

12
2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

SISTEMA DE INSTRUMENTACION EN LA
CONSTRUCCION DEL CAJON DEL METRO
LINEA "A"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ENEP



ARAGON

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1994.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " SISTEMA DE INSTRUMENTACION EN LA CONSTRUCCION DEL CAJON DEL METRO LINEA 'A' ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 18 de mayo de 1994
EL DIRECTOR

M en T CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



[Firma manuscrita]

[Firma manuscrita]

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Gilberto García Santamaría González, Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'11a.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de Tesis, Sr. Ingeniero Gilberto García Santamaría Gonzalez, por su valiosa colaboración y apoyo que me brindo para la realización del presente trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón y, a los catedráticos que me brindaron los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

Gracias,

José Luis De La Cruz Urzúa

AGRADECIMIENTOS

A mi adorada esposa: Herlinda.

Gracias por darme todo tu apoyo, ayuda, comprensión y amor para alcanzar este anhelado triunfo por los dos.

Gracias por tus sacrificios, por el aliento que me has dado durante todo el tiempo que ha durado este trabajo.

Hoy comparto esta dicha y felicidad contigo, esperando así el beneficio para nuestra familia.

A ti esposa mía, te dedico este trabajo con especial amor. Gracias.

A mi amada hija: María del Socorro.

Te dedico el presente trabajo con todo mi amor, pensando que cuando leas estas notas te llenes de orgullo y hagan sentir el deseo de superarte en esta vida y de alcanzar las metas que te propongas

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por haberme dado la vida para así servir a mis congeneres y a mi mismo.

A mis padres: Pedro y Francisca.
Por darme su carino y apoyo.
Porque de una u otra forma supieron sembrar en mí el estudio y la superación personal; a ustedes les dedico este trabajo con mucho amor.

A mis hermanos: Por ser un estímulo de superación y dedicación.

Rodrigo, como un gesto de agradecimiento por su carino y apoyo.

Demetrio, porque ahora puedes ver la luz que encendiste un día y nunca se apago; en lo más profundo de mi corazón te he de agradecer siempre todo lo que esto significa para mí.

Miguel A., por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios, hoy comparto contigo este gran momento.

Francisco, porque no esta lejos el día en que vivas este momento como yo lo estoy viviendo.

Isabel, por el apoyo que me brindo durante mis estudios.

A mis sobrinos:

Christian, Ma de los Angeles y R. Carlos, como un estímulo a su persona.

A mis suegros: Federico y Juana.
Por su apoyo y confianza.
Con todo respeto y cariño
a ustedes les dedico este trabajo
como una muestra de mi agradecimiento.

A Leticia, Javier y sus familias como un estímulo de
superación para sus hijos:
Erick Giovanni, Rafael, y Federico, Abrahan y Viviana,
respectivamente.

A Ma Antonieta, como un estímulo de superación.

A mis compañeros de generación (1986-1990) como muestra
de amistad, por compartir juntos ideas y pensamientos que
fortalecieran nuestros conocimientos.

José Luis

SISTEMA DE INSTRUMENTACION EN LA CONSTRUCCION

DEL CAJON DEL METRO LINEA "A"

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

- I. SISTEMA DE INSTRUMENTACION
- II. APROVECHAMIENTO SISTEMATICO PARA LA PLANEACION Y MONITOREO DE PROGRAMAS USANDO INSTRUMENTACION GEOTECNICA
- III. EVALUACION DE LOS PARAMETROS MEDIDOS EN EL SISTEMA
- IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- V. MEDIDAS CORRECTIVAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

I N D I C E

Pág.

Introducción	
Antecedentes	3
Zonificación geotécnica	23
Necesidad del Sistema de Instrumentación	35
I. Sistema de Instrumentación	39
I-1. Definición del Sistema de Instrumentación	40
I-2. Función y objetivos de la Instrumentación	41
II. Aprovechamiento sistemático para la planeación y monitoreo de programas usando instrumentación geotécnica	64
II-1. Algoritmo de John Dunicliff	82
II-2. Programa de instalación	91
II-3. Programa de lecturas	93
II-4. Factores que influyen en la toma de lecturas	94
III. Evaluación de los parámetros medidos en el sistema	97
III-1. Presión de poro	99
III-2. Abatimiento del nivel freático	107
III-3. Movimientos verticales	122
III-4. Movimientos horizontales	156
IV. Procedimiento constructivo del cajón	159
V. Medidas correctivas durante el proceso constructivo	168
V-1. Reducción del tiempo de bombeo previo a la excavación	169

I N D I C E

V-2.	Aumento y/o disminución de los pozos de bombeo	171
V-3.	Reducción de los avances de excavación	173
V-4.	Empleo de lastre	174
	Conclusiones	177
	Bibliografía	

I N T R O D U C C I O N

A partir de la década de los 70's, con la construcción de la red de líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro --- (S.T.C.M.), se tuvo la necesidad de llevar un control de la estabilidad y seguridad en las estructuras de la obra en general; dada la importancia y magnitud de cada una de ellas.

Asimismo, por las características físicas y mecánicas del -- subsuelo sobre las cuales se desplanta la cimentación del ca jón del Metro.

Para poder realizar este control, el Ingeniero Civil se ha - valido de los recursos con que cuenta, en especial de la Topo grafía, de la Geotécnia y Mecánica de rocas. Estas discipli- nas en conjunto nos ayudarán a comprender y definir la inte- racción suelo-estructura que sera monitoreada mediante una - serie de instrumentos colocados en lugares propicios para su control.

El control de las estructuras durante el procedimiento cons- tructivo y el de las condiciones factibles de la excavación para el cajón, depende en gran medida del empleo de un Siste- ma de Instrumentación.

