

2876
16



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA
Y GEODESICA

EXCAVACIONES PROFUNDAS Y APUNTALADAS EN LA ARCILLA DE LA CIUDAD DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

PIERO ARIENZO VOGEL

MEXICO, D. F.

JUNIO DE 1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

- TEMA 1 INTRODUCCION.
- 1.1 Introducción.
- TEMA 2 ESTABILIDAD DE UNA EXCAVACION
 PROFUNDA.
- 2.1 Empuje sobre ataguas.
- 2.2 Carga sobre troqueles.
- 2.3 Estabilidad del fondo de la excavación
 por resistencia al corte.
- 2.4 Expansiones del fondo de excavación.
- 2.5 Desplazamientos de la superficie
 adyacente a la excavación.
- 2.6 Bombeo.
- TEMA 3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.
- 3.1 Procedimiento constructivo de un edificio
 alto en la zona del Lago del Valle de -
 México.
- 3.2 Aspectos constructivos.
- 3.3 Conclusiones de los aspectos constructivos.
- 3.4 Recomendaciones y especificaciones de pro-
 yecto y de construcción.
- 3.5 Experiencia de campo.
- 3.6 Reporte fotográfico.
- TEMA 4 CONCLUSIONES.
- 4.1 Conclusiones.

TEMA 1

INTRODUCCION.

1.1

Introducción.

1.1. INTRODUCCION

La Ciudad de México se ha caracterizado por tener uno de los suelos más difíciles para la construcción de obras civiles. Este calificativo obedece a que el agua del nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie y que el material que constituye una amplia zona (Zona de Lago), es generalmente una formación arcillosa, (Figura 1.1).

Estas características hacen muy difícil la construcción de cimentaciones u otro tipo similar de construcciones, ya que se debe elaborar un sistema constructivo minucioso y de acuerdo a las exigencias de la obra a ejecutarse.

El tema a tratarse en este trabajo, es una parte de uno de esos procedimientos, ya que se refiere a las excavaciones profundas en esta zona y específicamente a los elementos que deben usarse en las mismas para garantizar su estabilidad.

El autor ha escogido este tema, ya que ha tenido oportunidad de vivir y trabajar en este tipo de excavaciones y porque piensa que es una área de la ingeniería que no se conoce profundamente y en donde todos tenemos mucho que aprender y desarrollar.

Basicamente para entender los temas que se tratarán definiremos tres elementos brevemente:

- a).- **TABLAESTACAS:** Son estructuras provisionales que se unen entre sí, formando una pared de contención, así como formar una membrana impermeable que evite el flujo de agua subterránea hacia la excavación; de la misma forma permite abatir el nivel freático del área donde se desarrollará ésta. Estos elementos pueden ser de madera, acero o concreto reforzado y deberán ser hincados.
- b).- **PUNTALES O TROQUELES:** Son elementos en forma de largueros que pueden ser de madera o acero y evitan que los esfuerzos provocados por la excavación en la tablaestaca se traduzca en un corrimiento o cerramiento de las mismas.

c).- **BOMBEO:** Es una actividad necesaria en este tipo de zona, ya que procura tener seco el material por excavar abatiendo el nivel freático, así como la excavación ya realizada, para que la estructura por construirse en el lugar esté exenta de contaminación por el lodo. Se necesitan bombas y tubería para efectuar este trabajo.

Esta exposición se divide en dos partes; la primera se refiere a la teoría de lo que este tema envuelve y la segunda se refiere a experiencias de campo en una cimentación, en donde se ve el comportamiento de los elementos anteriormente mencionados en una excavación profunda y los problemas que se presentaron, así como sus soluciones.

En la parte teórica (Capítulo II), se tratan temas como "El empuje sobre ataguías", y "Carga sobre troqueles", que se refieren a como actúan y de que magnitud son las cargas en los diferentes materiales. Otros temas como "Estabilidad del fondo de la excavación por resistencia al corte", "Expansiones del fondo de la excavación", y "Desplazamientos de la superficie adyacente a la excavación", exponen el comportamiento del suelo y su influencia sobre los elementos constructivos antes mencionados.

El tema de "Bombeo", da una vista general de los diferentes métodos que se pueden utilizar para el abatimiento del nivel freático, principalmente en la arcilla.

En la parte práctica (Capítulo III), simplemente se expondrá el procedimiento constructivo de una cimentación en el área metropolitana, correspondiente a la zona del Lago, en la cual se puede apreciar una excavación profunda y apuntalada en sus diferentes etapas. En esta parte, también se tratarán recomendaciones y especificaciones, para la ejecución de la misma.

Por último se exponen una serie de problemas, causados a las tablaestacas y las soluciones tomadas, así como un reporte fotográfico.

El autor pretende presentar un trabajo objetivo en base a las experiencias de campo respaldado en conocimientos teóricos, para que el lector entienda en forma sencilla los temas a tratar.

Esta discusión se restringe a excavaciones profundas con cortes verticales en los lados perimetrales, requiriendo soporte vertical. Trata con los movimientos de la masa del suelo circundante y su significado para reducir la magnitud de éstos con sistemas de troquelamiento o apuntalamiento, que al mismo tiempo restringen los movimientos o previenen el colapso del tablaestacado.

Al final se tratarán las conclusiones derivadas de este trabajo, en el último capítulo.

TEMA 2	ESTABILIDAD DE UNA EXCAVACION PROFUNDA.
2.1	Empuje sobre ataguías.
2.2	Carga sobre troqueles.
2.3	Estabilidad del fondo de la excavación- por resistencia al corte.
2.4	Expansiones del fondo de excavación.
2.5	Desplazamientos de la superficie adyacen- te a la excavación.
2.6	Bombeo.

2.1. EMPUJE SOBRE ATAGUIAS.

Se llama atagüfa a una estructura provisional empleada para proteger una excavación contra la presión lateral del terreno e impedir que el nivel freático del terreno fluya hacia la excavación, permitiendo que este mismo pueda ser abatido; manteniendo libre el espacio excavado para efectuar una construcción, generalmente de cimentación. La atagüfa se monta o hinca antes de realizar la excavación.

La atagüfa es un muro formado por varias piezas prefabricadas, ya sean de madera, acero o concreto reforzado, que rodean una superficie por excavarse y que quedan entrelazadas por medio de un machimbrado, o sea que un extremo de estas piezas - embona con el otro. El hincado de la tablaestaca es más profundo que el fondo - de la excavación. Esto hace que la tablaestaca, con los esfuerzos provocados por el terreno, actúe como una viga en voladizo, esto sólo si lo consideramos antes - de reforzar la misma con algún tipo de puntal. El suelo que soporta estas pre - siones no es rígido, de tal manera que las reacciones están por debajo del fondo - de la excavación; este es el punto más dudoso de tales atagüfas, debido a la resis - tencia del suelo situado debajo del fondo de la excavación.

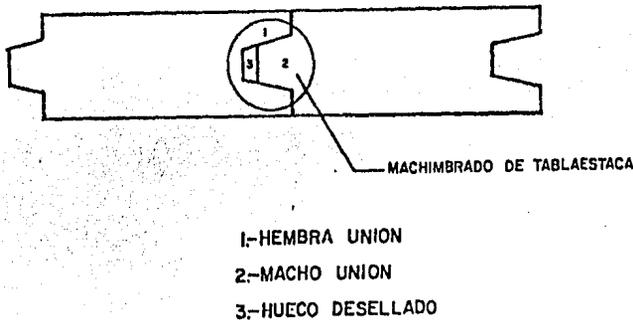


FIGURA 1.1- Machimbrado o unión de las piezas prefabricadas que forman la tabla - estaca.

El tipo de atagüfa que tratare es la apuntalada o troquelada. En este caso - como se menciona anteriormente, primeramente se hincan las tablaestacas, hasta una profundidad suficiente para que su punta quede por debajo del nivel del fondo de excavación. Si la excavación que se realizara dentro del tablaestacado es muy grande se completará la excavación de la parte central y se hormigonará la parte de cimentación correspondiente; esto es con el fin de que después de excavar la parte lateral se coloquen los largueros y piezas de apuntalamiento (troqueles) que irán apoyados contra la parte de cimentación ya colada. A veces es necesario colocar pies derechos o tirantes para sujetar los troqueles o puntales.

Las atagüfas profundas requieren que los largueros sean vigas metálicas o de madera.

La presión del terreno se toma de carácter hidrostático, según la siguiente tabla:

Valores aproximados de las presiones activas horizontales que actúan sobre las atagüfas, coronación a nivel. (Kilos por metro cuadrado por metro de profundidad.)

MATERIAL	EN ESTADO HUMEDO	EN ESTADO DE SATURACION *
Agua dulce		1,000
Agua salada		1,025
Lodo o fango parcialmente fluido		1,200
Limo corriente	560	1,360
Arena fina uniforme	480	1,360
Arena de buena granulometría	560	1,360
Grava de buena granulometría	480	1,360
Arcilla blanda	400	1,280
Arcilla densa	0- 400	1,040

* Van incluidas las presiones del agua y de las tierras. Para el cálculo aproximado de la presión de las tierras sólo se resta 960.

Valores aproximados de las resistencias pasivas horizontales de las masas de tierras, coronación a nivel. (Kilos por metro cuadrado por metro de profundidad.)

MATERIAL	EN ESTADO HUMEDO	EN ESTADO DE SATURACION *
Limo corriente	4,000	3,360
Arena fina uniforme	4,800	4,000
Arena de buena granulometría	6,000	4,480
Grava de buena granulometría	6,800	5,200
Arcilla blanda	4,000	2,720
Arcilla densa	5,200	4,000

* No va incluida la presión del agua. Para el cálculo aproximado de la presión combinada de agua y tierras se añade 960.

Como antes mencionamos una de las funciones más importantes de la tablaestaca es formar una pantalla impermeable que sea capaz de interceptar las filtraciones hacia el interior de la excavación. Existe también otro tipo de procedimientos con la misma finalidad como: Tableros de concreto, pilotes secantes de concreto trincheras flexibles, pantallas de inyección.

Por ejemplo, los tableros de concreto también son muy socorridos en materiales producto de depósitos fluviales con alto contenido de cantos rodados. En estos materiales resulta ventajoso usar este tipo de tableros de planta rectangular de 3 a 6 metros de longitud, y de 50 a 80 cms. de ancho como se muestra en la figura 1.2 y que se construyen con el mismo procedimiento del muro milán.

En la construcción de cimentaciones, estos muros de concreto se construyen frecuentemente con refuerzos de acero de tal manera que, además de funcionar como pantallas impermeables, sirven como estructuras de contención durante la excavación, y se integran después a la propia estructura de la cimentación.

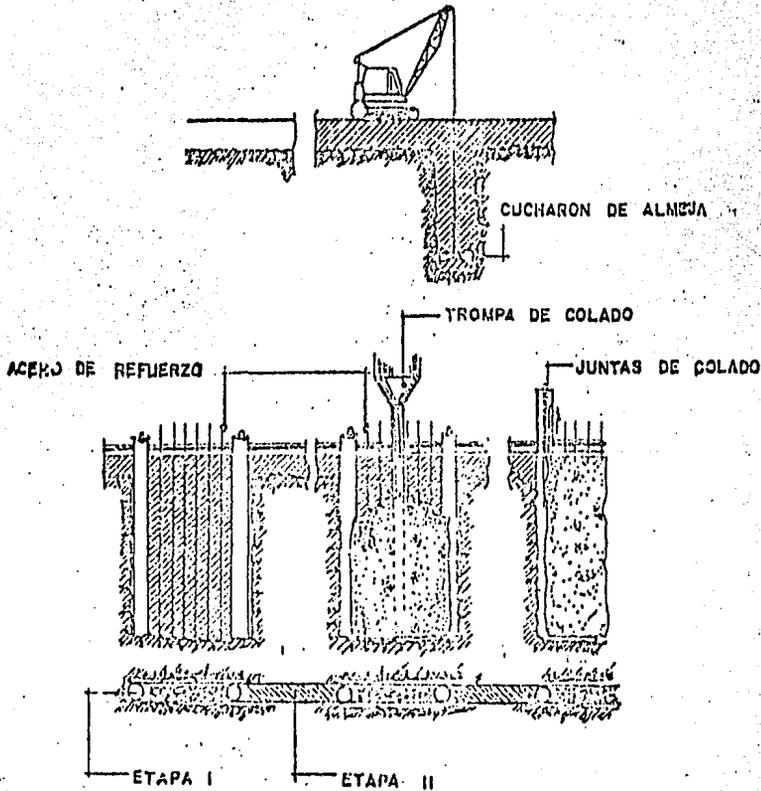
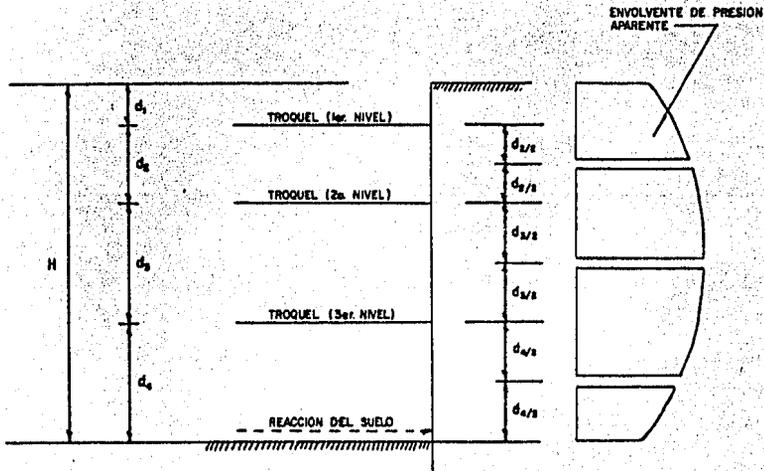


FIGURA 1.2. Tableros de concreto colados IN SITU.

2.2. CARGA SOBRE TROQUELES

Siendo adecuada la estabilidad de la base de un corte abierto en arcilla para - todas las profundidades de la excavación, las cargas de los puntales o troqueles pueden determinarse con las envolventes de presión aparente de la figura siguiente:



La estabilidad de la base de la excavación está dada por el valor $\gamma H/C_b$ menor que 6; donde:

γ - Peso volumétrico del material.

H - Profundidad de la excavación.

C_b - Resistencia al esfuerzo cortante en condición no drenada que está bajo el fondo de la excavación.

La envolvente de presión aparente que debe usarse está en función del valor de $\gamma H/C$, y en donde se representa el promedio de la resistencia no drenada de la arcilla a lo largo del corte.

Si esta relación ($\gamma H/C$) es igual o menor que 4, el comportamiento de la arcilla es elástico y la carga en los troqueles depende principalmente de la flecha permitida en la atagüfa durante la excavación y troquelamiento. La envolvente de la presión aparente correspondiente, es la mostrada en la figura I:

$$\gamma H/C \leq 4$$



En la mayoría de los casos, la envolvente de la presión aparente se toma como $0.3 \gamma H$.

La carga en los troqueles más bajos es relativamente pequeña, es por ésto que el diagrama muestra una disminución en el ancho como se aprecia en la figura anterior.

Si la relación $\gamma H/C$ excede de 4, la envolvente de la presión aparente puede tomarse como en la figura II que se muestra a continuación:

$$\gamma H/C > 4$$



La condición es que el ancho $\gamma H - 4c$ sea siempre mayor que el valor $0.2 \gamma H$ a $0.4 \gamma H$; si no fuera así, el diagrama 2 de la envolvente de la presión aparente es el que regirá, no importando el valor de $\gamma H/C$.

Se asocia el aumento del valor de $\gamma H/C$ con el comportamiento inelástico de la arcilla cerca del fondo del corte de la excavación; en consecuencia, la envolvente de la presión aparente no es truncada como aparece en el diagrama de la figura I.

Puede usarse el diagrama de la figura II para valores de $\gamma H/C$ tan grandes como 10 ó 12. Por otra parte, si $\gamma H/C_p$ excede de 7 y la falla de fondo es inminente, las cargas en los troqueles o puntales pueden ser mucho mayores que las indicadas por el diagrama. Por tanto, la estabilidad del fondo debe siempre investigarse antes de hacer una estimación de las cargas en los troqueles o puntales.

2.3 ESTABILIDAD DEL FONDO DE LA EXCAVACION POR RESISTENCIA AL CORTE.

La velocidad de las excavaciones dentro de los cortes troquelados en arcilla es mayor con respecto a la velocidad con la que la humedad de la arcilla toma nuevas condiciones de esfuerzo, prevaleciendo las condiciones de resistencia no drenada, en que $\phi = 0$. Al aumentar la profundidad de la excavación, el suelo que está fuera de los muros, rodeando la excavación, actúa como sobrecarga y provoca que la arcilla del fondo de la excavación se levante como si los niveles exterior e interior de la excavación tratarán de equilibrarse como sucede en el fenómeno físico de los vasos comunicantes-. Este movimiento ocurre aunque el ademe sea relativamente rígido y se extiende a una distancia considerable por debajo del fondo del corte, a menos que exista una formación ó estrato firme a poca profundidad bajo el nivel de la excavación.

Si la excavación es muy profunda en relación a la resistencia de la arcilla, el hundimiento del fondo puede ser incontrolable, los asentamientos de los terrenos circunvecinos excesivo, y el sistema de apuntalamiento puede surgir un colapso.

En las arcillas, las fallas por flexión de los largueros ó de las tablaestacas ó de los pilotes verticales son raras.

Si no existe la posibilidad de que el fondo se hunda, la falla que debe cuidarse es la flexión transversal de los troqueles por pandeo o que los largueros cedan, ya que es en ellos donde ocurren las reacciones de los troqueles.

2.3.A. FALLA DE FONDO DE CORTES EN ARCILLA.

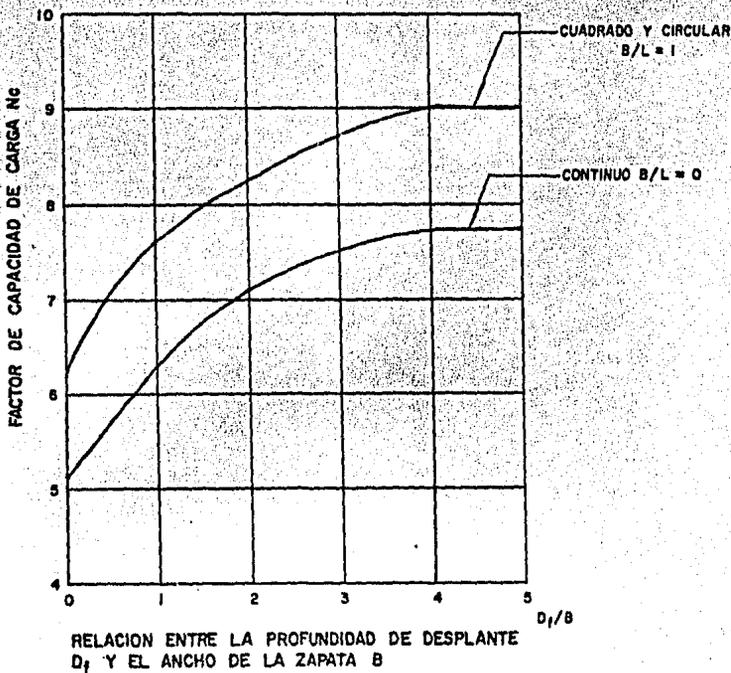
La resistencia de la arcilla bajo el fondo del corte, no importando el nivel a que se encuentre la excavación, tiene una influencia decisiva en el comportamiento del sistema de apuntalamiento y del suelo circunvecino.

Se indicará a la resistencia al esfuerzo cortante en condición no drenada del suelo bajo el fondo con las letras C_b .

A la facultad del suelo para soportar la sobrecarga γH de la arcilla fuera de la excavación será dada aproximadamente por la ecuación de la capacidad de carga:

$$q_d = C_b \cdot N_c$$

N_c varía de 5 a 6, según las dimensiones en planta del corte, como se muestra en la siguiente gráfica:



La figura anterior nos da los factores de capacidad de carga para cimentaciones en arcilla bajo condiciones $\phi = 0$ (Según Skempton, 1951).

