado el estrato resistente mas arriba y quedaban excedidas lo cual se tendrían que demoler las piezas hincadas lo que podría ocasionar una falla en la tablestaca.

En el hincado de la tablestaca como se especifica anteriormente se ayuda por medio de una perforación previa, donde aquí se tuvieron que hacer dos perforaciones para el hincado de la tablestaca por el tipo de arcilla de consistencia natural muy firme, esta no permitía que la tablestaca llegara a su hincado de proyecto lo cual se recurrió de dos perforaciones en el hincado. En ciertas piezas no llegaron a su hincado de proyecto por la fricción del material dejando afuera entre 1mtr, y 50cms la pieza , para el hincado de la tablestaca se llevaron reportes por pieza donde se consideraba que si en 80 golpes del martillo DELMAG-3600 montado en la grúa LINK-BELT LS-108, no bajaba un metro se dejaba la tablestaca hasta esa profundidad para que no fuera a fallar por cortante y no trabajara de la misma manera y se fracturara la pieza, en la siguiente Tabla VI.a se muestra el reporte de una tablestaca hincada.

Tabla VI.b.- Registro de hincado de tablestaca.

OBRA: TABLESTACAS DEMORELIA MICHOCAN	FECHA: 09/03/06	HOJA: 155
LOC.S/PLANO:	No TABLA: 155	MOD. MARTILLO: DELMAG
TIPO DE TABLESTACA: RECTANGULAR	LONG. DE PILOTE: 10.20 MTS.	
HORA INICIAL: 08:10	HORA FINAL: 08:35	
N.T.N:	N.SUP.TABLA:	N. INF. TABLA:

PROFUNDIDAD EN METROS	NUMERO DE GOLPES	NUMERO DE GOLPES					OBSERVACIONES
		10	20	40	60	80	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7	3	+					
8	12	+					
9	22		+				
10	38			+			
10.20	12	+					
P.P PESO DE TABLESTACA: 5292 KGS.		P.M.PESO DE MARTILLO: 3600 KGS.					
OBSERVACIONES:							
EL HINCADO DE LA TABLESTACA LLEGO A SU NIVEL TOPE.							
ELABORO:				Vo.Bo.			

A continuación se muestran, en la siguiente Figura VI.11 y VI.12, los planos estructurales para la fabricación de la tablestaca así mismo el plano del terreno junto con las piezas especiales de esquina que se tuvieron que fabricar para los quiebres del terreno especificando el tipo de acero y las dimensiones de las piezas a fabricar, anteriormente se comento que en algunas partes de los frentes se hicieron piezas especiales de dimensiones mas pequeñas o mas grandes y podrían ser doble hembra y doble macho para cerrar los tramos ajustando.

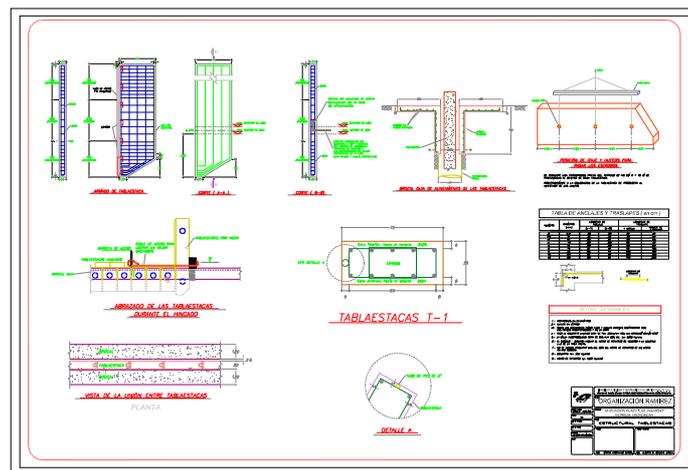


Figura VI.11.- Plano estructural de armado de la tablestaca.

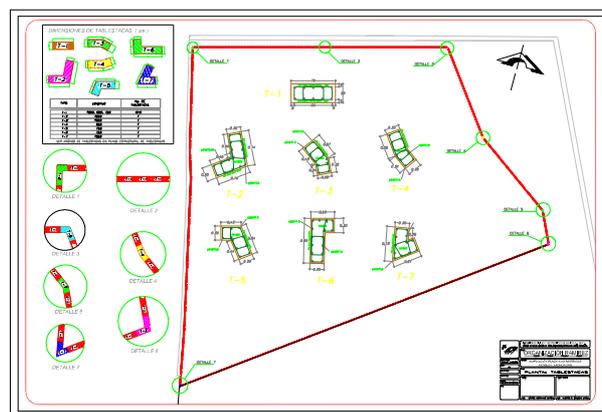


Figura VI.12.- Plano de la planta de la colocación de las tablestacas y piezas de esquinas

CAPITULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.1.- Del presente trabajo de tesis, se concluye que en la actualidad la tablestaca ah sido empleada en obras civiles mas modernas por su practica aplicación, avances mucho mas rápido, su menor costo y disponibilidad para cimentaciones, es un elemento estructural que soporta los empujes laterales de las tierras contenidas que pueden hacerse trabajar con la estructura del edificio.

VII.2.- También se concluye que las tablestacas son diseñadas de acuerdo a las solicitaciones estructurales y a las propiedades estratigráficas del terreno, son de sección rectangular y pueden ser solapadas o machihembradas y biseladas en la punta, en la obra “ Ampliación plaza comercial las Americas” se tuvieron que implementar dos perforaciones previas para el hincado de la pieza, ya que el terreno debido a que en el estudio se encontraran arcillas de consistencia natural firme que no permitían que la tablestaca bajara a la profundidad de proyecto.

Generalmente, en suelos de consistencia natural de media a blanda se realiza el hincado, guiándola con una sola perforación previa, lo cual no se pudo realizar en este caso, implicando un cambio importante en el procedimiento constructiva y consecuente mayor costo, así como en el proyecto cambiándose, por la problemática mencionada, de dos niveles de sótano a un solo nivel de sótano para estacionamiento.

VII.3.- Para poder llevar acabo un buen desempeño en la obra se requiere y recomienda de un laboratorio de control de calidad, donde este desempeña una gran responsabilidad al verificar la calidad en la elaboración de los elementos a construir y obtener un buen funcionamiento de la estructura, de acuerdo a las consideraciones de proyecto.

VII.4.- Como conclusión y recomendación final, se tiene la importancia de realizar los estudios previos en forma adecuada, de tal manera que nos proporcionen la información lo más cercana a la realidad, para lograr de esa manera cada vez mejores proyectos y consecuentemente obras seguras y económicas.

BIBLIOGRAFIA

- **LIBRO:** Manual de Construcción Geotecnia
Tomo I
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.
México 2002.

- **LIBRO:** Manual de Calculo de Tablestacas
1ª Edición en la Lengua Española
Ministerio de Obras Públicas y Transporte
Madrid Julio de 1990.

- **LIBRO:** Topografía
AUTOR: Miguel montes de oca
EDITORIA: Alfa Omega
4^{ta} Edición.

- **LIBRO:** Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado
AUTOR: Oscar M. González, Francisco Robles F.V, Juan Casillas de G.de L. Roger Díaz de C.
EDITORIA: Limusa 1974

- **LIBRO:** Control de Calidad del concreto
AUTOR: Ing. Alvaro Ortiz Fernandez
EDITORIA: Fundec A.C.

Sitios Web Consultados:

www.ischebeckiberia.s.l