Este Sistema de Instrumentacion nos ayudará a prevenir los - posibles riesgos de falla de cualquiera de estos elementos - estructurales.

Durante la realización de las construcciones de las líneas -- del Metro de la Ciudad de México, se han podido obtener las características físicas y mecánicas del subsuelo del Valle - de México, mediante las diferentes tipos de sondeos y mues- treos que se han realizado, aportando así, elementos impor- tantes para la interpretación de las condiciones prevalecien- te de cada uno de los estratos en estudio.

Con base en estos estudios y con la ^x experiencia obtenida du- rante la construcción de la Línea "A" Pantitlán-La Paz en re- ración a la aplicación del Sistema de Instrumentación para - los tramos Deprimidos Pantitlán-Agrícola Oriental, Acatitla- Sta. Martha, Sta. Martha-Los Resyes y los Reyes- La Paz; se ha realizado este trabajo que tiene por objetivo específico dar a conocer lo que un Sistema de Instrumentación, sus fun- ciones y las características de los instrumentos utilizados, así como la evaluación e interpretación de los parámetros ta- les como la presión de poro, el abatimiento del nivel de --- agua fráticas (N.A.F.), movimientos verticales (expansión --

y asentamientos diferenciales) y además, los desplazamientos horizontales.

Así también se da a conocer la importancia que representa la utilización de este sistema en la construcción del cajón del Metro y dejar claro que no es un sistema único para este tipo de obra.

Se pretende que este trabajo de tesis sea una base, una ayuda para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, - para satisfacer algunos conocimientos posibles para su formación profesional; y que aprecien la magnitud e importancia de este tipo de Sistemas.

Y en especial para aquellos profesionistas que estén relacionados con las áreas de la Mecánica de Suelos y la Construcción, por lo cual espero sea útil este trabajo.

ANTECEDENTES

ZONIFICACION GEOTECNICA

Para comprender la naturaleza geológica de los depositos sobre los cuales se edifica la Ciudad de México, es necesario considerar los siguientes tres marcos de referencia: El geológico general, El paleoclimático y El vulcanológico.

MARCO GEOLOGICO GENERAL

La cuenca del valle de México asemeja una enorme presa azolvada la cortina, situada en el sur; esta representada por -- los basaltos de la sierra de Chichinautzin, mientras que los rellenos del vaso estan constituidos en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por clásticos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes -- (fig. 1).

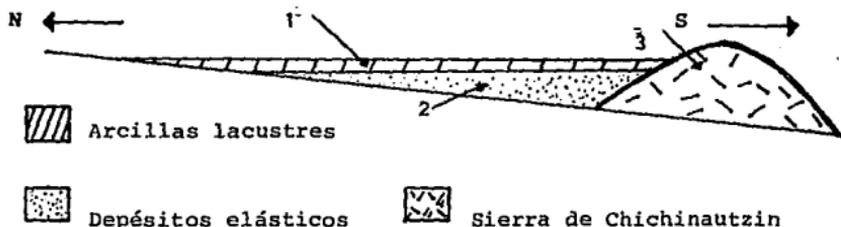


Fig. 1 Esquema geológico general del Valle de México

El conjunto de rellenos contiene además capas de ceniza y estratos de pómez producto de las erupciones volcánicas menores y mayores durante el último medio millón de años o sea -- en el Pleistoceno Superior, que es aproximadamente el inicio del cierre de la cuenca. También se reconocen en el citado relleno numerosos suelos producto de la meteorización de los depósitos volcánicos, fluviales, aluviales y glaciares; estos suelos, hoy transformados en paleosuelos, llevan el sello del clima en el que fueron formados, siendo a veces amarillos, producto de ambientes fríos, y otras veces cafés y -- hasta rojizos, producto de ambientes moderados a subtropicales.

Sobre este relleno ha crecido la Ciudad de México. Desde la fundación de Tenochtitlán, hace 600 años, los pobladores del lugar han tenido que enfrentarse a las características difíciles del relleno, hacia la mitad de este siglo, sus edificios

os y obras se fueron desplantando sobre los rellenos correspondientes al borde de la planicie, compuestos por sedimentos transicionales (fig. 2 y 3), y en lo que va de la segunda mitad de la centuria, la urbe, se ha extendido aún más, - revazando los límites de la planicie y subiendo a los extensos flancos occidentales de la cuenca, espacio cubierto por los abanicos y volcánicos de la sierra de la Cruces, conocido como las Lomas. Sus depósitos clásticos difieren en mucho de los depósitos arcillosos superficiales del centro de la cuenca.

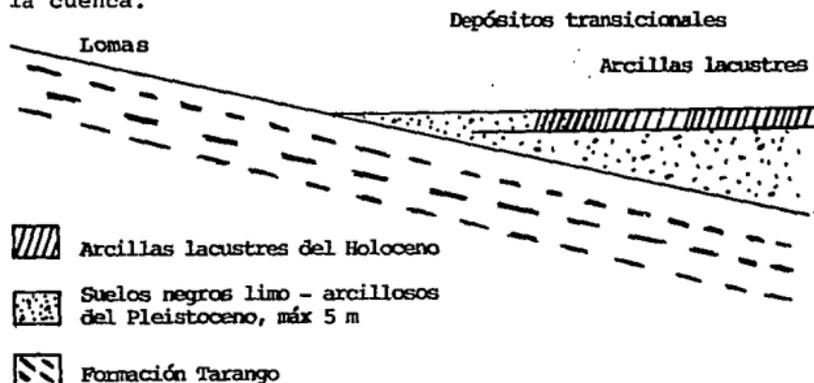


Fig. 2 Esquema geológico general de la transición Lomas - Planicie de un "Delta" aluvial