Si la profundidad de la excavación es lo suficientemente grande para inducir una falla por falta de capacidad de carga entonces $q_d = \gamma H$ y $N_c = \gamma H/C_b$.

De la experiencia obtenida se ha visto que si la relación $\gamma H/C_b$ es menor que 6, los movimientos del sistema de apuntalamiento y el bufamiento de la arcilla por debajo del nivel del fondo de la excavación son pequeños.

No así si obtuviéramos con la misma relación de $\gamma H/C_b$ un valor de 8, porque hasta el sistema de apuntalamiento mejor diseñado no controlaría los movimientos que se provocarían.

Si se llegará a tener un valor mayor de 8, se sufriría un colapso, ya que habría grandes movimientos hacia adentro de la arcilla fuera de la porción embebida de las tablaestacas o muro milán y también debido al bufamiento incontrolable de la arcilla bajo el nivel de la excavación. Bajo estas condiciones no se deberá tratar de hacer excavaciones abiertas.

2.4. EXPANSIONES DEL FONDO DE EXCAVACION

El suelo que rodea una excavación tiende a actuar como una sobrecarga sobre el nivel del fondo (suelo) de la excavación.

Si la sobrecarga es suficientemente grande, una falla por capacidad de resistencia podría ocurrir. El peligro de una falla de este tipo se presenta sólo cuando el suelo que se encuentra debajo del nivel de la excavación, se comportara esencialmente como un material no friccionante bajo condiciones no drenadas.

2.4.A FALLA DEL FONDO DE LA EXCAVACION POR ALZAMIENTO.

El valor aproximado de un estado de falla por debajo del fondo del corte se puede juzgar por valores del número adimensional $N_b = \gamma H/S_{UV}$, donde S_{UV} es la resistencia al esfuerzo cortante sin drenar (Prueba rápida debajo del nivel del fondo). La demostración del número adimensional es la siguiente:

$$\frac{(g/cm^3) \quad C_n}{g/cm^3} = 1$$

Si la fuerza del suelo bajo el nivel del fondo que constituye la sobrecarga es ignorada, y si el corte es considerado infinitamente largo, los estudios teóricos indican que una zona plástica debería de empezar a formarse en las esquinas más bajas del corte de la excavación cuando el N_b alcanza el valor de 3.14. La zona debería de expandirse con incrementos en los valores de N_b hasta que la falla en la base suceda.

En esta etapa, $N_b = a$ los valores críticos $N_{cb} = a$ 5.14.

En efecto, esto podría ser anticipado para valores de N_b menores a 3.14 desplazamientos en dirección hacia arriba del fondo de la excavación serían de comportamiento largamente elástico y de magnitud relativamente pequeña. Para valores de N_b mayores de 3.14, el ascenso para un incremento dado en la profundidad de una excavación podrá tender a incrementarse significativamente hasta que el valor de $N_b = a$ $N_{cb} = a$ 5.14, esto ocurriría continuamente y la falla en el fondo o falla por alzamiento se presentaría.

una serie interesante de pruebas a pequeña escala en el laboratorio han sido hechas para investigar los movimientos del suelo tras la tablaestaca. Estas pruebas fueron hechas por Whitney en 1967. El modelo de la atagüfa era rígido.

En el experimento Whitney se extendió varias distancias por debajo del fondo del corte la cual fue excavada en una arcilla extremadamente suave. El patrón mostrado por los desplazamientos era indicado por burbujas de aire atrapadas en la misma arcilla. Este movimiento es ligeramente distorsionado en las paredes o tablaestacas, ya que en el modelo experimental se usaron hojas de vidrio como tales; este fenómeno se observó debido al bordo que forma éste mismo en el canal del modelo como se muestra en la figura:

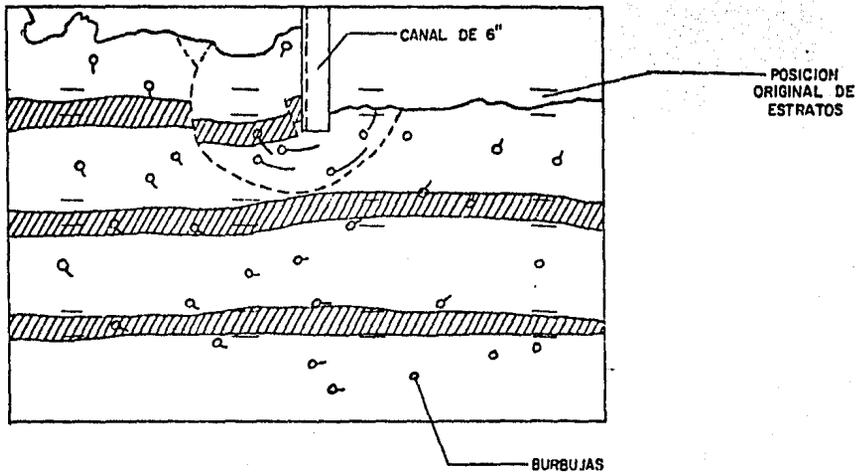


FIGURA 4.1 Desplazamiento de arcilla adyacente a un modelo de pared rígida. - Las franjas mostradas con guiones indican la posición original de los estratos. Los símbolos indican la magnitud y dirección de los movimientos de las burbujas en la masa de arcilla.

Los resultados indicaron un efecto positivo de empotramiento de las tablaestacas en el experimento; pero tomando en cuenta la inflexibilidad del modelo de atagüfa tomado, los resultados no pueden ser directamente aplicables, ya que las paredes usadas actualmente en la práctica son de tipo flexible.

En realidad, los cortes no son de extensión infinita y la fuerza del material - actuando como sobrecarga no se puede descuidar existen simples procedimientos - para estimar el factor de seguridad contra alzamientos de fondo de excavaciones de varias formas rectangulares así mismo como de distintas profundidades, tales como los propuestos por Bjerrum y Eide en 1956, que toman estos factores en cuenta aproximadamente.

Los valores de N_{cb} para cortes de figura común están usualmente en el rango de 6.5 a 7.5, en vez de 5.14. El valor de N_b al cual las zonas plásticas empiezan primero a transformarse, sería similarmente propuesto con un valor poco mayor de 3.14.

La discusión en el párrafo anterior ha indicado la interdependencia de los asentamientos, movimientos laterales de las paredes y el movimiento del suelo que se encuentra por debajo del nivel del fondo de la excavación en dirección ascendente.

Como hasta ahora, ninguna teoría consistente o bien fundamentada ha sido desarrollada para describir la transición de material homogéneo, que se extiende desde la superficie del terreno hasta profundidades por debajo de la zona de influencia del corte, del rango elástico al rango plástico. Mas aún, la influencia de los soportes laterales y particularmente de las porciones de la tablaestaca u otro tipo de paredes de retención incrustadas en el terreno no han sido tomadas propiamente en cuenta.

El progreso que se pueda obtener en el entendimiento de este problema, requiere evoluciones teóricas; mismas que han comenzado promisoriamente con la ayuda de análisis de elementos finitos.

En particular, es necesario una base teórica para permitir juzgar la influencia de la dureza y de la profundidad del hincado de la tablaestaca por debajo del nivel de excavación, y si la atagüa ha o no alcanzado un estrato firme. Generalmente los resultados de dicha atagüa son sobreestimados.

2.5. DESPLAZAMIENTOS DE LA SUPERFICIE ADYACENTE A LA EXCAVACION.

Las características esfuerzo-de formación de un suelo o de una roca, determinan el asentamiento que una estructura dada puede experimentar. En algunos casos, también puede servir como una indicación de las dificultades de construcción que pueden surgir durante la excavación dentro de las masas de suelo.

Se ha visto que arcillas plásticas experimentan un patrón consistente de deformación cuando el material es removido del espacio entre el tablaestacado. La excavación reduce la carga sobre el suelo que se encuentra debajo del corte de fondo, por lo que después el suelo que yace debajo tiende a moverse en sentido ascendente. El suelo a lo largo de la tablaestaca tiende a moverse hacia adentro, hasta en niveles inferiores a los que haya progresado la excavación, antes que se hayan colocado puntales, troqueles o sistemas similares de apuntalamiento. A cuenta del alzamiento o bufamiento del fondo de la excavación y el movimiento hacia adentro de la misma, la superficie del suelo que rodea el corte tiende a sufrir asentamientos.

El resultado obtenido en un corte de excavación se muestra en las figuras 5.1 y - 5.2. En la figura 5.1 se muestra la manera como los asentamientos de la superficie del suelo y los movimientos en dirección hacia adentro de la tablaestaca se desenvuelven en relación con la colocación de un sistema de apuntalamiento conforme la excavación se profundiza.

En la figura 5.2, la línea continua representa el área de las deformaciones sucesivas de asentamiento en la figura 5.1, o el volumen de asentamientos por unidad de longitud de corte, como una función del tiempo. La profundidad de la excavación con respecto al tiempo se muestra con la línea punteada. Los puntos separados en el diagrama representan las áreas debajo de las varias curvas de desplazamientos laterales del tablaestacado.

La proximidad de los puntos hacia la curva de asentamientos -área, demuestran que el volumen de asentamientos que rodean la estructura es aproximadamente igual a - la pérdida de volumen del suelo asociado con el movimiento hacia adentro de las - paredes en la excavación. El volumen correspondiente más reciente de la excavación es relacionado con el volumen de alzamiento o bufamiento del fondo de la excavación entre los límites de las paredes de contención.

Esta observación nos guía hacia la conclusión de que los asentamientos cerca de un corte abierto sólo pueden ser reducidos si los movimientos en sentido hacia adentro de tablaestacado y el bufamiento del fondo de la excavación pueden ser sustancialmente reducidos.

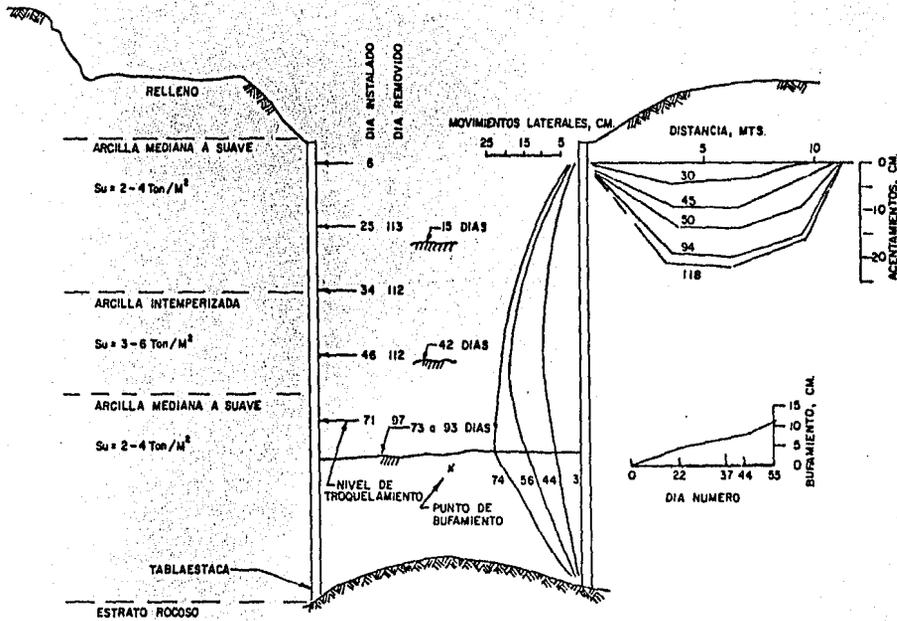


FIGURA 5.1 Relación de los movimientos sucesivos en una excavación en arcilla suave.

En otros suelos que no sean arcillas saturadas el volumen de asentamientos y el volumen de movimientos laterales de la tablaestaca podrían no ser iguales. Sin embargo, también para estos materiales la reducción en los asentamientos pueden ser obtenidos más eficientemente reduciendo el movimiento lateral de las paredes de contención.

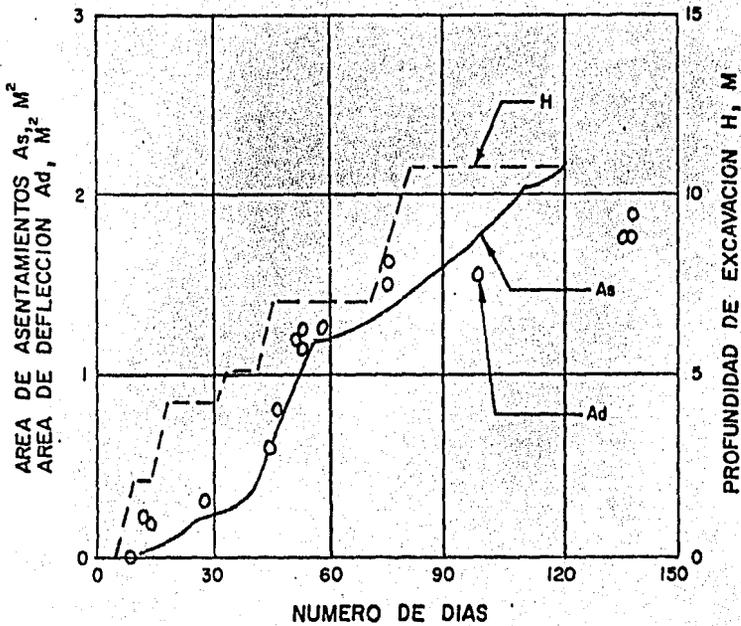


FIGURA 5.2 Comparación de volumen de asentamientos A_s y volumen de deflexiones A_d representados por desplazamientos laterales en el tablaestacado y excavación de la figura 5.1.

La experiencia nos indica que la rigidez de pilotes ordinarios y de tablaestacas, también de sección esbelta, no son usualmente suficientemente grandes para tener un efecto significativo en la magnitud de los movimientos laterales de la pared. Los movimientos laterales de las paredes de este tipo podrán, no obstante, ser reducidos sustancialmente por la colocación de soportes tales como refuerzos o apuntalamientos horizontales a una distancia vertical relativamente cercana. Recientemente se han desarrollado algunos métodos en la construcción de paredes de lindero (Tablaestaca o muro milán), las cuales son más rígidas antes de que la excavación se lleve a cabo. Estas paredes también requieren soporte horizontal espaciado verticalmente. Los intervalos no necesitan ser tan pequeños como para tipos más flexibles de paredes exteriores de contención.

No obstante, los beneficios de las paredes más rígidas podrán no siempre ser tan buenos como la anticipación del calculista.

La variable más importante que determina la cantidad de movimiento, no es la rigidez de la tablaestaca o el espaciamiento vertical del sistema de apuntalamiento, sino las características de los suelos circundantes. Los movimientos laterales del sistema de paredes de soporte, se clasifica de acuerdo con los principales tipos de suelo como:

- a.- Arenas sin cohesión.
- b.- Suelos cohesivos granulares
- c.- Arcillas suaves y medianas *
- d.- Arcillas duras

* En este caso sólo trataremos lo relacionado con arcillas suaves, ya que es el tipo de suelo que afecta a la zona del lago en la ciudad de México.

2.5.c. Arcillas suaves.

Una cantidad considerable de información concerniente a los movimientos laterales o pandeo de las tablaestacas en arcillas suaves hasta consistencia media se ha obtenido recientemente.

En estudios hechos en Oslo, Chicago, y la Ciudad de México, se ha podido ver claramente que los movimientos laterales asociados con arcillas muy suaves y arcillas plásticas medianas, sustancialmente exceden a aquellos movimientos en suelos granulares o en suelos sin cohesión. También se ha podido ver que los movimientos largos y excesivos se presentan, si la excavación se profundiza antes de que los troqueles superiores o correspondientes sean colocados. Muchos de estos movimientos se podrían evitar si los troqueles son colocados cuando la excavación se encuentra apenas ligeramente abajo de la posición de ésta. La recomendación de Peck (1943) y de Ward (1955), parece ser válida, en el sentido que los troqueles superiores deberán ser colocados antes de que la profundidad de excavación rebase o exceda la relación de:

$$2 S_u / \gamma$$

En aquellas excavaciones en las cuales esta recomendación no ha sido respetada, la mayoría de las deformaciones que han ocurrido han sido debajo del nivel de excavación, prevaleciendo en cualquier momento sin poder ser evitados. Los movimientos hacia adentro acumulados de esta manera durante toda la excavación representan inevitablemente pérdida de superficie y como consecuencia asentamientos en las zonas adyacentes a la excavación. Esto asociado al procedimiento constructivo se refleja en la buena calidad de la obra.

En excavaciones amplias es costumbre dejar bermas y taludes de tierra contra el tablaestacado, mientras la porción central del sitio es excavada y la parte de cimentación correspondiente es construída. Los troqueles y vigas de apoyo de los diferentes niveles son instalados después conforme se vaya requiriendo desde la orilla de cimentación y paralelo al talud de la berma, hasta un larguero instalado cerca de la superficie del suelo. Entonces se procede a la excavación por secciones de la berma, hasta ser excavada completamente ésta. Se seguirán colocando los troqueles necesarios como se muestra en la figura 5.3. Aunque la estabilidad de dicha berma en un suelo cohesivo, podría ser completamente adecuado, los movimientos en la corona de la tablaestaca podrían ser excesivos por la deflexión de la misma tablaestaca. El patrón de movimientos es ejemplificado por la figura 5.4 (Lacroix, 1966). Para reducir los movimientos adyacentes al corte, será necesario proveer generosamente de bermas la excavación, que no deberán ser removidas hasta que el nivel de troquelamiento superior haya sido instalado.

En una excavación profunda en San Luis, E.U.A., que se hizo en arcilla, el efecto de preesforzar el nivel superior de troquelamiento es evidente, ya que el sistema de apuntalamiento efectivamente previno movimientos posteriores hacia adentro en la parte superior de la tablaestaca.

En este ejemplo podemos ver de la importancia de colocar correctamente un sistema de apuntalamiento evitando movimientos en las colindancias que reducen el espacio previsto para la cimentación o fallas producidas en construcciones colindantes - debido a los asentamientos producidos por estos mismos movimientos.

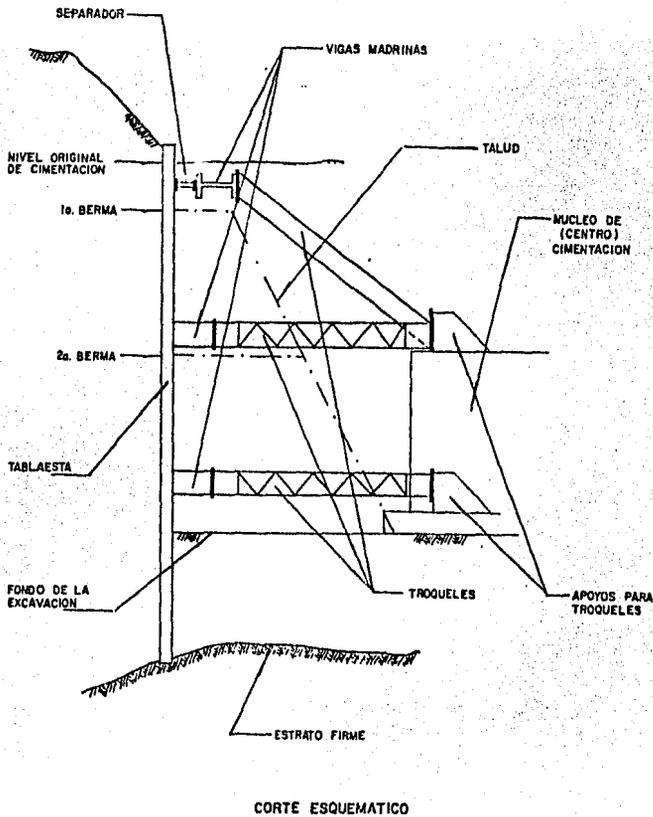


FIGURA 5.3 Forma de excavación y apuntalamiento de bermas de apoyo para tablaestacas.

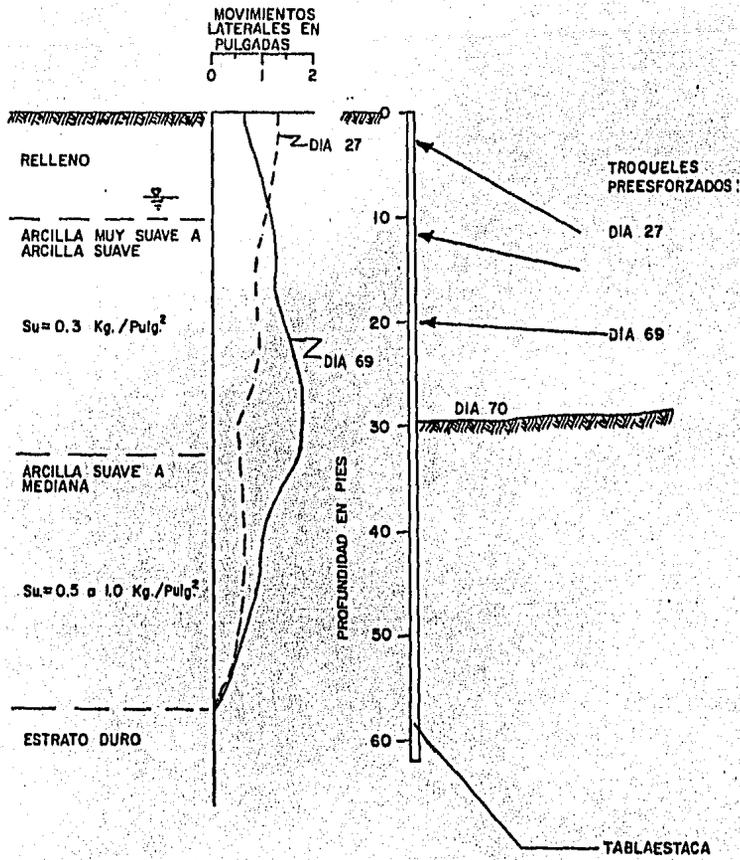


FIGURA 5.4. Sistema de apuntalamiento para una excavación en arcilla muy suave y la forma en que la tablaestaca se deforma antes de preesforzar - el nivel superior de puntales e inmediatamente después de preesforzar el nivel inferior del troquelamiento.

2.6. BOMBEO.

Es esta una parte importante en el planteamiento de excavaciones profundas - ya que se buscará siempre trabajar en seco, sobre todo en zonas como la del - lago de la Ciudad de México.

La definición de agua freática es:

"El nivel que toma el agua en los pozos de observación hechos en los depósitos de suelos se conoce con el nombre de nivel del agua subterránea, superficie - libre del agua o bien nivel freático.

Cuando existe agua en lugares de excavación, encontraremos siempre muchos problemas para el procedimiento constructivo, en especial cuando el suelo es arena o limo.

Si se deja que el agua fluya al interior de la excavación o que se déposite en la misma, es probable que origine un movimiento de las partículas finas, desprendimientos de las paredes laterales, socavaciones de las paredes contiguas - o incluso un reblandecimiento y rotura del fondo.

2.6.A CONTROL DE FILTRACIONES EN EXCAVACIONES BAJO EL NIVEL FREÁTICO.

Con frecuencia es necesario excavar a profundidades abajo del nivel freático - para construir una cimentación; cuando esto sucede el agua freática fluye hacia la zona excavada y es entonces indispensable conducirla por zanjias colectoras - hasta carcamos de bombeo, como se muestra en la figura 6.1.. Esta forma de - abatimiento del nivel freático puede ser tolerable en algunos casos, cuando el - gasto que fluye hacia el interior de la excavación es relativamente pequeño, - es decir 5 a 10 Lt/segundo, y no se produce el arrastre de partículas de suelo - por el agua. Tales condiciones se presentan cuando se excava en suelos cohesivos como arcillas, limos arcillosos, arenas arcillosas, gravas arcillosas; es - decir, todos aquellos suelos con algún contenido de arcilla que produce cierta - cohesión entre las partículas y ofrece cierta resistencia a la erosión.

Sin embargo, en cualquiera de estos casos las filtraciones que se generan hacia la excavación producen fuerzas de filtración que tienden a provocar el deslizamiento de los taludes, lo que obliga a construirlos con pendientes muy tendidas

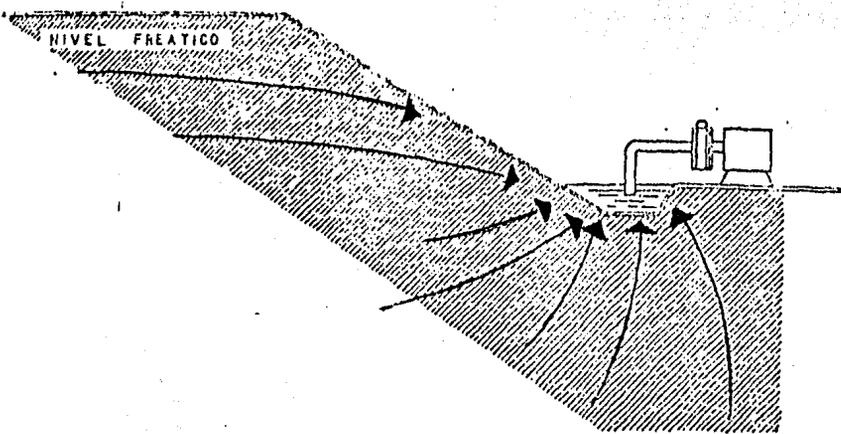


FIGURA 6.1. Filtraciones hacia el interior de una excavación en talud

Por el contrario, cuando se excava con este procedimiento en suelos no cohesivos tales como los limos plásticos, las arenas limosas y las arenas finas, se produce el deslizamiento y la erosión de los taludes y del fondo de la excavación, aún cuando la profundidad sea apenas de 1 ó 2 metros bajo el nivel freático. Además, las filtraciones ascendentes en el fondo de la excavación, al tratar de levantar las partículas de suelo, aflojan su estructura y lo convierten en un material -suelto, con lo cual se reduce importantemente la capacidad de carga y se aumenta

la compresibilidad del suelo que queda bajo el fondo de la excavación.

Si la excavación se hace en suelos de alta permeabilidad como las gravas y las arenas gruesas, el gasto de filtración se vuelve tan grande que se convierte en un serio inconveniente para la seguridad y la buena ejecución de la obra. De aquí, la necesidad de controlar en todos estos casos las filtraciones, a fin de eliminar los efectos de inestabilidad, de ebullición o de arrastre de los suelos durante la excavación.

Los procedimientos de que se dispone actualmente para el control de las filtraciones actúan sobre estas dos formas diferentes:

En un caso se conducen las filtraciones mediante instalaciones convenientes de bombeo, extrayéndolas del suelo antes de que lleguen al sitio de la excavación; estos son los llamados "Métodos de Drenaje", y permiten abatir el nivel freático, en forma local, en el sitio en que se excava, previamente a la ejecución de la excavación.

Otros procedimientos evitan la llegada del agua al sitio de la excavación interceptándola mediante pantallas impermeables que rodean al sitio de la construcción y en ocasiones, forman también un fondo impermeable, cuando no existen en forma natural estratos impermeables que impidan la filtración por el fondo; a estos se les llama "Métodos de Impermeabilización".

2.6.B DRENAJE

A continuación se enumeran los diversos tipos de instalación para el abatimiento del nivel freático antes de la excavación:

a.- Sistemas que actúan por gravedad:

* Pozos - punta

** Pozos - profundos

b.- Sistema combinado de gravedad y vacío.

c.- Sistema combinado de bombeo y electrólisis.

2.6.B.a* Pozos punta

El esquema de la figura 6.2. muestra este sistema que consiste en una serie de tubos verticales de aproximadamente 6.00 metros de longitud y diámetro de 1 1/2" a 2", en cuyo extremo se acoplan un tubo especial formado por una fina malla metálica o de plástico, en cuyo interior se aloja un tubo perforado; esta última parte tiene aproximadamente 6.60 metros de longitud y en su extremo inferior esta provista de una válvula de pie. Estos tubos se instalan en el terreno hincándolos con el auxilio de un chiflón de agua que circula por el propio tubo -- y sale por el extremo inferior alrededor de la válvula de pie, como se muestra en la figura 6.3; dichos "Tubos Punta", se colocan en líneas alrededor de la excavación, con separaciones entre una y otra punta, que varían de 0.5 a 2.00 metros; excepcionalmente esa separación llega a ser de 3.00 metros. El extremo superior de cada uno de los tubos se conecta a una tubería con diámetro de 8" a 10", la cual a su vez conecta al extremo de succión de una bomba centrífuga de impulsor abierto, provista de una trampa de aire; una bomba de vacío conectada también en la tubería de succión, complementa el sistema.

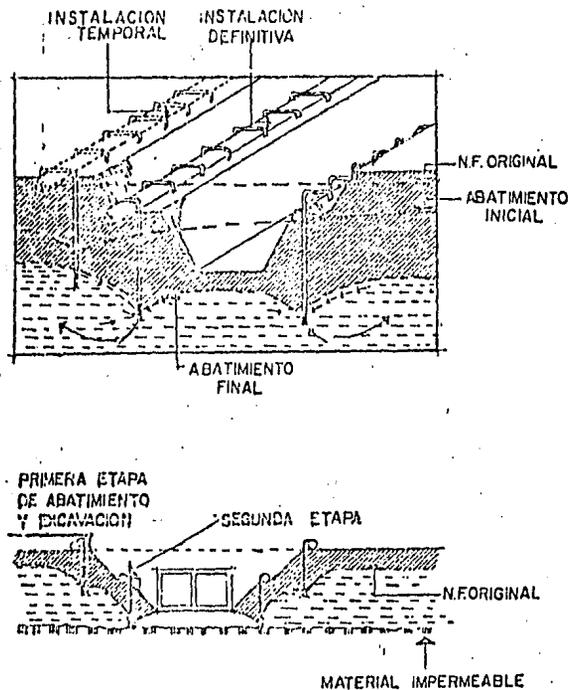


FIGURA 6.2. Abatimiento del nivel freático mediante pozos - punta.

Al crear el vacío en la tubería de succión, la válvula de pie de las puntas, -
cierra el extremo inferior de éstas y el agua del suelo pasa solamente a través
del cedazo con lo cual se evita el arrastre de partículas de arena y limo.

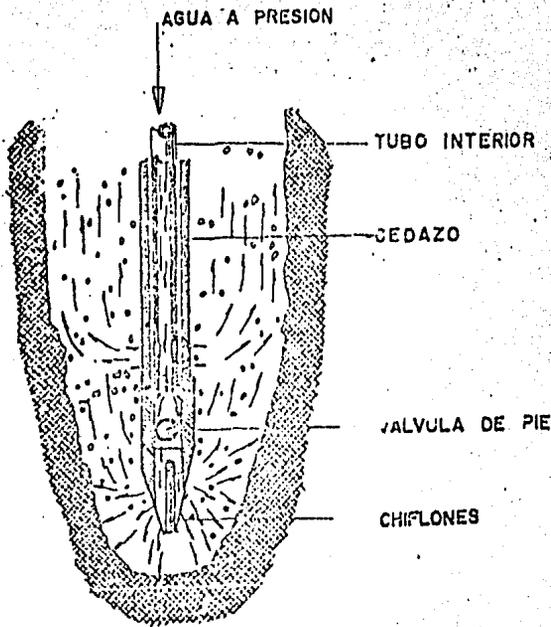


FIGURA 6,3. Hincado de la punta por medio de chiflón de agua.

Cada una de estas puntas es capaz de succionar un gasto de 0.5 a 1.0 litros/seg., dependiendo de su diámetro; así pues, la separación de las puntas dependerá del -gasto que haya de bombear por Ml. de perímetro del sistema, el cual esta relacionado con la permeabilidad del suelo, de manera que si se conoce esta, se puede estimar el gasto por unidad de longitud, así como el diámetro de las puntas y su separación.

El sistema de pozos - punta sólo permite abatir el nivel freático hasta unos 6.00-metros de profundidad, por lo que, si se requiere mayor profundidad de abatimiento, es necesario instalar varios circuitos de puntas eslaconadas como indica el croquis de la figura 6.4.

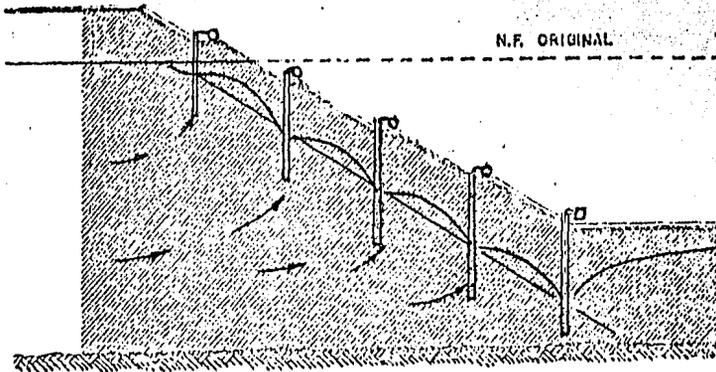


FIGURA 6.4. Abatimiento mediante varias etapas escalonadas.

Este sistema se usa generalmente en suelos granulares, pudiéndose usar en suelos finos como los de la ciudad de México, pero hasta profundidades relativamente pequeñas (De 0 a 4 mts.), ya que éste trabaja con la presión atmosférica.

2.6.B.a.** Pozos profundos

Como una alternativa a la instalación de puntas escalonadas, se recurre al uso de pozos profundos que se instalan en un sólo circuito perimetral a la excavación, según se ve en la figura 6.5.

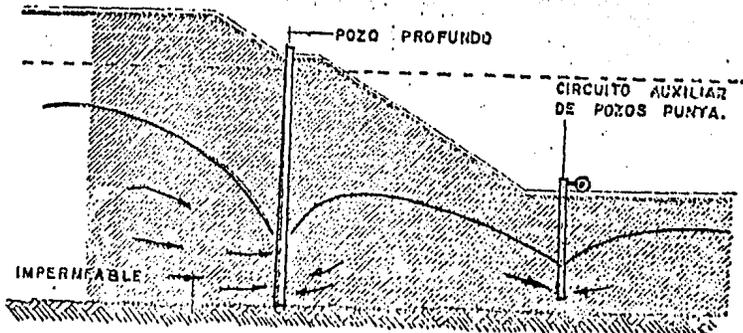


FIGURA 6.5. Abatimiento del nivel freático mediante pozos profundos.

Las bombas de pozo profundo se fabrican en una amplia gama de capacidades que va desde unos 5 a 10 lts. por segundo, hasta gastos mayores de 100 Lts/seg., - lo cual permitiría diseñar una instalación que logrará controlar cualquier gasto de filtración y a cualquier profundidad que pudiera requerirse en la práctica, - aún tratándose de excavaciones de gran profundidad en depósitos de grava y arena gruesa y limpia, cuya permeabilidad sea mayor de 10^{-1} cms./seg., bastaría para ello conocer la permeabilidad media y la extratigraffa del depósito para determinar, mediante el trazo de una red de flujo, el gasto por Ml. que se obtendrá a lo largo de la línea de bombeo. Puesto que es indispensable que los conos de abatimiento de cada uno de los pozos a lo largo de la línea de bombeo se traslapen completamente, es necesario que la separación entre pozos no sea mayor que la mitad de la profundidad de abatimiento requerida y que el espejo del agua abatida en cada pozo de bombeo se encuentre de dos a tres metros abajo de la profundidad de abatimiento deseada en la excavación.

Sobre estas bases se puede elegir la capacidad y número de las bombas que se requieran. Sin embargo, cuando se trata de permeabilidades de 10^{-1} cm/seg., o mayores (Gravas y arenas limpias), los gastos que se bombean llegan a ser tan grandes que requieren de fuertes inversiones en equipo y costo de operación; en tales circunstancias puede justificarse mejor, desde un punto de vista económico, evitar las filtraciones mediante métodos de impermeabilización.

2.6.B.b. Bombeo y vacío combinados.

Cuando se tienen depósitos de limos o limos arenosos cuya permeabilidad varía entre 10^{-3} y 10^{-5} cm/seg., los sistemas de bombeo de gravedad por sí solos pueden requerir de un tiempo de bombeo demasiado prolongado, o bien ser totalmente ineficientes para los limos menos permeables; en tales condiciones se recurre al auxilio de un sistema de vacío que, combinado con el equipo de bombeo produce un vacío que actúa en las paredes del pozo, a través del filtro, según se muestra en la figura 6.6; este sistema aumenta el gradiente de las filtraciones hacia el pozo y desarrolla un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que, a su vez, se traduce en un aumento de la presión intergranular y, por lo tanto, de la resistencia al corte del suelo. De esta manera, no solamente se logra la eliminación de las fuerzas de filtración, sino que además, el estado de tensión creado en el agua mejora notablemente las condiciones de la estabilidad de los taludes de una excavación, lo que permite aumentar el ángulo del talud y reducir el volumen de tierra excavada.

2.6.B.c Bombeo combinado y electrósmosis

Cuando se trata de suelos de baja permeabilidad como las arenas arcillosas, los limos arcillosos y las arcillas de mediana o alta plasticidad, cuyo coeficiente de permeabilidad es del orden de 10^{-6} cm./seg., o menor, la aplicación del sistema de vacío es insuficiente para lograr el abatimiento rápido del nivel freático; en estos casos el bombeo puede auxiliarse con la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico que acelera el flujo del agua a través de los poros del suelo y desarrolla, de manera semejante al sistema de vacío, un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que incrementa temporalmente la resistencia al corte, efecto que unido a la eliminación de las fuerzas de filtración, estabiliza los taludes.

Ya se ha dicho que en este tipo de suelo, dada su baja permeabilidad se producen gastos de filtración muy pequeños que son fáciles de manejar desde el interior de la excavación; además, por ser suelos cohesivos no son fácilmente erosionables y puede excavarlos en ellos hasta profundidades razonables sin necesidad de abatimiento previo del nivel freático. Sin embargo, cuando la profundidad de la excavación va más allá de los límites de la estabilidad de los taludes, el empleo de la electrósmosis y el bombeo combinado es conveniente para mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes y alcanzar con toda seguridad la profundidad de excavación final.

En el caso de excavaciones en arcillas blandas y expansivas, como las del Valle de México, se producen expansiones del fondo de la excavación, como consecuencia de la descarga que sufren los suelos que quedan bajo el nivel del fondo, al retirar la tierra que se encuentra arriba de ese nivel. En excavaciones realizadas en estos suelos, a profundidades de 6 a 8 metros, se han registrado expansiones mayores de 60 cms., las cuales se recuperan en forma de asentamientos al volver a cargar las arcillas con el peso de la estructura.

En esta forma, una cimentación totalmente compensada que, teóricamente no debería sufrir asentamientos se hunde una cantidad aproximadamente igual a la expansión provocada durante el proceso de la excavación. En estos casos el abatimiento local del nivel freático, previo a la excavación, produce una sobrecarga local de igual magnitud que la descarga que provocará posteriormente la excavación. Es bien conocido que el abatimiento local del nivel freático produce hundimientos por consolidación de la arcilla, cuya magnitud es función del tiempo que actúa la sobrecarga producida por el abatimiento.

En el caso de suelos estratificados que contienen capas alternadas de muy diferente permeabilidad, arenas, limos y arcillas, se requiere del empleo de pozos con filtro en toda la profundidad, independientemente, del sistema de bombeo que se utilice, tal como lo muestra la figura 6.6.