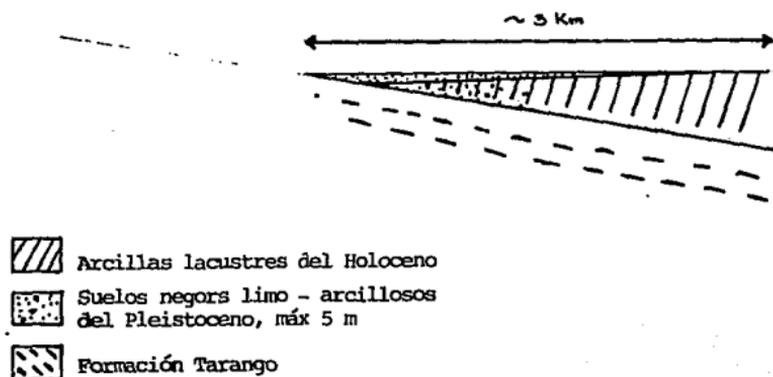


Fig. 3 Esquema geológico general de la transición Lomas - Planicie fuera de un "Delta" aluvial

MARCO PALEOCLIMATICO

El clima uniformemente desértico del Plioceno, en las latitudes de la Meseta Central Mexicana, cedió a climas cambiantes y extremos del Pleistoceno.

Las causas de esta mutación, que afectó a toda la tierra hace dos millones de años, aún se desconocen.

Principió el cambio con ligeras oscilaciones de períodos calurosos a fríos, los que se fueron acentuando hasta hace un millón de años (fig. 4), cuando se inició una gran glaciación (Nebraska), con una duración aproximada de 100, 000 años. Siguió un lapso de clima caluroso, el cual cedió renovadamente a un segundo período de glaciación prolongada (Kansas). Entonces se produjo un lapso extenso de clima caliente de unos 200, 000 años. Este intervalo se denomina en Norteamérica el Yarmouth o el Gran Interglacial; imperó hace 400, 000 a 600, 000 años en todo el orbe.

años antes de hoy		
10 ⁴		Holoceno - Reciente
80-10x10 ³	4a	Glaciación : Wisconsin 3 Avances
100-80x10 ³	3er	Interglacial Sangamón
300-100x10 ³	3a	Glaciación : Illinois 2 Avances
400-600x10 ³	2o	Gran Interglacial: Yarmouth
?	2o	Glaciación: Kansas
?	1er	Interglacial:
~900x10 ³	1a	Glaciación: Nebraska

Fig. 4 Períodos glaciales e interglaciales

Siguió un tercer período glacial (Illinois), para el cual se han podido determinar dos avances separados por un período con clima moderado. Esta tercera glaciación terminó al desarrollarse de nuevo un clima relativamente cálido a lo largo de 100, 000 a 80, 000 años; se le conoce como el Tercer Interglacial o Sangamón en Norteamérica. De nuevo se fue enfriando el clima, imponiéndose la cuarta glaciación, caracterizada por tres oscilaciones y dos estadales de clima moderado, tendiente a caliente, o sea el actual.

De lo anterior se deriva que la cuenca de México, desde su cierre en el sur por los basaltos de la sierra de Chichinautzin ha pasado por dos períodos de glaciación, el Illinois y el -

Winsconsin y dos interglaciales, el Yarmouth y el Sangamon, - tal como se describe en la figura 4.

Uno de los productos típicos acompañados de la existencia de glaciares son los suelos eólicos. Las llamadas brisas del valle y de montana que se desarrollan hoy en día en la cuenca, deben de haberse acentuado extraordinariamente durante los climas glaciares, transformándose en vendavales. Es casi seguro que estos fuertes vientos acarrearán importantes volúmenes de polvo -llamados loess- en el lago, se hidrataba fácilmente creando las conocidas arcillas lacustres del valle; por este fenómeno se interpreta que hoy las arcillas -- son producto principal de la alteración de los loess glacial

MARCO VULCANOLOGICO

Todo material contenido en los depósitos de la cuenca del -- valle de México es directa o indirectamente de origen volcánico.

De origen volcánico directo son, por ejemplo, las lavas de los domos pliocénicos del cerro de Chapultepec y del cerro del Tepeyac. Lo son también las lavas, brechas, tezontles y cenizas del Penon del Marqués, así como las de la Sierra de Santa Catarina con su hilera de conos escoriaáceos juveniles rodeados de lavas, y las coladas recientes del Pedregal de San Angel, que se eleva al SW de la Ciudad de México. Este complejo volcán con calderas múltiples, estuvo activo desde finales del Plioceno hasta hará algo más de cien mil años, -- habiendo producido en un lapso de dos a tres millones de -- años erupciones pumíticas de gran volumen y energía, varios kilómetros cuadrados de lavas, además de extensos lahares ca lientes y fríos, avalanchas ardientes y otros numerosos tipos de piroclásticos, que han contribuido a los extensos ab nicos volcánicos que se conocen como Formación Lomas.

Entre sus erupciones más espectaculares, ocurridas en el -- Pleistoceno Superior, destacan las conocidas arenas azules -- que irrumpieron al formarse la caldera del cerro de San Miguel hara 170 000 años; es decir, a mediados de la Tercera -- Glaciación. Al precipitarse los piroclásticos sobre la super ficies flaciales en la cumbre del volcán, el vapor producido generó lahares ca lientes que descendieron a velocidades ex traordinarias de hasta 20 km. del cráter, para terminar en -- las barrancas de Tarango, Tacubaya y San Angel.

Así como se produjeron lahares calientes hubo también ocasio nes en las que en el transcurso de la actividad volcánica re sultaron lahares fríos (corrientes de lodo), arrastrando ex traordinarios bloques de roca en una matriz areno-lodosa. Efectivamente, superpuesto a los depósitos de morrenas en --

Tacubaya, Tarango, se reconoce un potente lahar ciclopeo que debe haber descendido de la región de Cuajimalpa finales del avance del Illinois inferior, antes de la erupción de las arenas azules.