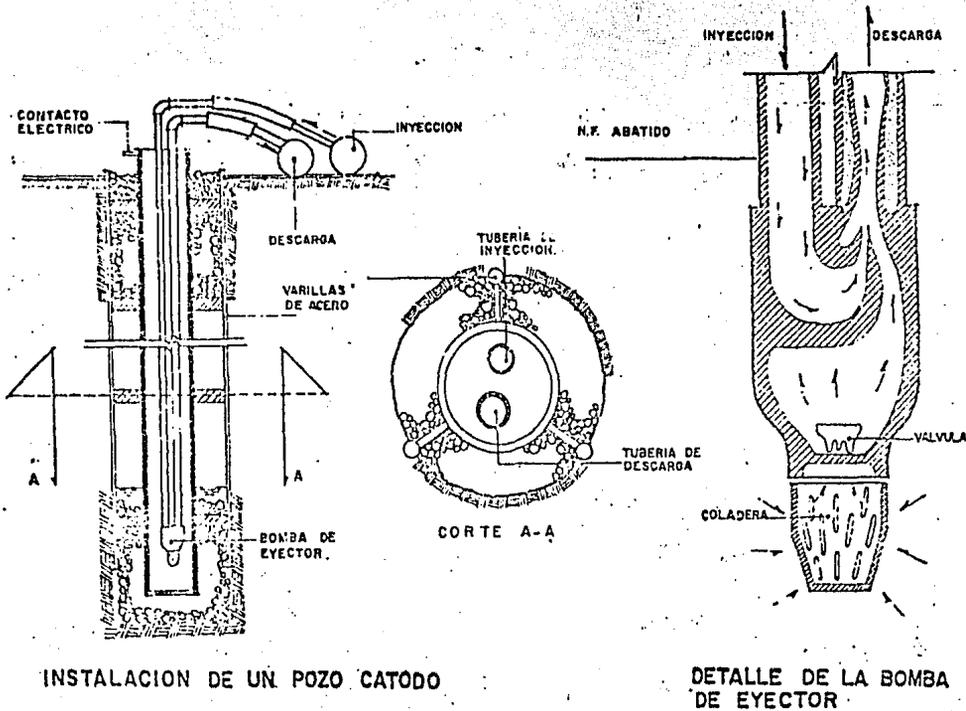


FIGURA 6.6 Instalación de un pozo catodo y detalle de la bomba de eyector.

Si el abatimiento se logra en un tiempo corto, alrededor de una semana, los hundimientos locales no exceden de unos 10 cms. Este abatimiento rápido se consigue con el auxilio de la electrósmosis. Al ejecutar la excavación después de haber abatido el nivel freático, pueden excavarse grandes áreas, produciéndose expansiones de magnitud muy semejante a los asentamientos provocados previamente durante la etapa de abatimiento del nivel freático. Las figuras 6.6 y 6.7, ilustran la instalación de este sistema en el que se emplean pozos de bombeo cuyo ademe metálico está diseñado para servir también como electrodo negativo hacia el cual fluye el agua del suelo impulsada por el potencial eléctrico creado en el terreno mediante la instalación de varilla de acero colocadas entre los pozos, los cuales sirven de electrodos positivos. Los pozos cátodo (-) y las varillas ánodo (+) se conectan a los bornes correspondientes de un generador de corriente continua, creando así el gradiente de potencial eléctrico, cuyo valor se mantiene entre 0.1 y 0.3 Volts/cm., de separación entre electrodos. El agua es extraída del interior del ademe mediante una pequeña bomba de pozo profundo, del tipo eyector (trampa de vacío) operada por un chiflón de agua producido por una bomba centrífuga de alta presión; el agua inyectada en el eyector, junto con la extraída del suelo, fluyen por una tubería de retorno que regresa hasta el cárcamo de la bomba centrífuga que se encuentra en la superficie, desde donde es recirculada y reinyectada para la operación continua de los eyectores.

En arcillas de alta compresibilidad la distribución de los electrodos en el área de la excavación y el gradiente de potencial aplicado se diseñan de manera tal que se reduzcan al mínimo los asentamientos de la corona de los taludes y de la zona vecina a la excavación con el fin de evitar daños a estructuras vecinas y prevenir el agrietamiento de los taludes lo cual empeoraría su estabilidad.

La figura 6.8 muestra los rangos de granulometría de suelos dentro de los cuales son aplicables los distintos métodos de abatimiento antes mencionados. En ello puede observarse que para aquellos depósitos de grava y arena cuyas partículas son de tamaños mayores que los correspondientes a las arenas gruesas, los métodos de drenaje por gravedad no son recomendables, pues aunque es posible lograr buenos resultados, los grandes gastos de bombeo y el alto costo de las instalaciones de los pozos hacen el procedimiento antieconómico. En estos casos es preferible recurrir a los métodos de impermeabilización como son las tablaestacas, muro milán, etc.

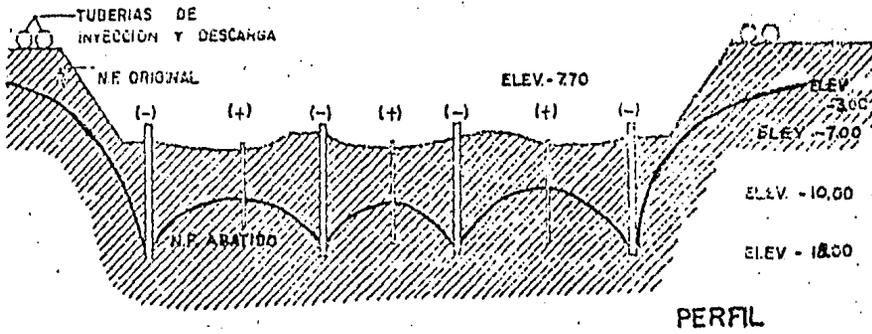
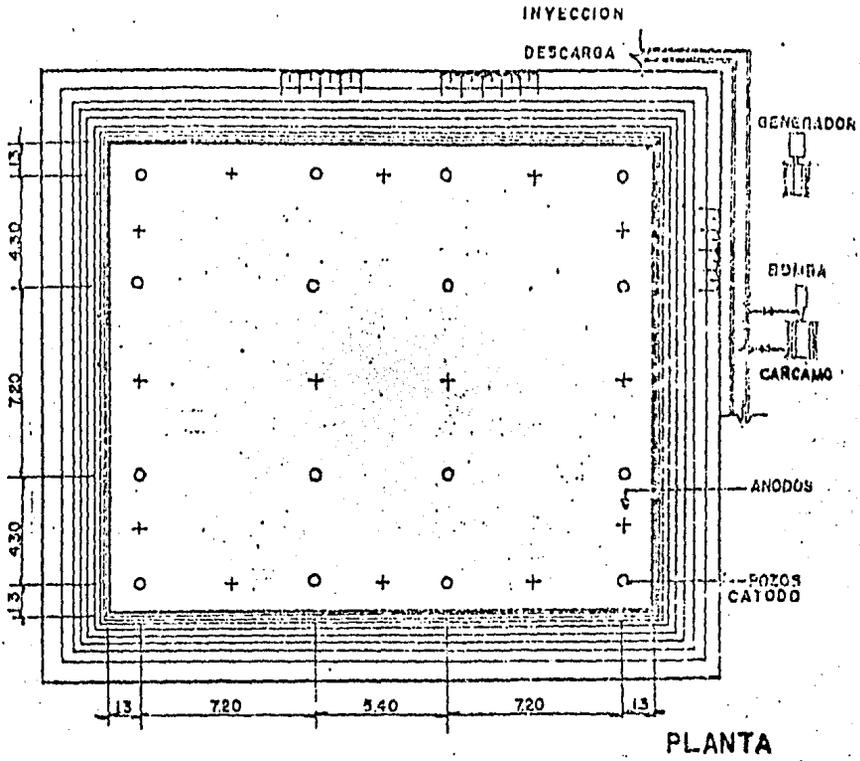


FIGURA 6.7 Instalación para abatimiento electrosmótico en arcillas.

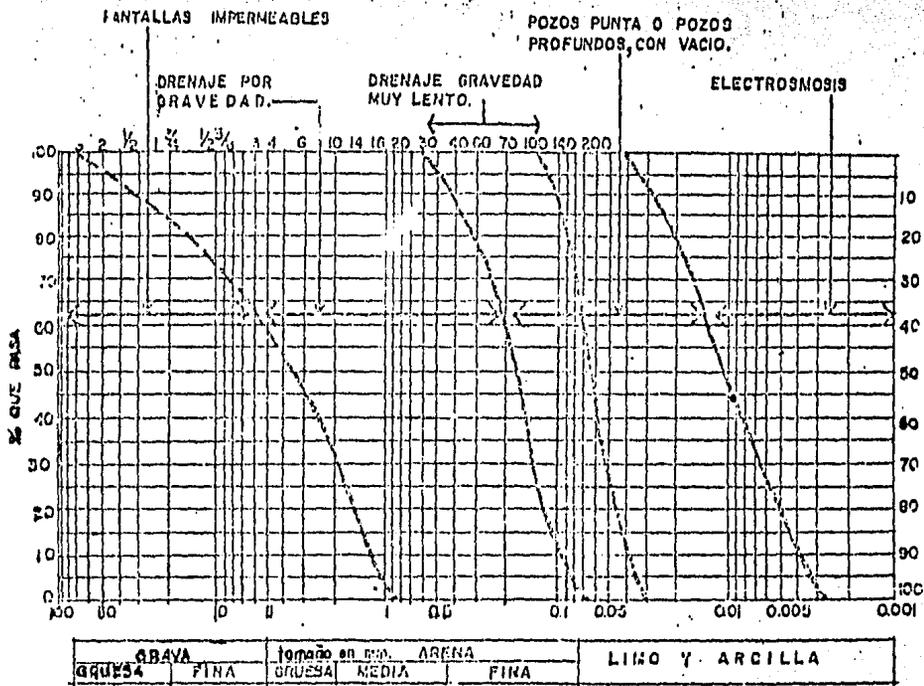


FIGURA 6.8 Rangos de aplicación de diferentes sistemas de drenaje para abatir el nivel freático.

TEMA 3

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

- 3.1 Procedimiento constructivo de un edificio-alto en la zona del Lago del Valle de México.
- 3.2 Aspectos constructivos.
- 3.3 Conclusiones de los aspectos constructivos.
- 3.4 Recomendaciones y especificaciones de proyecto de construcción.
- 3.5 Experiencia de campo.
- 3.6 Reporte fotográfico.

Me gustaría manejar el significado de lo que este tema envuelve, yendo de lo general a lo individual y llevando un orden de procedimiento.

Aunque este proceso constructivo contiene varios aspectos de diseño estructural, tales como son la atagüa, los troqueles y la interrelación suelo-estructura (Pilotes, resistencia del suelo, etc), daré primeramente una idea para luego abordar los temas independientemente.

Grandes estructuras sobre suelos arcillosos (blandos), como los que tenemos en la zona del lago de la Ciudad de México, presentan problemas, fundamentalmente en la construcción de su cimentación. Es por esto que se elaboran procedimientos de construcción de más o menos complejidad; y es uno de estos procedimientos el que trataré de exponer de manera sencilla.

En la construcción de estructuras altas en la zona del lago del Valle de México, como lo planteamos anteriormente, tendremos que hacer la cimentación; las cuales son generalmente profundas, por lo que iniciaremos con una excavación igualmente profunda y a diferencia de otras zonas más estables en donde se usan zapatas aisladas, por la mayor resistencia del suelo, aquí se contará con celdas de cimentación. Es por esto que la excavación será general en el área que comprenda la cimentación.

En la zona del lago se tendrá que abatir el nivel freático, ya que esto beneficia enormemente el "Buen caminar" de la obra, ya que se trabajará en seco y se obtendrá mayor calidad en obra con los materiales empleados.

Para obtener este abatimiento en el nivel freático, tendremos que poner fronteras clavadas o hincadas en los límites de la excavación. A estos elementos se les denomina atagüa o tablaestaca.

Esta atagüa o tablaestaca, tiene una doble función:

1o.- Impedir que fluya el agua subterránea hacia la zona de excavación, ya que sólo se abatirá el nivel freático del terreno de construcción por medio del bambeo;

2o.- Contener el empuje provocado por los grandes volúmenes de tierra circun - dantes, junto con otros dispositivos mecánicos llamados puntales o troqueles.

Dentro del predio de construcción serán asignados pozos de bombeo para el abatimiento del nivel freático.

El hacer una excavación profunda provoca algunas reacciones, por ejemplo - una de ellas es el bufamiento del fondo de la excavación. Es por esto - que se habla de cimentaciones compensadas, ya que el peso de la estructura de cimentación es lo que viene a suplir el peso del volumen de excavación - evitando con esto el problema de bufamiento.

La excavación se iniciará desde el centro del terreno, si éste es muy gran - de, hacia la periferia y se construirá inmediatamente la parte de cimenta - ción correspondiente, teniendo una estructura de apoyo para los troqueles - las excavaciones posteriores entre este núcleo de cimentación y la tabla - estaca. Además el volumen no excavado en estas zonas servirá de apoyo - temporal para el sustento de la tablaestaca formando un talud con herma, - ya que recibe un empuje por los lados de colindancia opuestos a la excava - ción.

Mientras se excava las zonas perimetrales se pondrán los troqueles, que - sostendrán en conjunto con la ataguía los esfuerzos provocados por la exca - vación y mantendrán el espacio libre para la construcción requerida, estan - do este sistema de apuntalamiento siempre en equilibrio.

3.1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN EDIFICIO ALTO EN LA ZONA DEL LAGO DEL VALLE DE MEXICO.

- a).- Construcción de elementos de medición y control.
- b).- Excavación en toda el área a N. -1.00.
- c).- Hincado de tablaestaca en todo el perímetro.
- d).- Hincado de pilotes.
- e).- Construcción de todos los pozos de bombeo, iniciando bombeos en pozo - 1 a pozo 8.
- f).- Excavación y construcción de zona 1, construyendo drenes.
- g).- Excavación y construcción de zona 2, posterior al colado de zona 1.
- h).- Excavación y construcción de zonas 3, posterior al colado de zona 2.
- i).- Excavación y construcción de zonas 4, posterior al colado de zonas 3.
- j).- Troquelamiento, excavación y construcción de zonas 5 a 9 en forma progresiva.
- k).- Lastrar con agua toda el área colada y continuar la construcción en zona de torre hasta N. alberca inclusive.
- l).- Iniciar bombeos en pozos 9 a 13.
- ll).- Excavación y construcción de zona 10.
- m).- Excavación y construcción de zona 11, posterior al colado de zona 10.
- n).- Excavación y construcción de zona 12, posterior al colado de zona 11.

- o).- Troquelamiento, excavación y construcción de zonas 13 y 14 en forma progresiva.
- p).- Lastrar con agua el área restante y continuar construcción vertical.

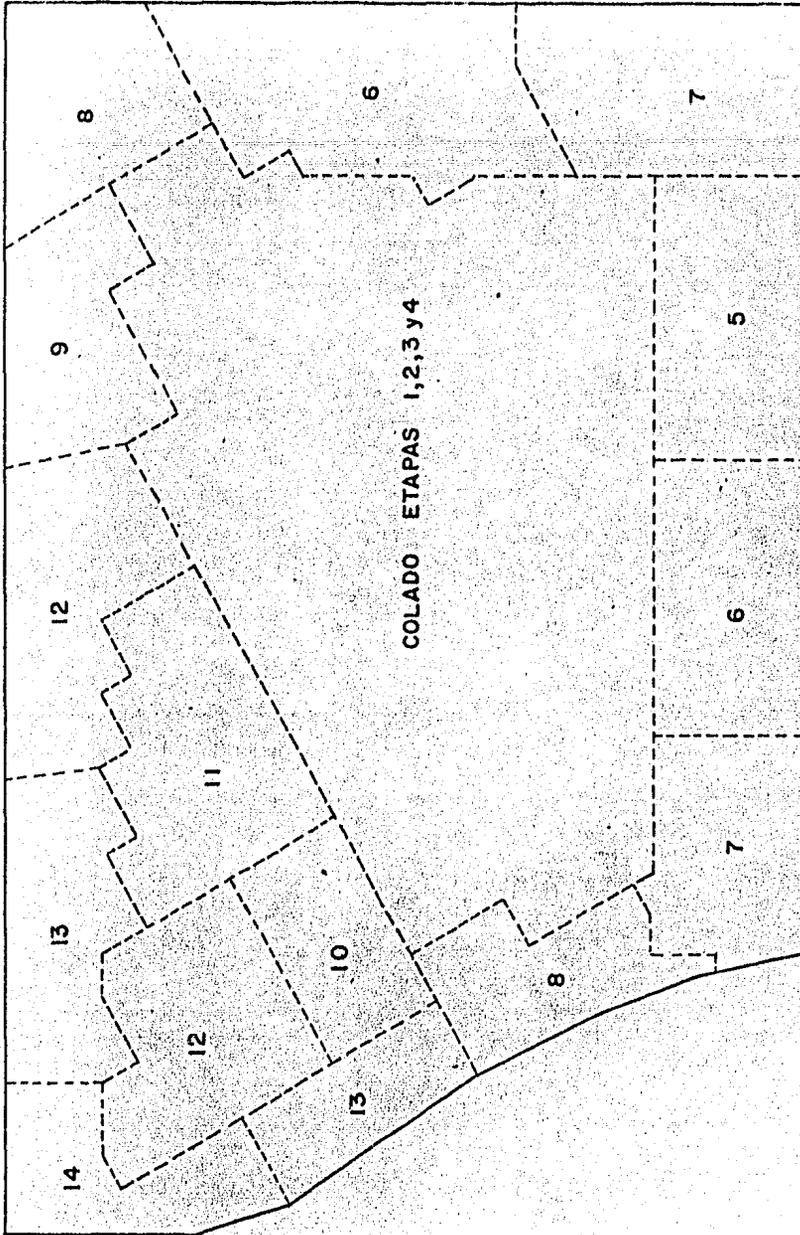


FIGURA 1.1. Planta esquemática de las diferentes etapas de construcción de la cimentación de un edificio alto en la zona del Lago del Valle de México.

3.2. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

De los análisis hechos, se propone como solución de cimentación a un cajón rígido de concreto reforzado (A 4 metros en la zona baja y a 6 metros en la zona de torre), complementada con pilotes de fricción y con pilotes entrelazados adicionales en la zona de torre. Para su construcción, se propone la siguiente secuencia:

- a).- En primer término, será necesario contar con una serie de instrumentos de control: 1 banco de nivel profundo, dos bancos de nivel superficial, bancos flotantes y referencias en banquetas y edificios vecinos. También - deben instalarse piezómetros para medir las presiones del agua del sub-suelo tanto exterior como interiormente.
- b).- Por la magnitud de la excavación (4 metros y 6 metros), y la presencia del nivel freático a dos metros de profundidad, la importancia de la obra y la zona en donde se localiza el predio, será necesario contar con un tablaestacado perimetral cerrado en alineamientos y colindancia, para no provocar variaciones en el estado de esfuerzos del subsuelo de predios vecinos y por lo tanto hundimientos indeseables al abatir en ellos el nivel freático.
- c).- Los trabajos se iniciarán con una excavación en todo el predio, de 1.50 - mts. de profundidad (como máximo), con el objeto de retirar restos de cimentaciones antiguas que pueden obstaculizar los trabajos posteriores.
- d).- Se proseguirá con el hincado de la tablaestaca.
- e).- Para facilitar el hincado de la tablaestaca, se harán perforaciones de un diámetro igual al espesor de la tablaestaca, separadas dos diámetros, medidos centro a centro.
- f).- Simultáneamente al hincado de la tablaestaca, pueden hincarse los pilotes.
- g).- Los pilotes se hincarán en una perforación previa, extrayendo los materiales; el hincado se deberá realizar cuando más, dentro de las 6 horas siguientes de la perforación; en caso contrario, deberá perforarse nuevamente.