En el renglón del depósitos volcánicos indirectos se deben de mencionar las acumulaciones de polvo eólico. Las regiones volcánicas abundan de por sí en detritos finos derivados de cenizas volcánicas. El viento levanta este polvo y lo transporta a grandes distancia; si el viento lo deposita en laderas durante períodos de clima frío, se transforma en suelos inmaduros que con el transcurso del tiempo se transforman en tobas amarillas que tanto abundan en las Lomas. Sin embargo, si se depositan en un lago, como en el antiguo vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan, transformándose en arcillas. Por otra parte, si se asientan durante un interglacial, o sea cuando impera un clima relativamente caliente, se producen suelos con coloides debido a la actividad fitológica más intensa; estos suelos con el tiempo se transforman en tobas rojizas arcillosas. Los suelos rojos, ricos en coloides, son característicos del Sangamon.

Relacionados con los períodos glaciales, especialmente a finales de ellos, están los deshielos, por los cuales crecieron arroyos y ríos caudalosos. Los deshielos generaron potentes depósitos fluviales que se reconocen hoy en numerosos puntos de las Lomas, así como al pie de ellas en la transición a la planicie central, formando abanicos aluviales y deltas.

ESTRATIGRAFIA GENERAL

a) Depósitos del lago.

Los depósitos de la planicie del Valle de México son los que comúnmente se conocen como depósitos del lago. Hay que señalar que ello solo es válido y correcto para ciertos tiempos geológicos con condiciones climáticas que propiciaban la existencia de un lago. En la cuenca cerrada podía existir un lago cuando las lluvias superaban a la evapotranspiración, el que desaparecía cuando esta superaba a las lluvias. Obviamente, el factor que dominaba dicho equilibrio era la temperatura ambiental: si el clima se enfriaba, se formaba un lago; si se calentaba, el lago disminuía y hasta desaparecía.

Consecuencia de lo anterior es de lo que llaman los geólogos transgresiones lacustres o regresiones lacustres. El resultado práctico de este juego era la depositación de arcilla o formación de suelos. El lago subsistía durante las épocas de calor (sequía) en las partes centrales de la cuenca, continuando aquí su depósito de arcillas (lacustres); en las

partes marginales (transición) ocurría lo contrario, donde entre arcillas lacustres se intercalaban frecuentemente suelos secos. Teniendo en mente los conceptos geológicos, litológicos y de temperatura expuestos, es relativamente fácil interpretar la secuencia de los llamados depósitos lacustres a la luz de los cambios climáticos del último medio millón de años. En ese lapso que corresponde al Pleistoceno Superior, se han desarrollado en el Hemisferio Norte, dos glaciaciones (clima frío) con tres períodos interglaciares (clima moderado a caliente). El clima de la cuenca del Valle de México ha sido una función directa de dichos cambios, razón por la cual se puede reconocer en la secuencia estratigráfica de los depósitos del lago las grandes variaciones climáticas.

Zeevaert presentó en 1953 la primera interpretación de la secuencia estratigráfica de los depósitos lacustres. Mooser le ha agregado información reciente, fundamentalmente sobre la interpretación de edades geológicas y las correlaciones estratigráficas establecidas entre las Lomas y la Planicie, ya no se habla de formaciones Tacubaya, Becerra y Tarango, ya que estas unidades litológicas, con excepción de la de Tarango, no se prolongan de las Lomas al relleno lacustre aluvial.

En la figura 5, se presenta en forma sintética la interpretación de la estratigrafía propuesta por Mooser. Nótese que las erupciones de arenas azules, ocurridas hace 170 000 años representan lo que antes se definía como formación Tarango.

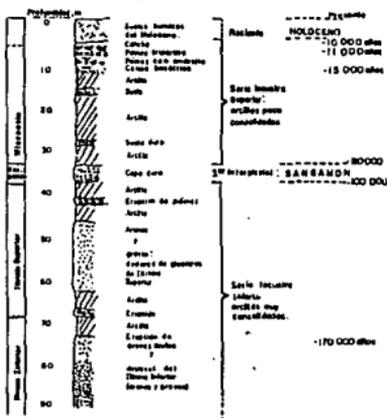


Fig. 5 Estratigrafía de la planicie lacustre, Ciudad de México

b) Depósitos de transición.

Los depósitos lacustres del centro de la cuenca van cambiando a medida que se van acercando al pie de las Lomas; lo que ocurre es que entre las arcillas lacustres van intercalándose capas de suelos limosos, cuerpos de arenas fluviales y, en ciertos casos especialmente en la desembocadura de --arroyos y ríos, importantes depósitos de gravas y boleos. Obviamente, las aportaciones fluviales de las Lomas al gran vaso de sedimentación, que es la planicie, se depositan en el quiebre morfológico Lomas-Planicie (fig 6).