- h).- En zonas en donde existan pilotes entrelazados (profundos), primero se hincarán estos, y posteriormente los pilotes que irán ligados a la sub-estructura.
- i).- Antes de iniciar cualquier trabajo de excavación, deberán estar totalmente hincados los pilotes, e instalados los pozos de bombeo.
- j).- Para proseguir con las excavaciones, se abatirá el nivel freático totalmente, manteniéndolo siempre por lo menos 1.50 mts. bajo el fondo del nivel de desplante.
- k).- Las zonas de excavación complementaria necesarias para alojar el cajón de cimentación se programarán de tal manera que se cuelen en un lapso no mayor de 30 días; es decir, las áreas excavadas solo pueden permanecer sin cargas periodos menores a 30 días.
- l).- En zonas colindantes y de alineamiento al excavar, se deberá dejar una berma de 2 metros de ancho y un talud con relación 1:1.
- ll).- Estas zonas se construirán cuando la zona central correspondiente, haya sido colada, descimbrada y tenga una resistencia del 80% f'c para que sea posible poder colocar los troqueles necesarios para sostener la tablaestaca.
- m).- La suspensión del bombeo se hará cuando el peso de la obra construída alcance por lo menos un valor de 4 Ton/M2.

3.3. CONCLUSIONES DE LOS ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- a).- Se trata de un edificio que contará con un sótano y tres pisos que cubrirá toda el área del predio; además, se construirán 18 pisos que formarán una torre, la cual quedará en posición excéntrica respecto al centro del terreno.
- b).- El área donde se ubica el predio, queda en la llamada zona III, que se caracteriza por tener mantos comprensibles mayores de 20 metros de espesor y por la presencia de una primer capa dura, a 28.2 metros, que en este caso tuvo 1.80 Mts. de espesor, habiéndose detectado los depósitos profundos a partir de la cota menos 34.2 Mts.
- c).- Se estudiaron varias alternativas de cimentación, algunas de las cuales se desecharon de inmediato por la problemática que presentaban en cuanto a su comportamiento futuro o por su alto costo.
- d).- Existe una alternativa que teóricamente ofrece un buen comportamiento, resulta económica, y su mantenimiento a futuro es mínimo, la cual consiste en emplear un cajón rígido en toda el área, complementado con pilotes a fricción, en número, longitud y sección necesarios para que cada una de las partes del edificio (que transmitirán cargas diferentes), cumplan de igual modo con las disposiciones de seguridad que proporciona el no alcanzar el estado límite de falla. Por otra parte, con objeto de que los movimientos en ambas zonas sean semejantes bajo la zona de mayor presión de contacto, se utilizarán otros pilotes adicionales que desligados de la estructura se apoyen en un manto resistente; de esta manera, los esfuerzos en el subsuelo pueden homogeneizarse en ambas áreas, con lo cual los hundimientos serían semejantes.
- e).- Por lo que respecta al procedimiento de construcción, éste debe contemplar la forma de no afectar las construcciones ni calles vecinas, y ofrecer condiciones de seguridad durante las excavaciones, así como también proporcionar un mejor comportamiento futuro; lo anterior, se podrá lograr siguiendo las especificaciones de construcción que se indican en el siguiente tema.

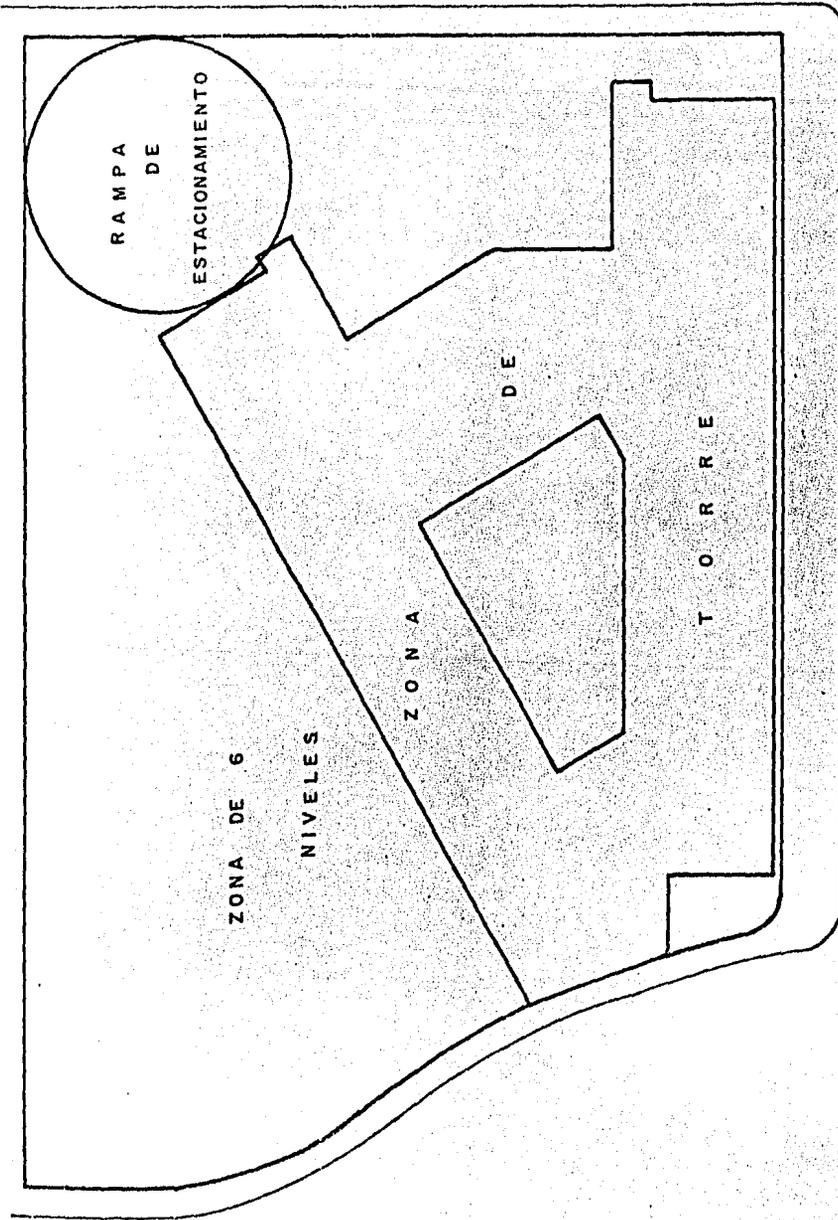


FIGURA 3.1 Planta esquemática del edificio.

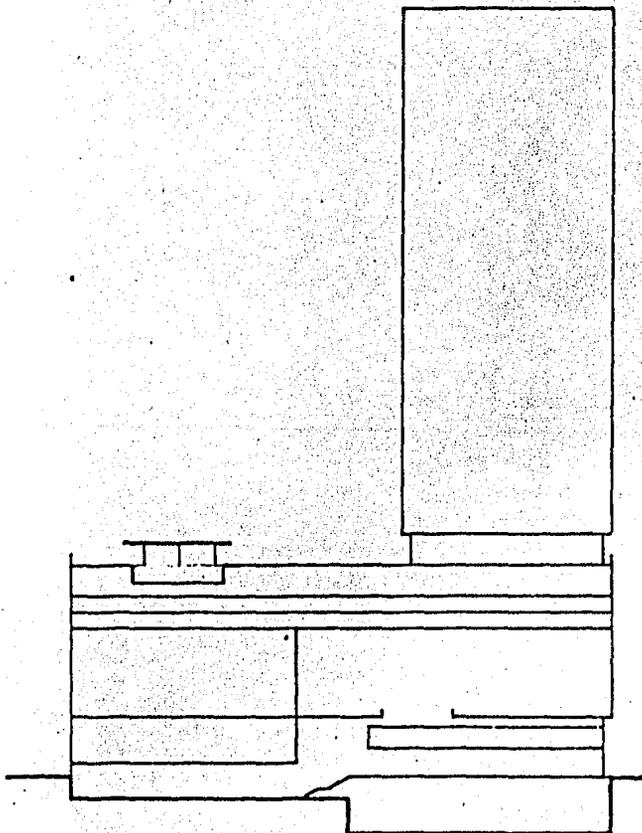


FIGURA 3.2 Elevación esquemática del edificio.

3.4. RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES DE PROYECTO Y DE CONSTRUCCION

Deberán atenderse las siguientes recomendaciones para obtener un buen - comportamiento de la estructura.

3.4.A. DE PROYECTO

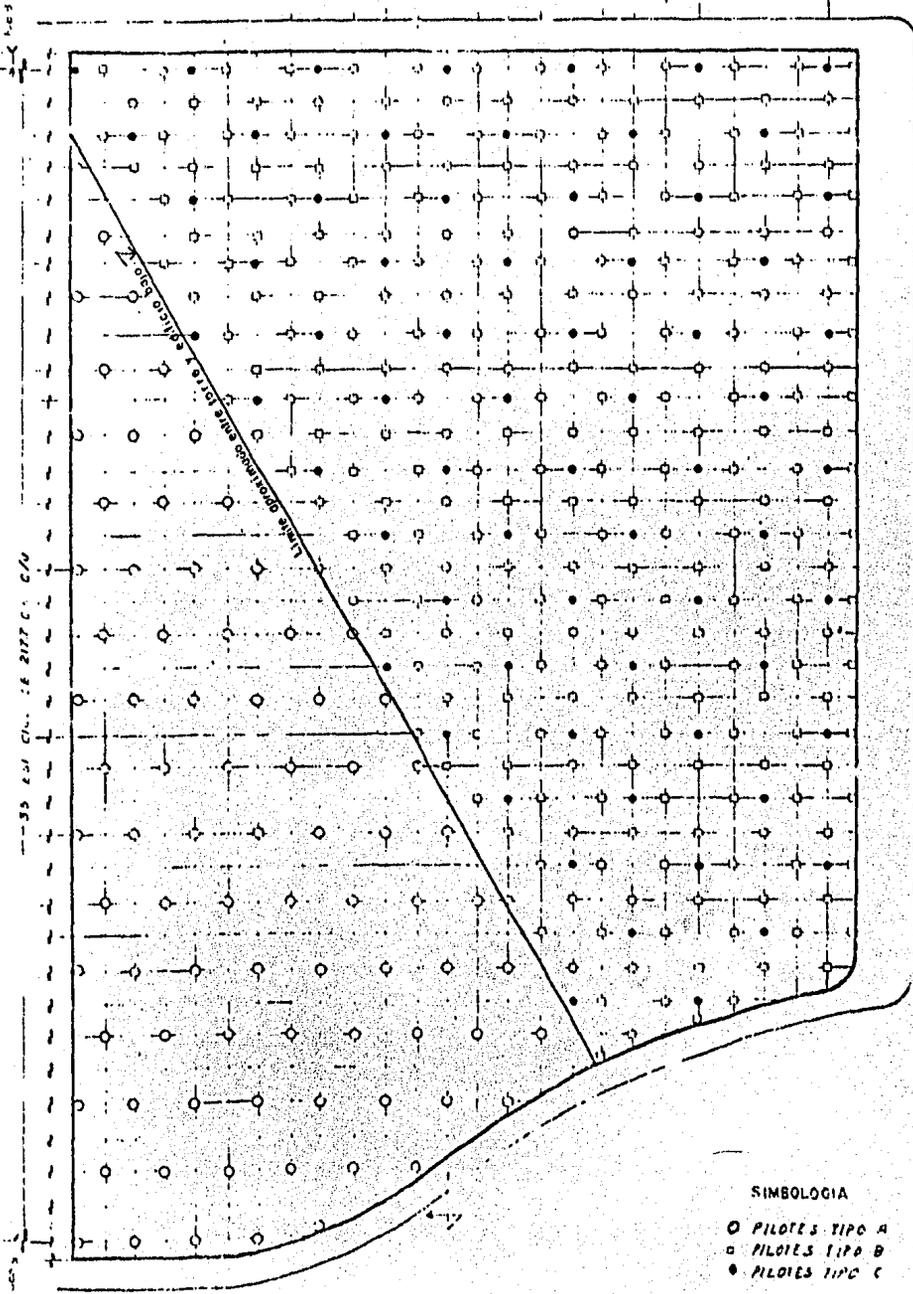
- a).- La distribución de los pilotes, se apegará en lo posible a la mostrada en la figura 4.1.
- b).- Los muros de plantas sótano, deberán soportar los empujes del subsuelo - e hidrostáticos en la figura 4.2.
- c).- La tablaestaca se diseñará para soportar los empujes del subsuelo e hidros_ táticos que se muestran en la figura No. 4.3, la cual se construyó al se - guir el criterio de R.B. Peck.
- d).- El diseño de los troqueles, también se hará conforme a la figura No. 4.3. La reacción de los troqueles se calculará suponiendo el claro simple entre ellos.

3.4.B. DE CONSTRUCCION

- a).- El banco de nivel profundo se instalará hasta una profundidad de 36.00 M.
- b).- Los bancos superficiales se localizarán a una distancia mínima de 100 M.- de la obra, o de cualquier otra recientemente construída.
- c).- Los bancos flotantes se instalarán 50 cms. bajo el fondo de las excavacio- nes complementarias.
- d).- Las referencias superficiales se instalarán en edificios vecinos y banquetas.
- e).- Los piezómetros pueden ser del tipo abierto o neumático, y se instalarán a - una profundidad de 9.00 M. en la zona de la torre, y a 8.00 M. en la zona - baja.

- f).- Los pozos de bombeo alcanzarán una profundidad de 8.00 m. y estarán formados por tubos de acero ranurados. Entre la pared del tubo y la perforación previa para alojarlo se colocará grava limpia (véase figura número 4.4.)
- g).- El sistema de bombeo apropiado consistirá en bombas de tipo inyección - eyección, conectado a una fuerza motriz central.
- h).- En el fondo de la excavación se construirán retículas de drenes ortogonales que reconozcan a los carcamos de bombeo, y recolecten las filtraciones.
- i).- La suspensión del bombeo se hará cuando se tenga por lo menos colada la losa de planta baja y el edificio pese 4 tons/M².
- j).- Después de la etapa preliminar de excavación, se correrá la primera nivelación, en que se incluirán el banco profundo, los bancos superficiales y las referencias en banquetas y edificios, y se harán las lecturas correspondientes de piezómetros. Las nivelaciones y mediciones piezométricas siguientes servirán para observar la tendencia de la cimentación, y en caso dado, darán la pauta a seguir para corregir alguna anomalía.
- k).- Las lecturas sobre los elementos de control, deberán llevarse durante todo el período de construcción, posteriormente se espaciarán cada mes durante los primeros 2 años, y cada 6 meses durante los siguientes 5 años.
- l).- Los pilotes se hincarán en una perforación previa de 50 cms. de diámetro y se usará un martillo D-30 ó de energía similar para hincarlos.
- ll).- Los pilotes profundos deberán alcanzar 35.00 m. de profundidad y su perforación previa es indispensable, (Véase las figuras 4.1).
- m).- Los pilotes ligados a la subestructura, no deberán sobrehincarse a más de 25.50 m. de profundidad, (Véase las figuras 4.1).

- n).- Debe usarse seguidor para dejar los pilotes al nivel de proyecto.
- ñ).- Las cabezas de los pilotes se demolerán para anclar su acero de refuerzo al de la subestructura.
- o).- Las excavaciones complementarias para alcanzar el nivel de desplante de la losa, se harán en cortes temporales con talud 1:1.
- p).- Una vez alcanzado el fondo de la excavación, afinada "a mano", y nivelada, se colará una plantilla de $f'c=100$ Kg/cm² y 7 cms. de espesor. También se construirán los drenes necesarios para recolectar el agua de filtraciones.
- q).- Por lo que respecta a la tablaestaca, ésta será de madera o concreto debidamente machimbada, y se hendará en perforaciones previas de diámetro igual al espesor de la tablaestaca, separadas 2 veces su diámetro medido centro a centro de las perforaciones.
- r).- El retiro de bermas y taludes perimetrales se hará en frentes no mayores de 12.00 m. La excavación se hará hasta alcanzar la posición de la primera línea de troqueles, procediendo inmediatamente a colocar los puntales, las viguetas y los troqueles, apoyándolos contra la zona central previamente construída.
- s).- Se proseguirá con la excavación hasta alcanzar las líneas inferiores de troqueles, procediendo de igual manera a la descrita.
- t).- En la zona central, se dejarán preparaciones para que sirvan de apoyo a los troqueles.
- u).- En las figuras números 4.5 a 4.7 se ilustran las ideas antes expuestas.



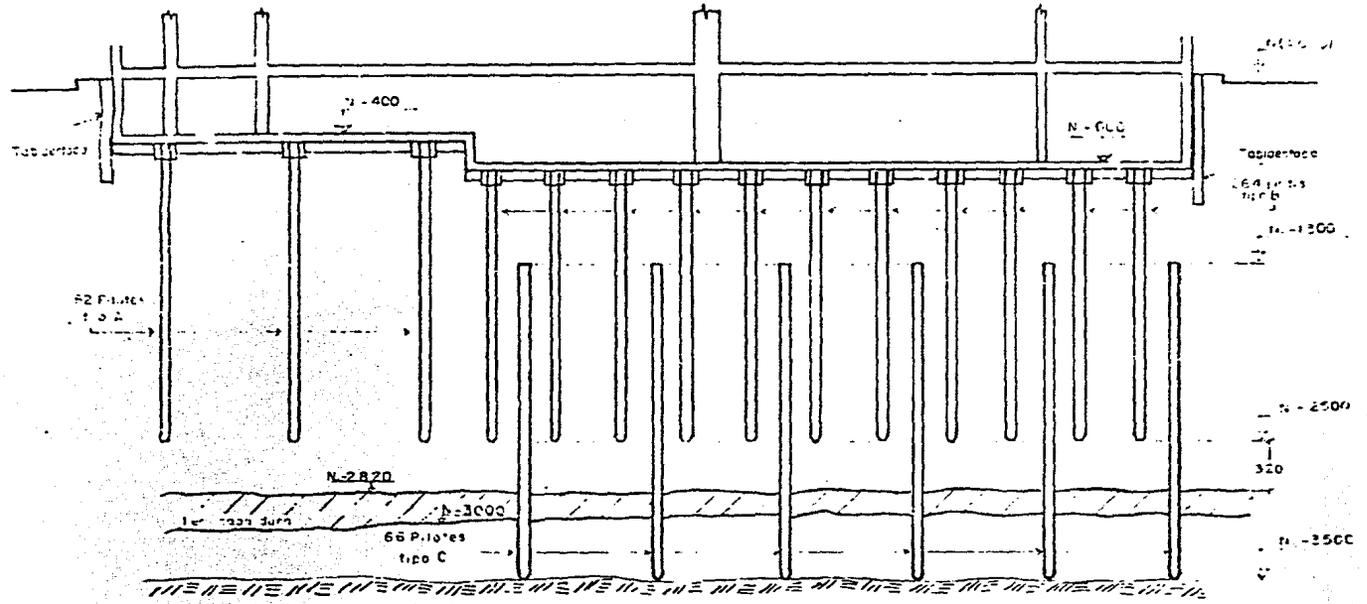
SIMBOLOGIA

- PILOTES TIPO A (Prof. N-25.00)
- ◻ PILOTES TIPO B (Prof. N-25.00)
- PILOTES TIPO C (Prof. N-35.00)

FIGURA 4.1 Cimentación propuesta.