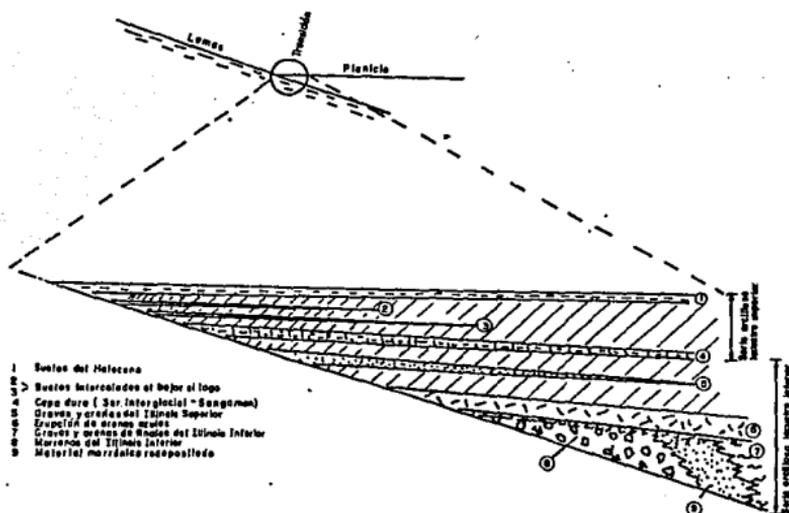


Fig. 6 Estratigrafía de la zona de transición

El lago central nunca fué profundo; de ahí que los arroyos -- que bajan por las barrancas y desembocan en la planicie no -- lograron formar deltas extensos que se introdujeran mucho a dicho lago.

c) Depósitos de las Lomas.

En la secuencia estratigráfica de las Lomas se identifican a cuatro fenómenos geológicos:

- La acumulación de potentes depósitos de erupciones volcánicas explosivas.

- La erosión subsecuente de estos depósitos, formándose profundas barrancas.
- El depósito en barrancas de morrenas, y
- El relleno parcial de esas barrancas con los productos -- clásticos de nuevas erupciones.

Las anteriores unidades quedan separadas unas de otras por suelos rojos, amarillos y cafés según el clima que rigió después de su emplazamiento. En la figura 7 se muestra esa estratigrafía, que se extiende sobre un intervalo que cubre el último medio millón de años.

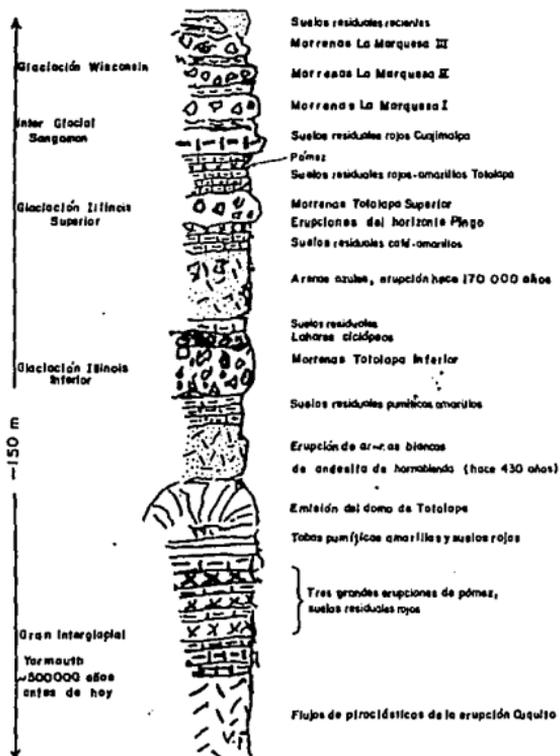


Fig. 7 Estratigrafía de las Lomas

DEPOSITOS DEL LAGO

PROCESO DE FORMACION DE LOS SUELOS

Los suelos arcillosos blandos son la consecuencia del proceso de depósito y de alteración fisicoquímica de los materiales aluviales y de las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre, donde existen abundantes de colonias de microorganismos y vegetación acuática; el proceso sufrió largas interrupciones durante los periodos de intensa sequía, en los que el nivel del lago bajó y se formaron costras endurecidas por --deshidratación o por secado solar. Otras breves interrupciones fueron provocadas por violentas etapas de actividad volcánica, que cubrieron toda la cuenca con mantos de arenas basálticas o pumíticas; eventualmente, en los periodos de sequía ocurría una erupción volcánica, formándose costras duras cubiertas por arenas volcánicas.

El proceso descrito formó una secuencia ordenada de estratos de arcilla blanda separadas por lentes duros de limos arcillo-arenosos, por las costras secas y por arenas basálticas o pumíticas producto de las emisiones volcánicas. Los espesores de las costras duras por deshidratación solar tienen cambios graduales debido a las condiciones topográficas del fondo del lago, alcanzan su mayor espesor hacia las orillas del vaso y pierden importancia y, aún llegan a desaparecer, al centro del mismo. Esto último se observa en el vaso del antiguo lago de Texcoco, demostrando que esta región del lago --tuvo escasos y breves periodos de sequía.

EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

a) Consolidación natural.

El proceso de formación de los suelos implicó que se consolidaran bajo su propio peso, excepto en las costras duras, que se preconsolidaron fuertemente por deshidratación o secado solar y que en su parte inferior formaran una zona ligeramente preconsolidada.

Considerando que la masa del suelo predominante era muy blanda y normalmente consolidada, la variación de su resistencia al corte con la profundidad debió ser lineal y seguramente --muy similar en cualquier parte del lago. Es factible que en el lago Texcoco, que prácticamente no sufrió etapas de sequía y donde el contenido salino de sus aguas era más alto, las arcillas fueran algo más blandas y compresibles que en el --resto de la cuenca.

b) Consolidación inducida.

El desarrollo urbano en la zona lacustre de la cuenca del --

Valle de México ha ocasionado un complejo proceso de consolidación, en el que se distinguen los siguientes factores de influencia:

- La consolidación de rellenos desde la época precortesiana, necesarios para la construcción de viviendas y piramides, más como para el desarrollo de zonas agrícolas.
- La apertura de tajos y tuneles para el drenaje de aguas -- pluviales y negras (Drenaje profundo) que provocó el abatimiento del nivel freático, lo que a su vez incremento el espesor de la costra superficial y consolido la parte superior de la masa de arcilla.
- La extracción de agua del subsuelo, que ha venido consolidando progresivamente a las arcillas desde los estratos -- más profundos a los superficiales.
- La construcción de estructuras.

c) Resistencia al corte.