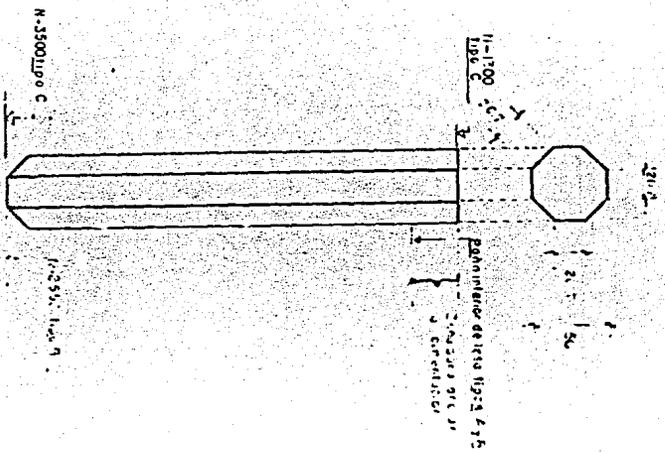
(VEASE PROXIMA FIGURA)

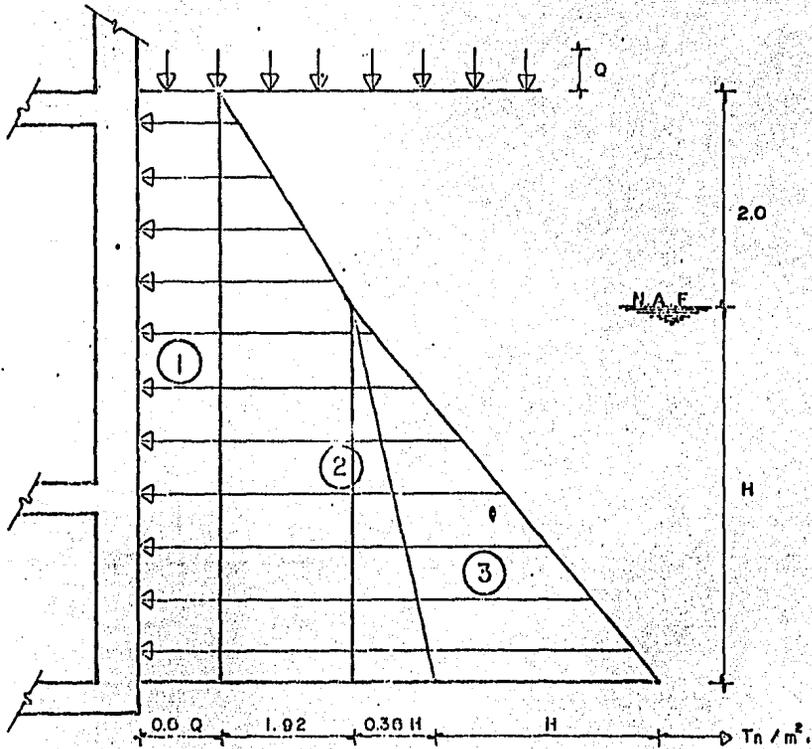
FIGURA 4.1 Continuación de la cimentación propuesta.



CORTE A-A'

NOTAS
Niveles, cota en cm.
Ver notas en el cuerpo
del informe.



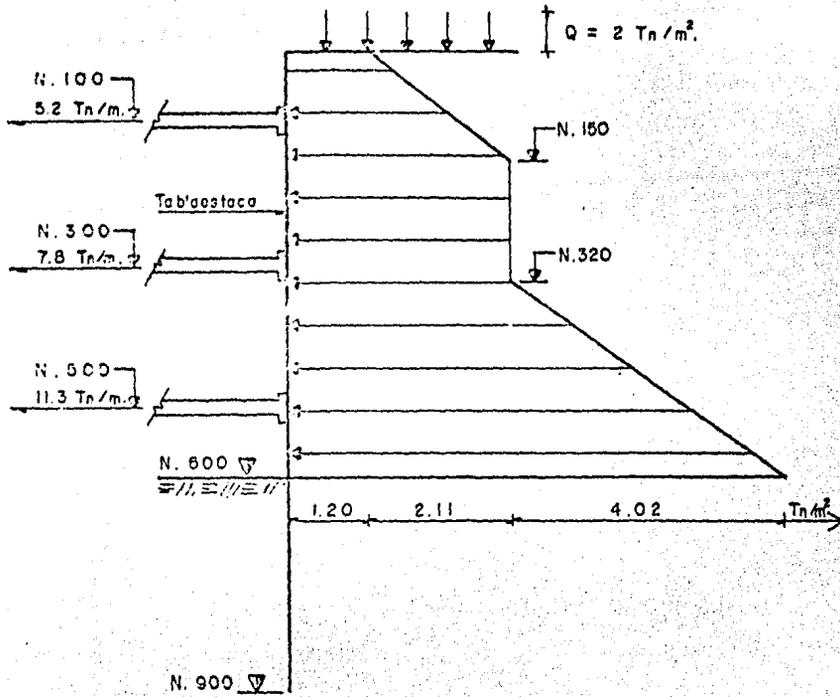


EMPUJES SOBRE MUROS DE CONTENCIÓN

Q = Sobrecarga en la superficie (Tn/m^2).

- ① Empuje debido a la sobrecarga.
- ② Empuje del subsuelo.
- ③ Empuje hidrostático.

FIGURA 4.2 Empujes sobre muros de contención.



* — Niveles en cm.

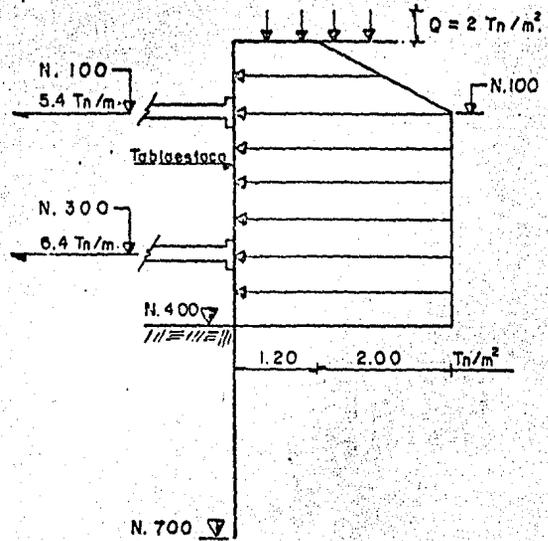
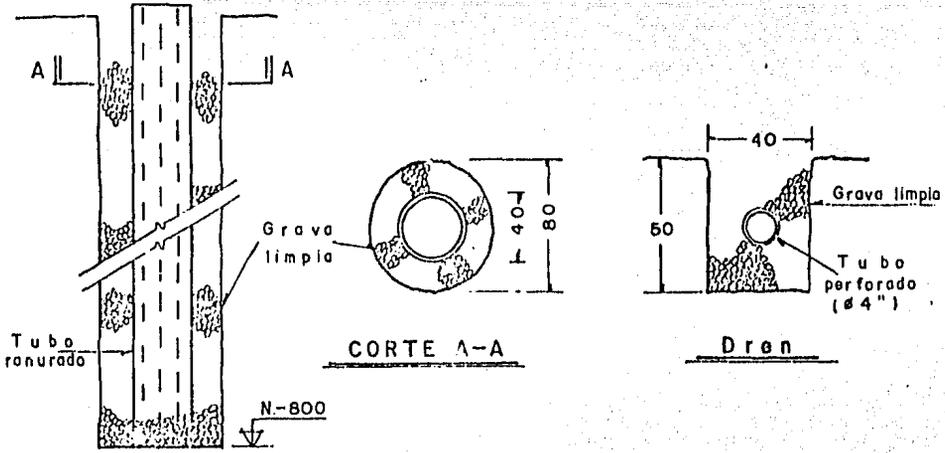


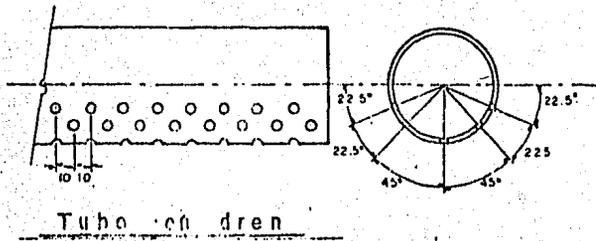
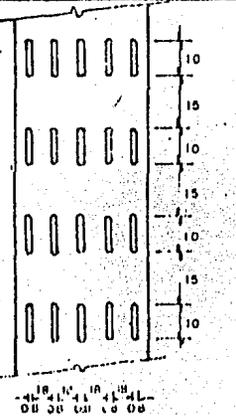
FIGURA 4.3 Empuje sobre tablaestaca y troqueles.



* -Cotas en cm.

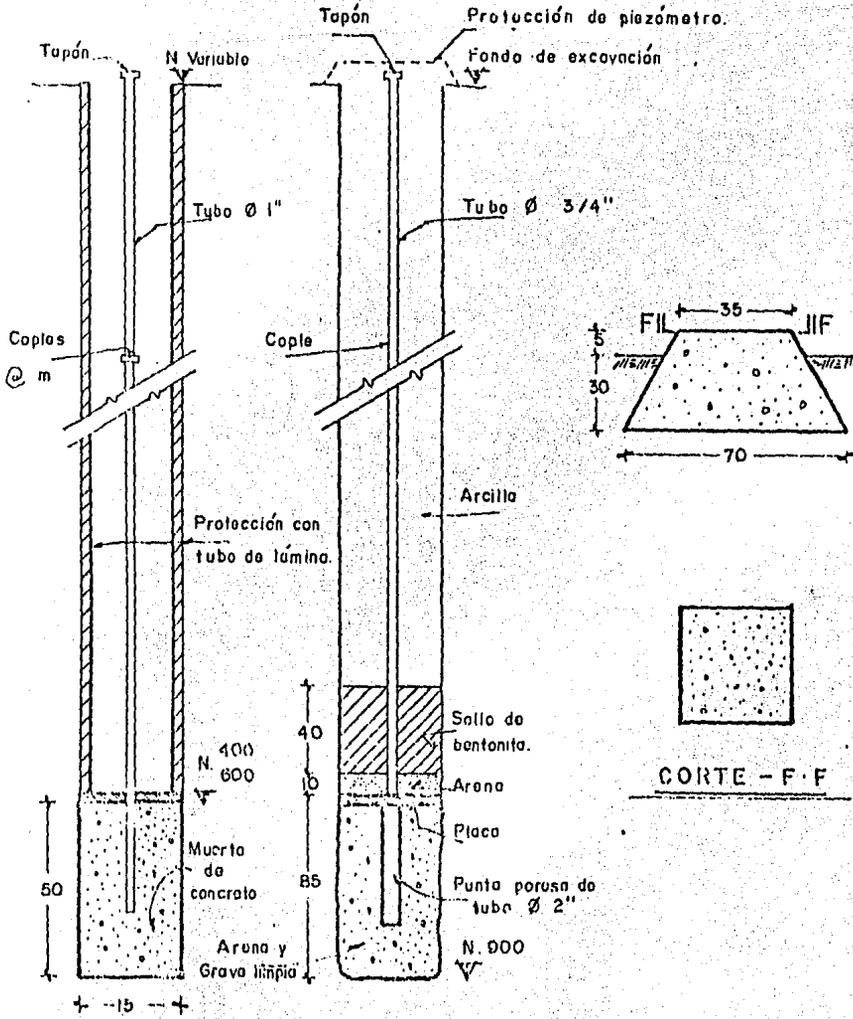
POZO DE BOMBEO

Tubo ranurado en pozo



NOTA. En los pozos, se colocarán bombas de tipo inyección -eyucción conectadas a una fuerza motriz central.

FIGURA 4.4 Sistema de bombeo.



BANCO FLOTANTE: PIEZOMETRO

* - Cotas en cm.

FIGURA 4.5 Elementos de control.

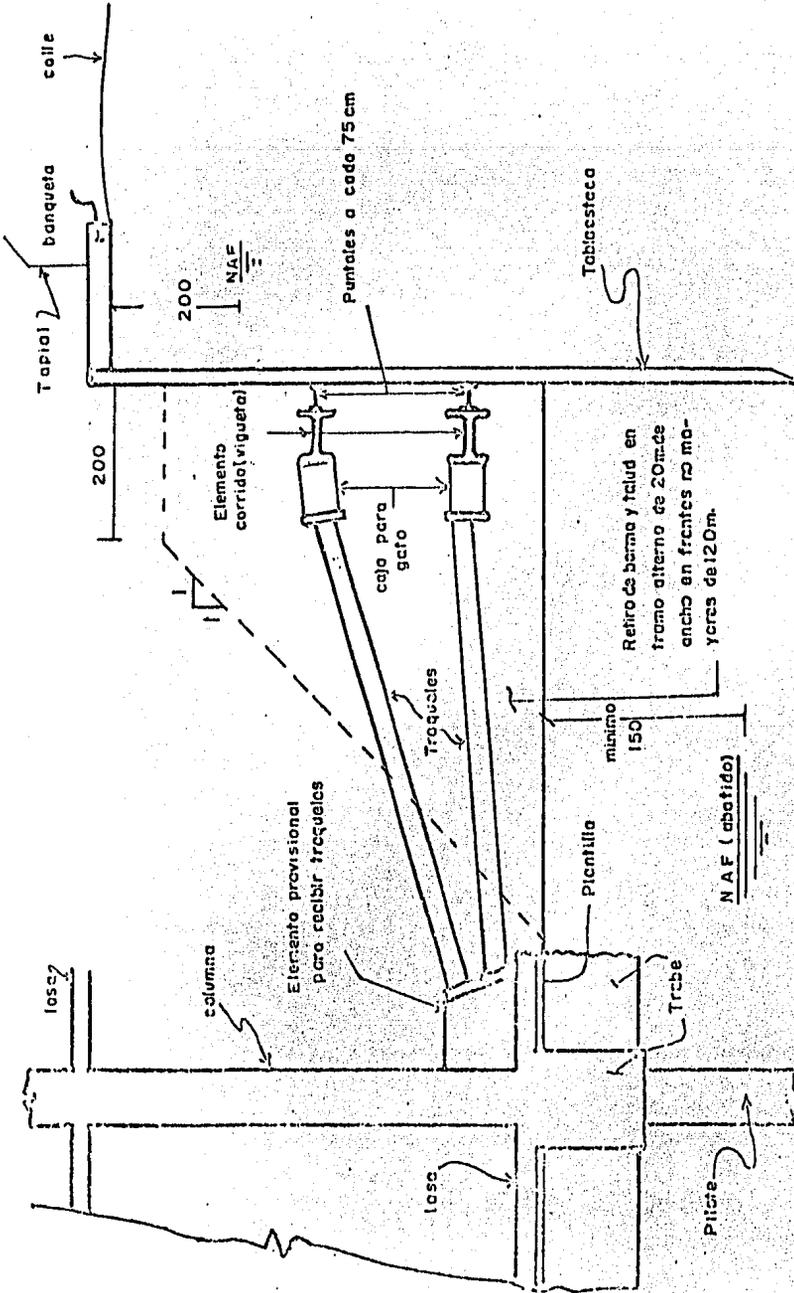
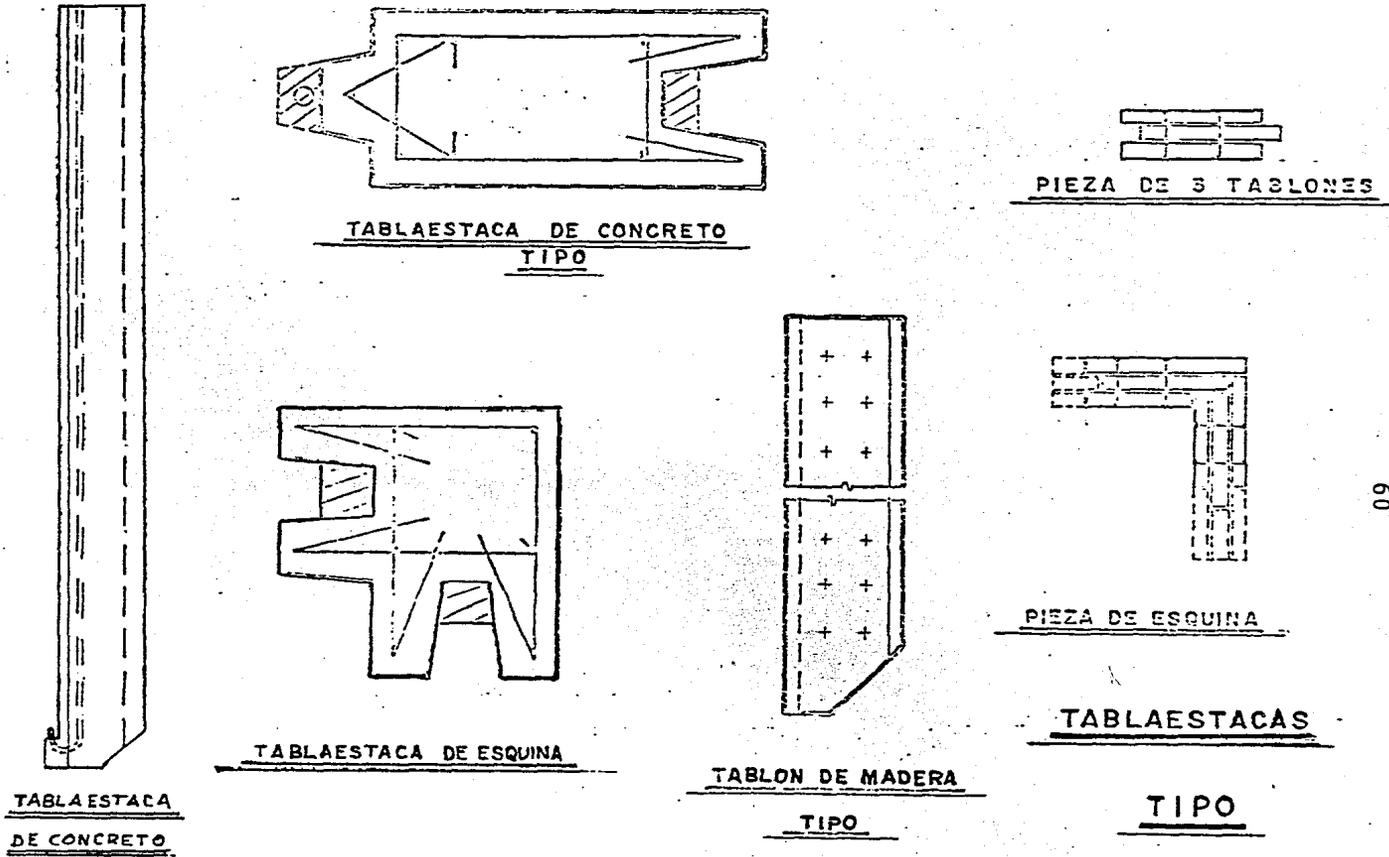


FIGURA 4.6 Excavación en zona colindante.

FIGURA 4.7 Tipos de tablaestaca propuestos.



3.5 EXPERIENCIA DE CAMPO.

Como casi siempre sucede, el procedimiento constructivo de cualquier proyecto, trata de prevenir hasta el más mínimo detalle para su desarrollo.

Pero existen problemas impredecibles que de alguna forma impiden el buen desarrollo de las obras en construcción. En este momento se requiere utilizar los conocimientos de Ingeniería para resolver estos problemas y poder continuar con la construcción de la obra, lo cual redundará en todas las áreas que involucra la Ingeniería civil, principalmente la seguridad del proyecto y la economía.

Estas soluciones deberán ser muchas veces rápidas y algunas veces se podrá y/o se deberá contar con tiempo suficiente para su elaboración.

Lo que a continuación tratare de exponer es un grupo de soluciones que se dieron en la construcción de un edificio alto en la zona del Lago del Valle de México a mayores y menores problemas que se presentaron en este:

PROBLEMA 1

Ya comenzada la obra en su etapa de cimentación, y conforme la excavación se acercaba a la colindancia del lado Norte del predio, se detecto que la atagüfa se encontraba fuera de sitio y que ésta invadía el espacio de cimentación y que reducía áreas en el nivel de sótano destinadas para la sub-estación eléctrica.

Este problema se vió más acentuado, al excavar el contratista más de lo debido en dirección de la tablaestaca, restándole apoyo a ésta, de tal manera que el respaldo del talud y de la berma no eran como se especificaba. Por lo tanto ya debilitado el respaldo la tablaestaca empezó a ceder más aún y a situarse fuera de sitio, invadiendo la superficie de construcción.

SOLUCION 1

Este problema se resolvió, demoliendo la corona de la tablaestaca a todo lo largo de la atagüfa, siendo la altura de la demolición aproximadamente de un metro.

Esto permitió que la trabe a nivel de planta baja tuviera el peralte proyectado y fuera situada en el lugar original de proyecto.

Por el lado exterior de la tablaestaca se hizo una excavación hasta el nivel de demolición de la corona de la tablaestaca, de tal manera que el paño exterior de la trabe de planta baja quedará en posición correcta como lo marcaban los planos.