Las etapas del proceso de consolidación implican la evolución de la resistencia al corte de los suelos descrita esquemáticamente en la figura 8.

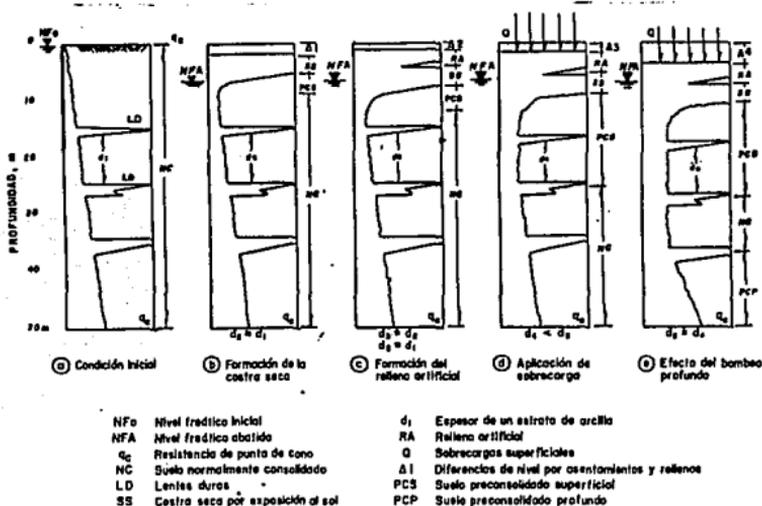


Fig. 8 Evolución de la resistencia al corte

CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS

a) Costra superficial (CS). Este estrato esta integrado por tres substratos, que constituyen una secuencia de materiales naturales cubiertos con un relleno artificial heterogéneo a saber:

Relleno artificial (RA). Se trata de restos de construcción y relleno arqueológico, varia entre 1 y 7 metros.

Suelo blando (SB). Se le puede describir como una serie de depósitos aluviales blandos con lentes de materia eólica intercaladas.

Costra seca (CS). Se formó como consecuencia de una disminución del nivel del lago, quedando expuestas algunas zonas del fondo a los rayos solares.

b) Serie arcillosa lacustre superior. El perfil estratigráfico de los suelos del lago, entre la superficie y la llamada Capa Dura, es muy uniforme; se pueden identificar cuatro estratos principales, acordes con su origen geológico y con los efectos de la consolidación inducida por sobrecargas superficiales y bombeo profundo; estos estratos tienen intercaladas lentes duras que se pueden considerar como estratos secundarios. A esta parte se le identificará como serie arcillosa lacustre superior y tiene un espesor que varia entre - 25 y 50m. aproximadamente, estratigrafía anterior se resume a continuación.

Estratigrafía entre la superficie y la capa dura.

Estratos principales

{ Costra superficial
Arcillas preconsolidadas Superficiales
Arcillas normalmente consolidadas
Arcillas preconsolidadas profundas

Estratos secundarios

{ Capas de secado solar
Lentes de arena volcánica
Lentes de vidrio volcánico

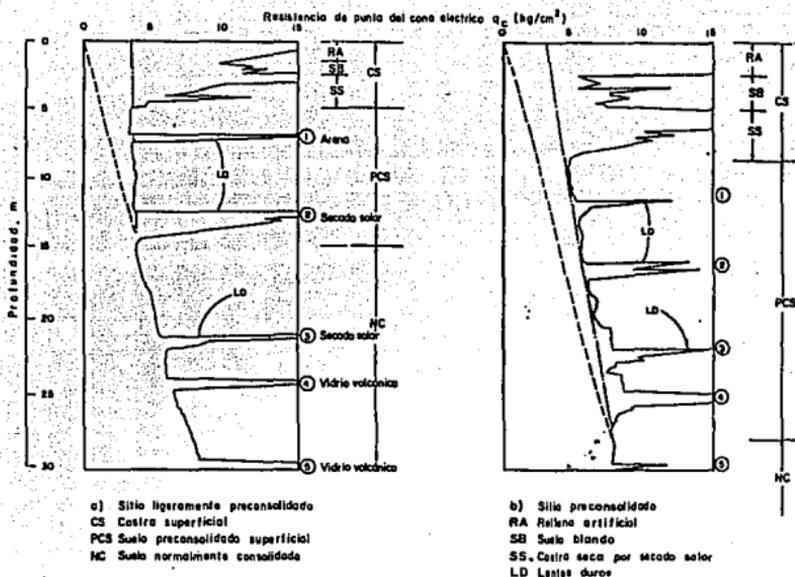


Fig. 9 Perfiles tipos de la Zona del Lago, en función de la resistencia al corte determinada con cono eléctrico

En la figura 9 se ilustran dos ejemplos de estos estratos, excepto los preconsolidados profundos, en dos sitios con diferente nivel de preconsolidación. A continuación se describen brevemente las características de los estratos que integran esta serie arcillosa:

* Arcilla preconsolidada superficial (PCS). En este estrato superficial las sobrecargas y rellenos provocaron un proceso de consolidación que transformó a los suelos normalmente consolidados, localizados por debajo de la costra superficial CS, en arcillas preconsolidadas.

* Arcilla normalmente consolidada (NC). Se localiza por debajo de la profundidad hasta la que afectan las sobrecargas superficiales y por arriba de los suelos preconsolidados por el bombeo profundo, abajo mencionados. Es importante aclarar que estos suelos se han identificado como normalmente consolidados para las sobrecargas actuales, porque aún estas arcillas han sufrido un proceso de consolidación a partir de su condición inicial.

* Arcilla preconsolidada profunda (PCP). El bombeo para abastecer a la ciudad de agua potable ha generado un fenómeno de consolidación, más significativo en las arcillas profundas que en las superficiales.

* Lentes duros (LD). Los estratos de arcilla están interrumpidos por lentes duros que pueden ser costras de secado solar, arena o vidrio (pómez) volcánicos; estos lentes se utilizan como marcadores de la estratigrafía.

c) Capa dura. La capa dura es un depósito heterogéneo en el que predomina material limo - arenoso con algo de arcilla y ocasionales gravas, tiene una cementación muy variable, desde casi imperceptible en la zona central del lago que no llegó a secarse, hasta alcanzar unos 5 m en lo que fueron las orillas del lago. Desde el punto de vista geológico, este estrato se desarrolló en el período interglacial Sangamon.

d) Serie arcillosa lacustre inferior. Es una secuencia de estratos de arcilla separados por lentes duros, en un arreglo semejante al de la serie arcillosa superior; el espesor de este estrato es de unos 15 m al centro del lago y prácticamente desaparece en unas orillas. La información disponible de este estrato es muy reducida, como para intentar una descripción más completa.

e) Depósitos profundos. Es una serie de arenas y gravas aluviales limosas, cementadas con arcillas duras y carbonatos de calcio, la parte superior de estos depósitos, de 1 a 5 m, está más endurecida, abajo de la cual se encuentran estratos menos cementados y hasta arcillas preconsolidadas.

DEPOSITOS DE TRANSICION

CARACTERISTICAS GENERALES

Los depósitos de transición forman una franja que divide los suelos lacustres de las sierras que rodean al valle y de los aparatos volcánicos que sobresalen en la zona del lago. Estos materiales de origen aluvial se clasifican de acuerdo al volumen de clásticos que fueron arrastrados por las corrientes hacia el lago y los depósitos; así se generaron "dos" tipos de transiciones: interestratificada y abrupta, ambas condiciones se describen a continuación.

CONDICION INTERESTRATIFICADA DEL PONIENTE

Esta condición se presenta en los suelos que se originaron al pie de barrancas, donde se acumularon los acarreos fluviales que descendieron de las lomas a la planicie; estos depósitos

tienen semejanza con deltas, solamente que se extendieron hasta la arcilla del antiguo lago Texcoco, formandose intercalaciones de arcillas lacustres con arenas y gravas de río (figs 2 y 3). En el proceso de formación de los suelos, el ancho de la franja de estos depósitos transicionales interestratificados varió según el clima prevaleciente en cada época geológica; así, cuando los glaciares en las barrancas de las Lomas se derritieron a finales de la Tercera Glaciación, los depósitos fluviales correspondientes (formados al pie de los abanicos volcánicos) resultaron mucho más potentes y -- extensos que los originados a partir de la Cuarta Glaciación con mucho menor espesor de las cubiertas de hielo.

Consecuentemente y generalizando, puede hablarse de una zona de transición interestratificada cambiante y ancha al pie de Las Lomas; esta área contiene en sus partes más profundas, debajo de la llamada Capa Dura, depósitos caóticos glaciales lahárlicos y fluvioglaciales caracterizados por enormes bloques depositados en la boca de las barrancas de San Angel, - del Muerto, Mixcoac, Tacubaya, Tarango y Río Hondo (fig 10). Por otra parte, los depósitos aluviales pueden ser recientes y entonces sobreyacen a los depósitos lacustres, como lo muestra la figura 3; tal es el caso de la cubierta de los suelos negros, orgánicos, arenosos y limoarcillosos del Holoceno, que se extienden desde el pie de Las Lomas sobre 2 o 3 km, al oriente formando las riveras del lago histórico de los toltecas y mexicas.

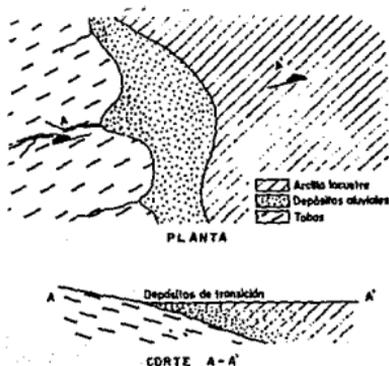


Fig. 10 Transición interestratificada ancha

Otra zona de interestratificación ancha se extiende del valle de Cuauhtepac hacia el sur (fig 11). Esta condición se identifica con el contacto de los rellenos de la cuenca y los cerros que sobresalen de dicho relleno, a manera de islotes; en este caso, los depósitos fluviales al pie de los cerros son prácticamente nulos, lo cual origina que las arcillas lacustres estén en contacto con la roca (fig 12).



Fig. 11 Transición interestratificada angosta

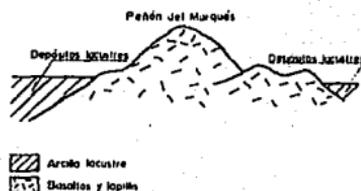


Fig. 12 Transición abrupta de islote a depósitos lacustres

Esta transición abrupta se presenta en el Peñón de los Baños el Peñón del Marqués, el cerro de la Estrella y el cerro del del Tepeyac, la estratigrafía típica de estas zonas está integrada por la serie arcillosa lacustre, interrumpida por numerosos lentes duros, de los materiales erosionados de los cerros vecinos.

Es interesante mencionar que en la cercanía del Peñón de los Baños se encuentran intercalaciones de lentes delgados de travertino silicificado, producto de las emanaciones de aguas termales; lo anterior se ilustra con el sondeo de cono eléctrico que se presenta en la figura 13.