Posteriormente se coló una plantilla en el fondo de esta excavación y se procedió a colocar el armado y el cimbrado, y finalmente su colado.

El armado de la tablaestaca que con la demolición quedó descubierto, se ligó a la trabe y quedó como parte integral de la estructura.

La desventaja de esta solución es que se tuvo que sacrificar mucho espacio interior del sótano, específicamente de la zona destinada a la sub-estación eléctrica.

La sección de la trabe es variable, teniendo la máxima en el punto en donde la tablaestaca se corrió más hacia el interior de la excavación.

Graficamente se muestra el problema y su solución en la figura 5.1.

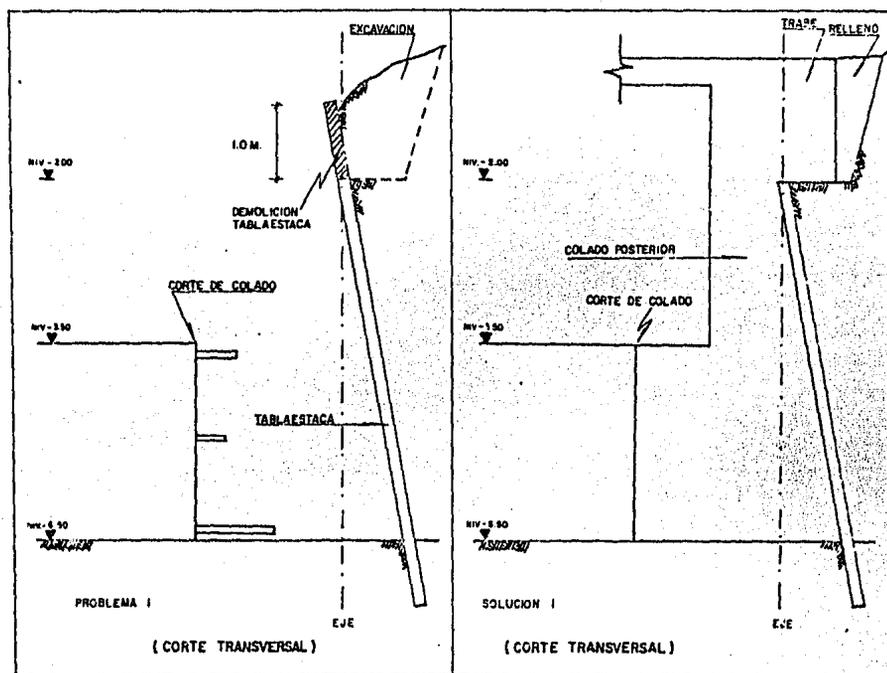


FIGURA 5.1 Planteamiento y solución del problema No. 1.

PROBLEMA 2

De ese mismo lado y debido al corrimiento de la tablaestaca, se encontraban tres - columnas (en los ejes B,C y E) cuyo trazo quedó fuera de la tablaestaca siendo la más crítica la situada en el eje C.

SOLUCION 2

En este caso, para la columna situada en el eje C, se procedió a construir un pozo indio, el cual consistía en habilitar 4 viguetas I.P.R. de 8.50 mts. de longitud - para ser hincadas.

A dos de ellas se les soldó ángulo de 4", de la manera como se muestra en la figura 5.2

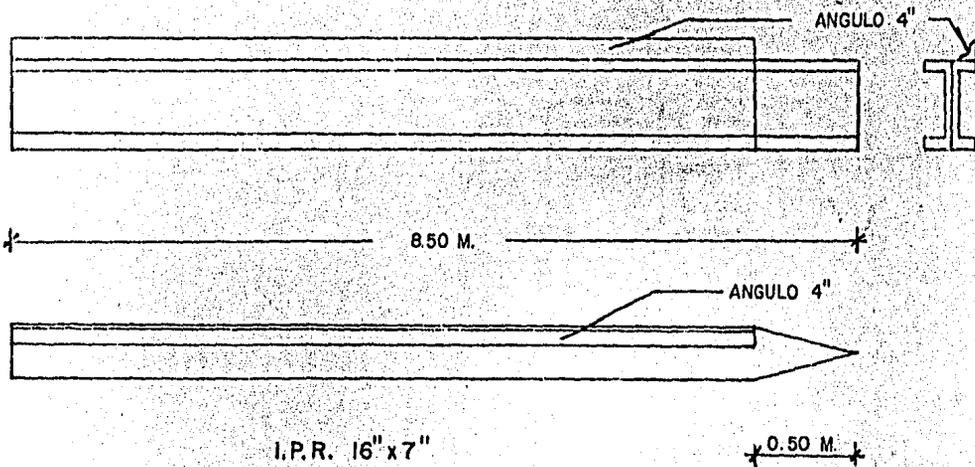


FIGURA 5.2 Viguetas I.P.R. para la fabricación de un pozo indio

La finalidad de este dispositivo, es que al hincarse las 4 viguetas, los patines - y los ángulos soldados formen un paño perimetral perfectamente simétrico, ya que posteriormente al hincado se procede a la excavación del pozo formado por las vi - guetas y simultáneamente se adema hasta la profundidad requerida con polines y ta - blones de madera.

En la figura 5.3 se muestra la forma en que deben de colocarse las piezas antes mencionadas.

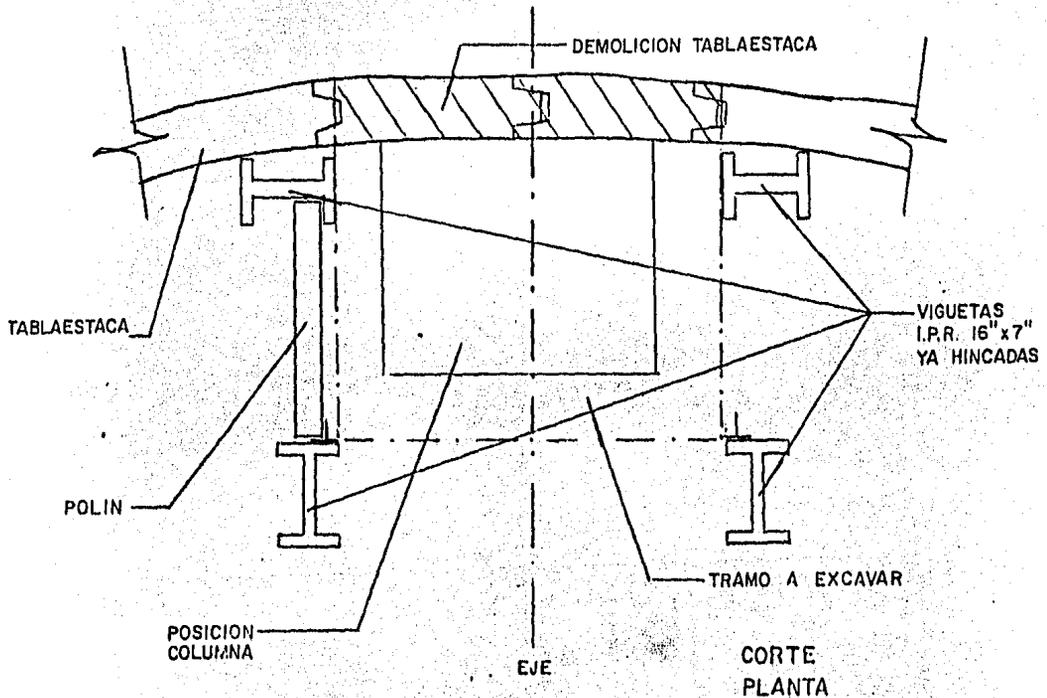


FIGURA 5.3 Planta de un pozo indio.

Después de haber excavado hasta el nivel deseado dentro del pozo indio, se procede a la demolición de la tablaestaca, ya que por este lugar pasará el armado de las -
contratraves de cimentación a la columna para quedar ligadas.

En el caso del edificio en cuestión, se ranuró el tablaestacado, descubriendo el -
armado de éste, inmediatamente se cortó el armado y se extrajo con una grúa telesco-
pica en dos tramos.

El extraer los bloques de concreto de la tablaestaca fue positivo, ya que se evitó tener que demoler completamente el área por la cual pasaría la contratrabe de cimentación.

Este trabajo dió muy buen resultado, ya que se ganó mucho tiempo y el costo no fue excesivo; únicamente se tuvo que emplear más concreto para esta columna en el tramo de cimentación a planta baja, porque el mismo pozo indio sirvió como cimbra muerta, aumentando la sección de éste.

Para las columnas en los ejes B y E se abrieron cajas en la tablaestaca ya que sólo el armado de éstas se bayoneteo pasando por el hueco en la tablaestaca.

Esto se pudo realizar debido a que se rediseñaron las columnas, ya que por haberse bayoneteado se creaba una excentricidad de carga.

El cambio de posición de columnas se realizó a partir del nivel de losa tapa de cimentación hasta el nivel de planta baja, como se muestra en la figura 5.4.

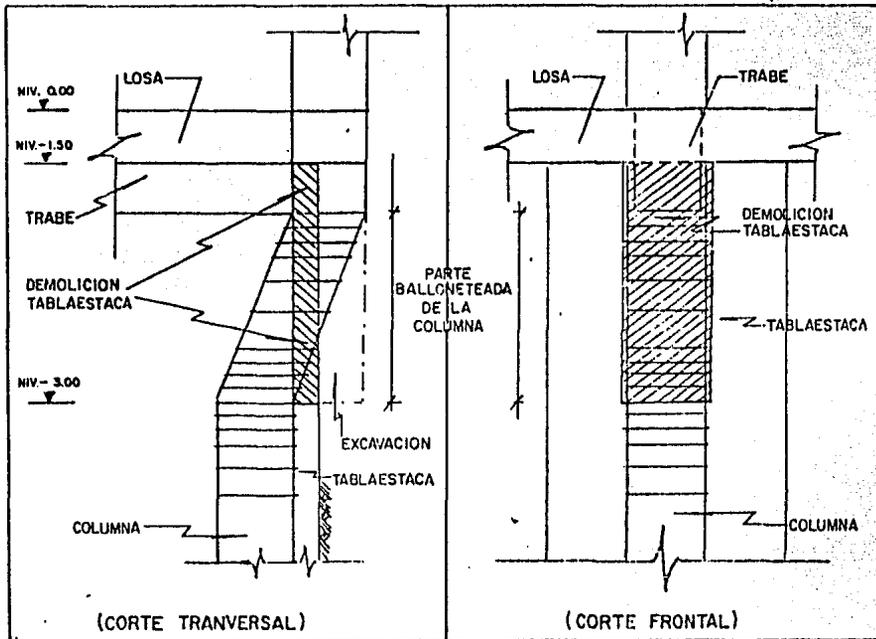


FIGURA 5.4 Cortes de la solución dada a las columnas en los ejes B y E.

Durante las demoliciones en la tablaestaca se presentó un problema: La filtración de agua del nivel freático exterior hacia la excavación.

Para su solución se hicieron cárcamos de bombeo y se instaló una bomba sumergible - dentro de ellos. El resultado fue bueno ya que las zonas de trabajo se mantuvieron secas y permitió trabajos posteriores de armado y colocación de concreto.

Para que funcionarán estos carcamos se hicieron pequeños canales de escurrimiento de aproximadamente 5 cms. de diámetro y que guiaban el agua que aparecía hacia los carcamos de bombeo. Toda esta instalación era provisional mientras se realizaban los trabajos, ya que el sistema de bombeo de pozos profundos seguía funcionando.

PROBLEMA 3

En este edificio existe un muro curvo de concreto aparente de la fachada Sur. Este muro presentaba el mismo problema que en los dos casos anteriores: La atagüa se en contraba dentro del trazo del muro, estando hasta 50 cms. en el punto más crítico.

SOLUCION 3

En este caso se procedió a tratar de correr la atagüa por medio de gatos hidráulicos. Para esto, se implementó un sistema de troquelamiento provisional que consistía en 4 troqueles y una viga madrina de apoyo. Los troqueles apoyados en la viga madrina - apuntalaban directamente sobre la tablaestaca.

Se procedió a demoler el machimbrado a cada tercer tablaestaca y a cortar el armado que quedaba descubierto producto de esta demolición.

De igual manera, se demolió en sentido horizontal la atagüa a la altura de la losa tapa de cimentación, sin hacer corte de este armado, ya que el mismo funcionaría a manera de "bisagra", cuando la tablaestaca se empujara. Al mismo tiempo, se hizo una excavación tras la atagüa de aproximadamente 1.00 metro de ancho y de 3 a 4 mts. de profundidad, a lo largo del trazo del muro curvo. Esto se hizo con el fin de permitir el libre movimiento de los grupos de tablaestacas que se iban a empujar hacia el exterior de la construcción.

Cuando se hizo funcional el dispositivo de apuntalamiento, accionando los gatos - hidráulicos, no se tuvo ningún problema, ya que la tablaestaca no presentó resistencia alguna hacia el empuje que generaba los gatos hidráulicos.

Cuando se terminó de empujar los grupos de tablaestaca -y sólo así se pudo corregir la atagüa, ya que las contratraves de cimentación estaban coladas- se bayonetearon las varillas de acero del armado estructural el cual se había reforzado más debido a la modificación hecha, para que el muro curvo tomara el trazo correcto a partir - del nivel de planta baja.

En la figura 5.5 se muestra graficamente la solución a este problema.

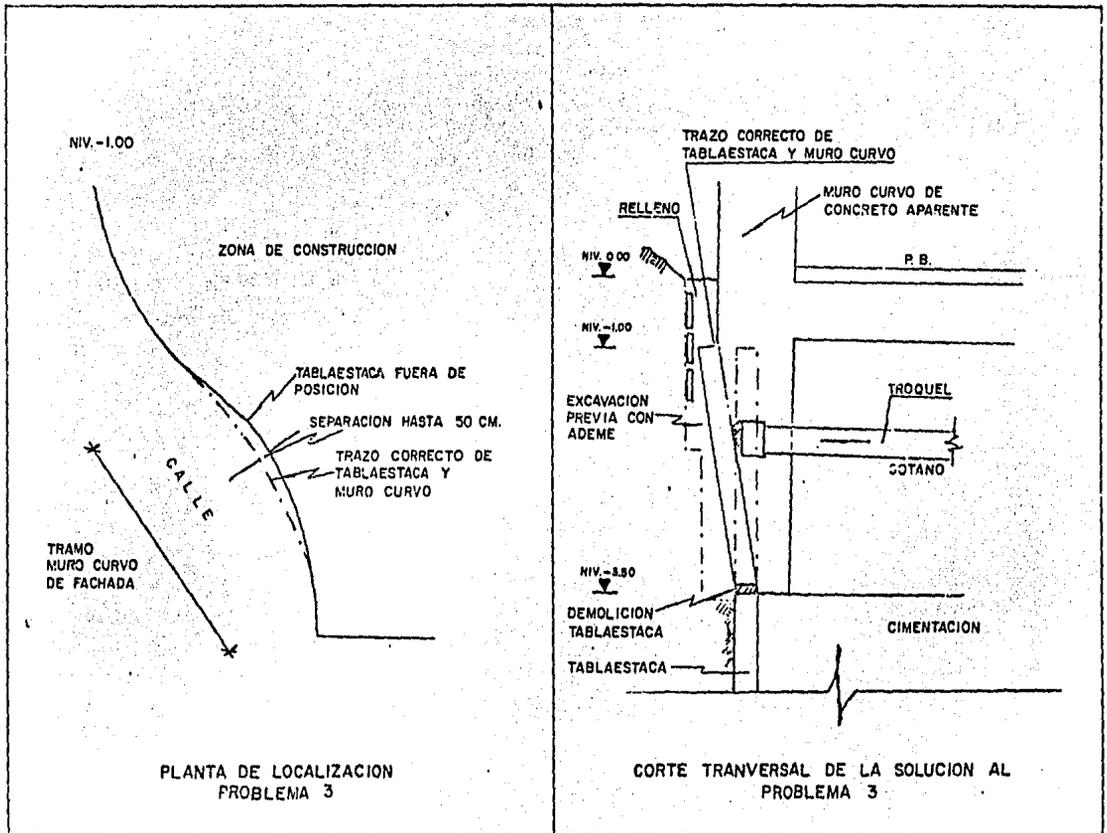


FIGURA 5.5. Problema y solución al muro curvo.

PROBLEMA 4

En el lado poniente del predio de la construcción, la tablaestaca se encontraba fuera de trazo. La longitud en planta de este trazo era de aproximadamente 30 mts.. En este caso se tomó otro tipo de solución, por la gran longitud del trazo erróneo.

SOLUCION 4

Primeramente se tomó la decisión de excavar detrás de la tablaestaca. Esto se pudo llevar a cabo, gracias a que el terreno colindante es un estacionamiento público y el dueño de éste prescindiendo de un área de éste, rentó la parte en donde la tablaestaca tenía problema de corrimiento.

La excavación fue muy amplia, debido a que la máquina que hacía la excavación necesitaba un talud muy pronunciado, aproximadamente de 45° .

La profundidad de la excavación detrás de la tablaestaca se realizó hasta la misma profundidad a la que se realizó la excavación para la cimentación, esto debido a la forma en que debía ranurarse la tablaestaca.

El ranurar la tablaestaca, se realizó con rompedoras neumáticas. De igual forma que en el problema No. 3, se formaron grupos de tablaestacas, ya que el trazo por alinear era muy pronunciado, haciéndose cortes verticales en el machimbrado y horizontales en el fondo de la excavación.

Es importante mencionar que el sistema de apuntalamiento o troquelamiento original quedó inmóvil en esta operación, aprovechándose éste como apoyo para mover todo el trazo de tablaestacas que presentaba problema, asegurándose con un refuerzo vertical de tubo negro.

Ya hechas todas las ranuras se empezaron a mover los grupos de tablaestaca antes mencionados, no presentándose ningún problema, ya que con la excavación se eliminaron todos los esfuerzos generados por el mismo material excavado en la tablaestaca. Las tablaestacas se movieron por medio de gatos hidráulicos.

Después de colocadas las tablaestacas en la posición solicitada, se procedió a rellenar la excavación hecha, dejando el estacionamiento nuevamente en condiciones de uso. Este problema se resolvió aproximadamente en un mes de trabajo.

Este problema y su solución se muestran en la figura 5.6.

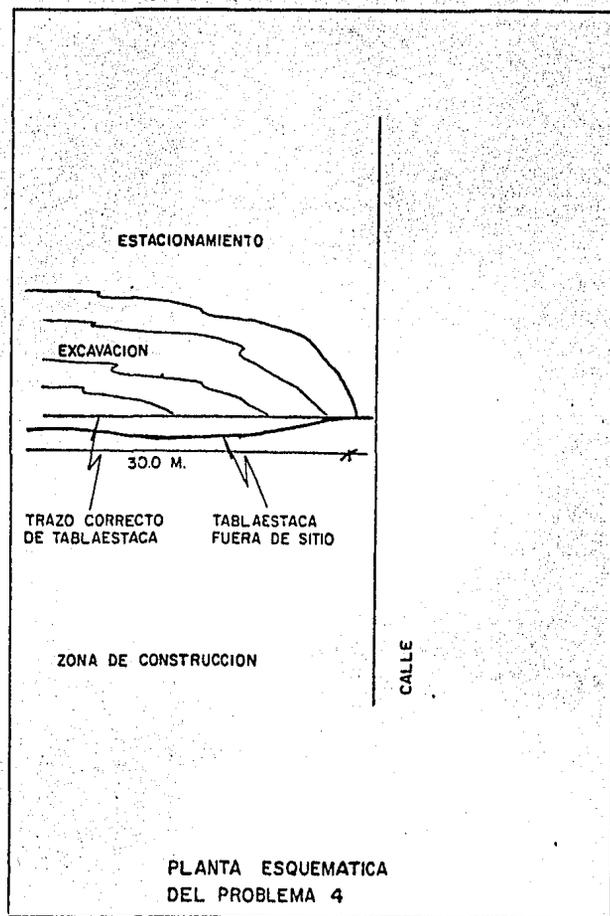


FIGURA 5.6

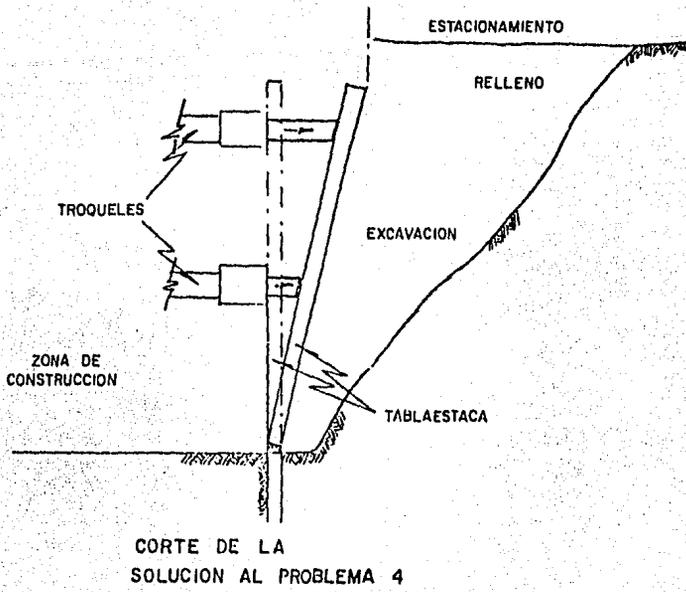


FIGURA 5.6 CONTINUACION.

3.6. REPORTE FOTOGRAFICO

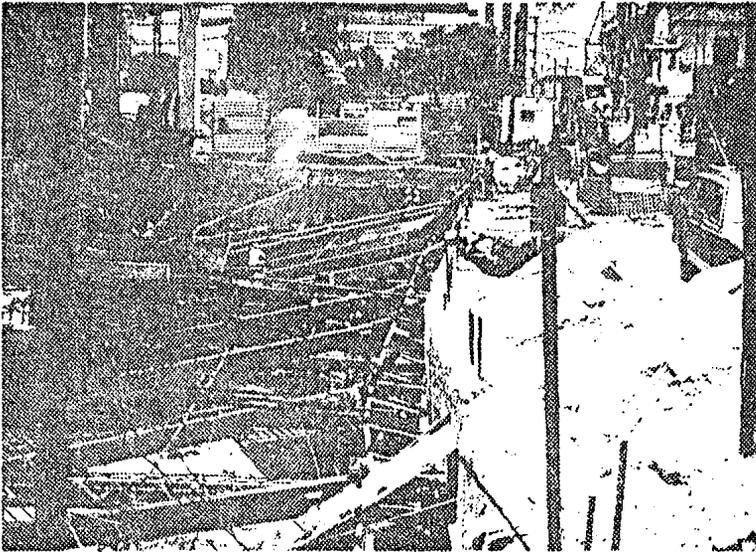


FOTO # 1 Vista general del movimiento que sufrió la tablaestaca tratado en el -
problema No. 1 del tema 3.5.

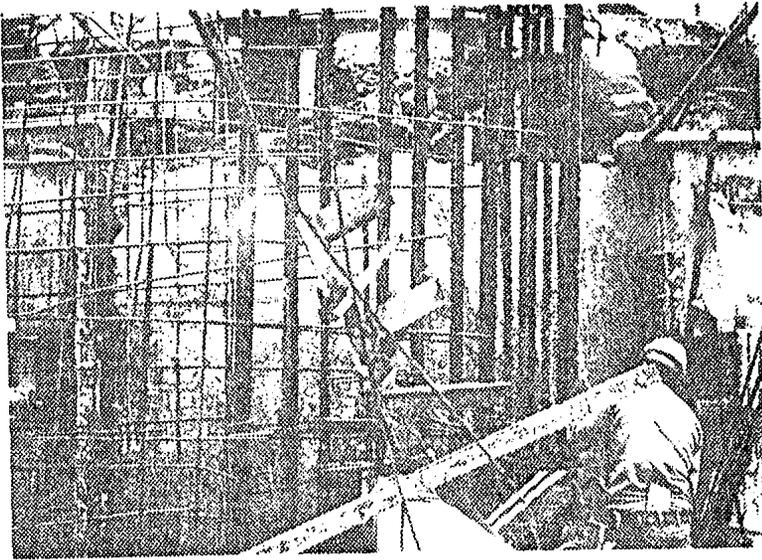


FOTO # 2 Se muestra la manera como fueron hechas las demoliciones del -
machimbrado de la tablaestaca en la zona del muro curvo.
(PROBLEMA 3).



FOTO # 3 El tramo de la tablaestaca ya movido, para el trazo correcto -
del muro curvo.
(PROBLEMA 3).

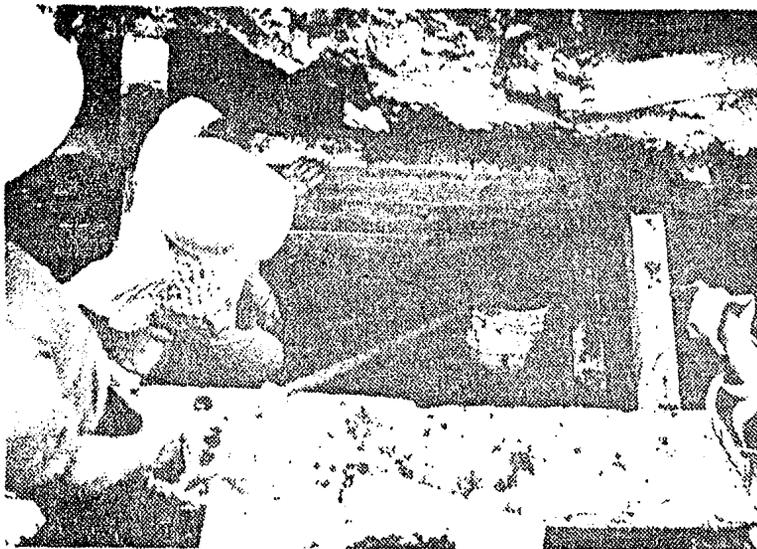


FOTO # 4 Ademe provisional y excavación a mano en la parte trasera de la tablaestaca en la zona del muro curvo. (PROBLEMA 3).

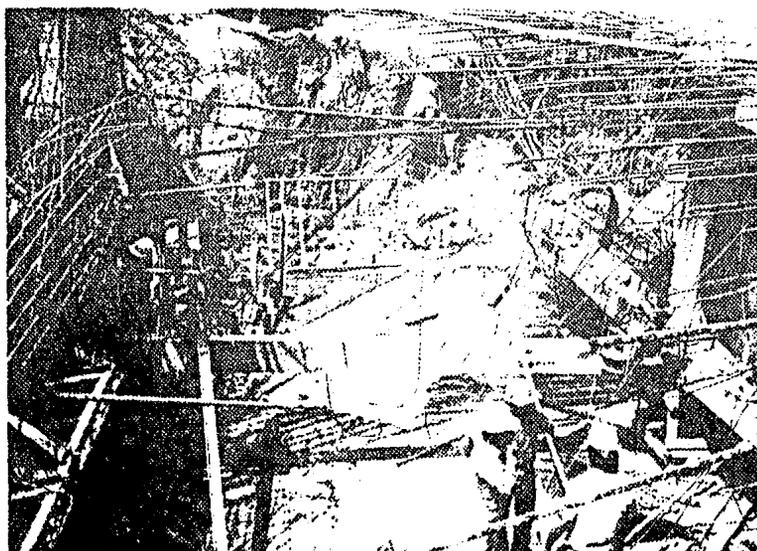


FOTO # 5 Empuje para mover la tablaestaca en la zona del muro curvo. (PROBLEMA 3).

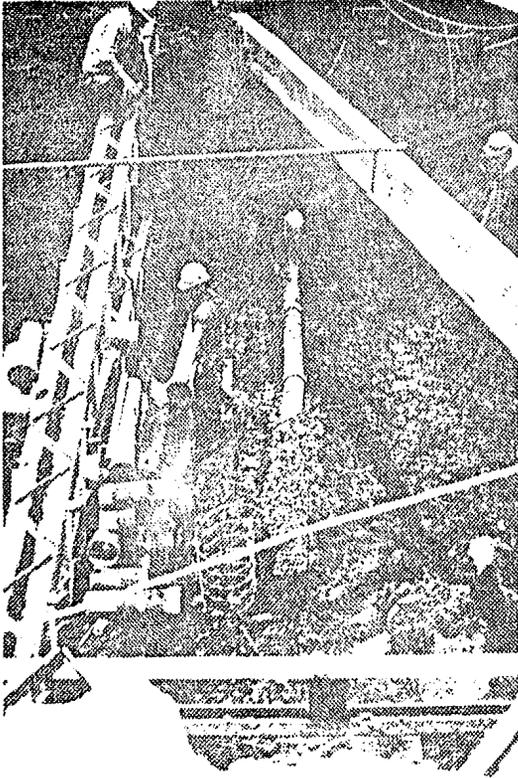


FOTO # 6 Colocación sistema de drenes para el bombeo por medio de pozos -
profundos.



FOTO # 7 Cárcamo de bombeo provisional, para evitar encharcamientos.

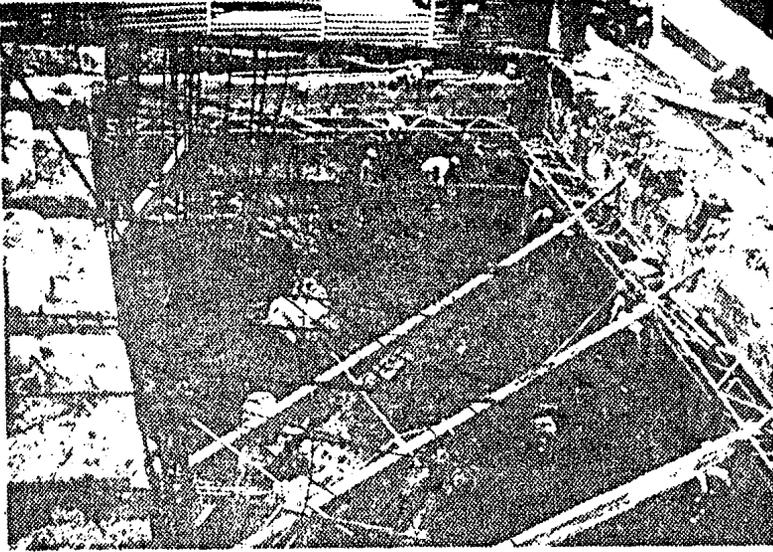


FOTO # 8 Excavación a mano para instalar sistema de apuntalamiento.



FOTO # 9 Vista aérea del apuntalamiento en la esquina Norte y Poniente de la construcción.

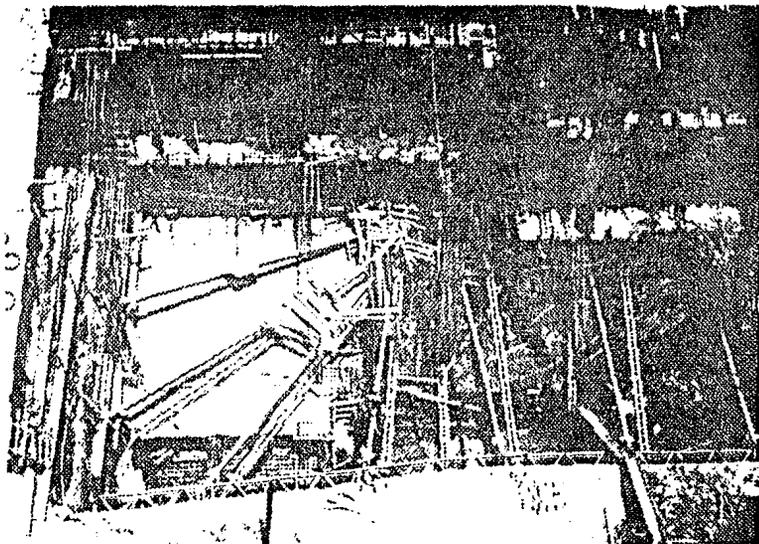
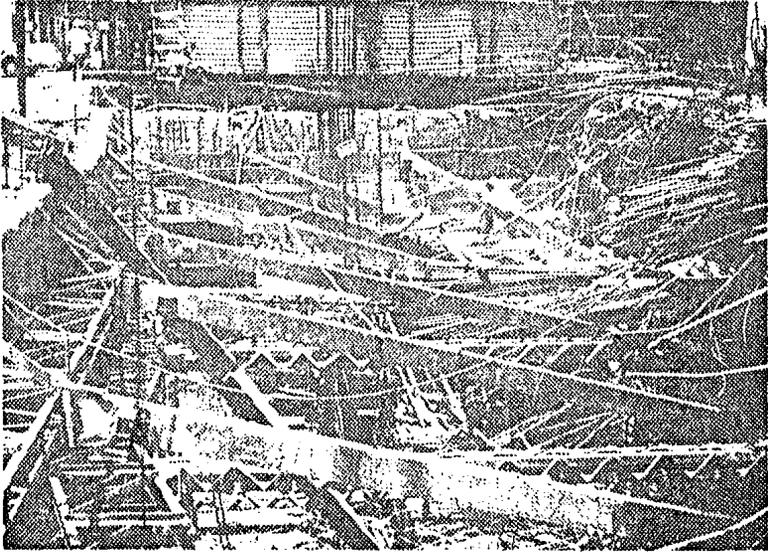
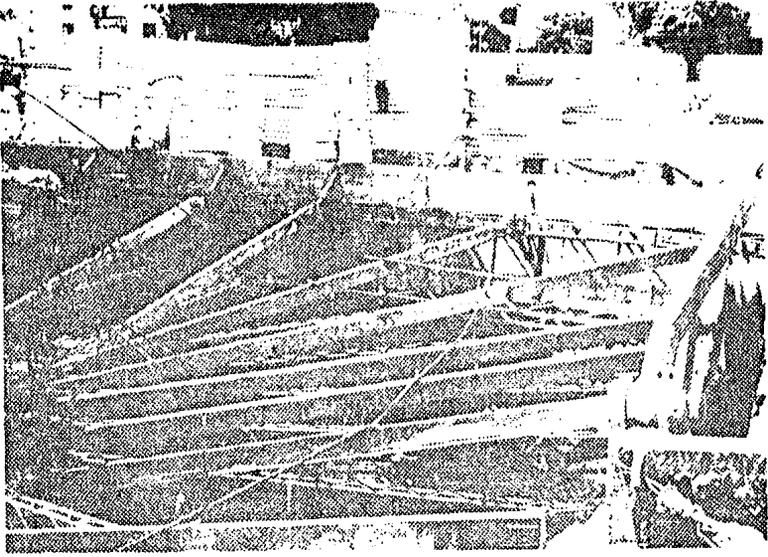


FOTO # 10 Vista aérea del apuntalamiento en la esquina Norte y Oriente de la -
construcción.



FOTOS # 11 y 12 Vistas generales del apuntalamiento en 2 diferentes partes de la obra.

TEMA 4

CONCLUSIONES.

4.1

Conclusiones.



4.1 CONCLUSIONES:

Una cantidad substancial de información empírica ha sido obtenida durante la última década. Consecuentemente, nuestra comprensión de los movimientos y de las fuerzas asociadas con las excavaciones hechas a cielo abierto ha mejorado notablemente.

Con la observación de los movimientos laterales del tablaestacado se ha obtenido información importante. Esta información ha demostrado claramente, por lo menos en suelos arcillosos, que mientras se hagan las excavaciones se generarán movimientos en las tablaestacas, manifestándose éstos siempre por debajo del último nivel de troquelamiento colocado, o por debajo del nivel de fondo de la excavación. La magnitud de los movimientos depende estrictamente de la naturaleza de los suelos y de la profundidad de la excavación.

Más aún, creo que es importantísimo que la persona encargada de desarrollar el sistema constructivo deba conocer las características o propiedades estratigráficas del subsuelo, para que éste se adecue perfectamente a las características particulares de cada obra.

Los movimientos laterales de la tablaestaca son significativos, ya que están asociados con los asentamientos aproximadamente en un volumen similar. Es por esto que se deben evitar estos movimientos, estudiando el mejoramiento tanto de las paredes de contención, como el sistema de apuntalamiento, haciendo las primeras más resistentes a los empujes generados en ellas, como adecuando correctamente el segundo a las necesidades de la excavación.

Desafortunadamente se ha obtenido poca información con respecto a la distribución de asentamientos en relación a la distancia que existe a la orilla de la excavación. Este tipo de información es necesaria para tomar decisiones racionales acerca de la necesidad de reforzar estructuras adyacentes.

Una idea muy clara, es que cuando se realizan excavaciones profundas para construcciones altas, se hincan pilotes. Generalmente para el hincado de estos pilotes se hacen excavaciones previas, por las cuales se introducen los pilotes. El nivel de hincado de la parte más alta del pilote (corona) queda apenas del orden de 50 cms. a 1.00 metro por encima del futuro fondo de excavación.

El volumen removido en la perforación previa entre la corona del pilote hincado - y el nivel de superficie no llega a rellenarse, provocando una discontinuidad en la parte del subsuelo por excavarse. Estos huecos pueden producir un reacomodo del - subsuelo a corto plazo, ya que el número de pilotes es grande.

Para evitar esto, el autor propone un relleno para estos huecos con material apropiado e inmediatamente después del hincado, para que el subsuelo gane nuevamente su continuidad. De otra manera la tablaestaca empezará a deformarse antes de que el sistema de apuntalamiento pueda colocarse, provocando asentamientos en las zonas colindantes.

En suelos sin cohesión los asentamientos pueden ocurrir como una consecuencia de pérdida o flujo de suelo hacia la excavación. Por esto es importante controlar el nivel freático, para mantener los asentamientos al mínimo.

Para controlar el nivel freático no necesariamente se debe bombear continuamente, - ya que esto provocaría una mayor influencia de asentamientos en las zonas adyacentes a la excavación. Definitivamente se deberán proponer un bombeo controlado, en el - que se regule el horario de este.

También se aprecia que el alzamiento del material debajo del nivel de fondo de excavación puede ser una razón de pérdida de suelo y asentamientos en la periferia de la excavación. Esto ocurre generalmente en arcillas. Este fenómeno puede presentarse también a consecuencia de permitir un exceso de presión hidráulica que puedan desarrollarse por debajo del fondo de excavación.

Como comentario final podemos afirmar que existen procedimientos para prevenir los - efectos indeseables de una excavación profunda en un depósito arcilloso blando como el que observamos en la zona del Lago de la Ciudad de México. Estos procedimientos se refieren a los muros de ademe perimetrales, el sistema de troquelamiento, el bombeo del agua del subsuelo y otros.

De acuerdo a lo tratado en los capítulos anteriores se puede diseñar el sistema de ademe y de troquelamiento, y se pueden elaborar especificaciones para el procedimiento constructivo de la excavación que garanticen un buen comportamiento durante el - proceso constructivo y posteriormente durante el funcionamiento de la obra ya terminada.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Raúl J. Marsal y Marcos Mazari. "El Subsuelo de la Ciudad de México" (Ilustraciones), Publicaciones U.N.A.M., Facultad de Ingeniería, - México 1959.
- 2.- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica" 2a. Edición, Editorial "El Ateneo", España 1973.
- 3.- Clarence W. Dunham. "Cimentaciones de Estructuras". MC Graw-Hill Book Company, México 1980.
- 4.- Ralph B. Peck, Walter E. Hanson, Thomas H. Thornburn. "Ingeniería de Cimentaciones". 2a. Edición, Editorial Limusa, México 1982.
- 5.- Proceedings of the Sewenth International Conference on Soil Mechanics - and Foundation Engineering "State of the Art. Volume". Editado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., México 1969.
- 6.- "Estudio de Mecánica de Suelos para un edificio alto en la zona del Lago del Valle de México." Elaborado por Ingeniería Experimental, S.A., - México 1981.