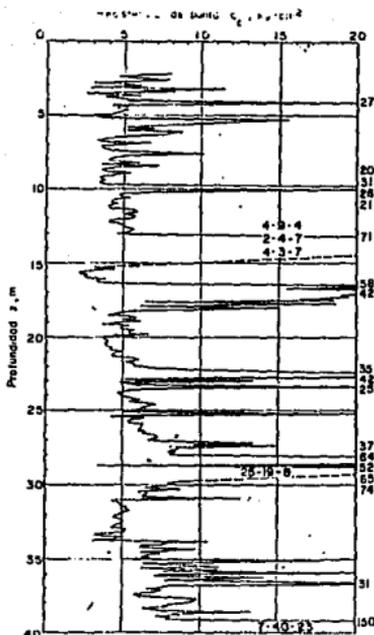


Fig. 13 Sondeo de cono eléctrico cercano al Penon de los Banos

DEPOSITOS DE LAS LOMAS

CARACTERISTICAS GENERALES

La zona de Las Lomas está formada por las serranías que limitan a la cuenca al poniente y al norte, además de los derrames del Xitle al SSE; en las sierras predominan tobas compactas de cementación variable, depósitos de origen glacial y aluviones. Por su parte, en el Pedregal del Xitle, los basaltos sobreyacen a las tobas y depósitos fluvio-glaciales y glaciales más antiguos.

ZONA PONIENTE

a) Sierra de las Cruces

Está constituida por los abanicos volcánicos, caracterizándose superficialmente por la acumulación de materiales - piroplásticos durante su actividad explosiva (principalmente en el Plioceno inferior) y que fueron retransportados por agua y hielo en épocas posteriores.

En la formación de Las Lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de grandes volcanes andesíticos estratificados:

- * Horizontes de cenizas volcánicas de granulometría variables, producidas por erupciones violentas que formaron - tobas cementadas depositadas a decenas de kilometros de distancia del cráter.
- * Capas de erupciones pumíticas, correspondientes a la actividad volcánica de mayor violencia y que se depositaron como lluvia, en capas de gran uniformidad hasta lugares muy distantes del cráter.
- * Lahares, definidos como acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado lentamente en corrientes lubricadas por agua, generadas por lluvia torrencial inmediata a la erupción.
- * Lahares calientes, correspondientes a corrientes impulsadas y lubricadas por gases calientes; son las menos frecuentes ya que están asociadas a erupciones parosísmicas de extraordinaria violencia; las arenas y gravas azules son las más representativas de estos depósitos.
- * Depósitos fluvioglaciales, producto del arrastre del agua que se derrite y sale del glacial; se distinguen por su ligera estratificación.
- * Depósitos fluviales, correlacionables con la formación - clástica aluvial del relleno de la cuenca de México.
- * Suelos, producto de la alteración de lahares y cenizas, de color rojo y gris asociados a climas húmedos y aridos respectivamente.

Por otra parte, los depósitos más antiguos presentan fracturamiento y fallamiento tectónico dirigidos principalmente al NE, dirección que mantiene la mayoría de las barrancas de la zona.

b) Pedregal del Xitle

Del cerro del Xitle descendió, hace unos 2000 años, una --

extensa colada de lavas basálticas; sus numerosos flujos cubrieron las lomas al pie del volcán Ajusco y avanzaron en sus frentes hasta la planicie lacustre entre Tlalpan y San Angel. Las lavas descendieron sepultando dos importantes valles antiguos: uno en el Sur, que se dirigía anteriormente a las fuentes brotantes de Tlalpal; otro en el Norte, el mayor, que se extendía entre el cerro Zacaltepetl y las lomas de Tarango. Este último valle contaba con dos cabeceras: una en los flancos orientales del cerro de la Palma y la otra en la barranca de La Magdalena Contreras (fig 14). A la zona cubierta por lava se le identificaba como los pedregales de: San Angel, San Francisco, Santa Ursula, Carrasco y Padierna.

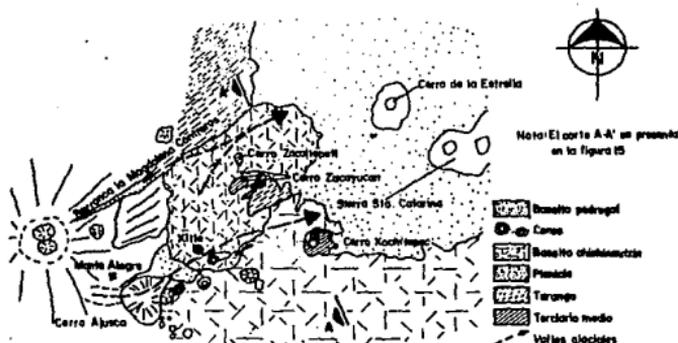


Fig. 14 Geología del pedregal Xitle

Por otra parte, debe haber existido otro importante valle aún más hacia el Sur, entre las fuentes brotantes de Tlalpan y la sierra de Xochitlan; este valle tuvo su cabecera en Monte Alegre. Este afluyente debe haber sido sepultado durante la erupción del Ajusco, en el Cuaternario Superior.

Muy anteriormente a la erupción del Xitle, en el Illinois -- (hace 200 000 años) avanzaron grandes cuerpos de hielo; estos glaciares fueron de barranca de La Magdalena Contreras hasta las partes bajas de la antigua planicie lacustre, acercándose a lo que hoy es San Angel.

Indicios de morrenas con multitud de bloques grandes se han encontrado en San Angel, así como en las Fuentes Brotantes; por consiguiente, debajo de las lavas del Pedregal de San -- Angel deben existir importantes acumulaciones de morrenas y secuencias fluvio-glaciales derivadas de su erosión. Por otra parte, debe asegurarse que antes de que las lavas del Xitle

cubrieran el sitio, este valle fue inundado por otras coladas lávicas; en el corte geológico de la fig 15 se muestra esquemáticamente la estratigrafía descrita.

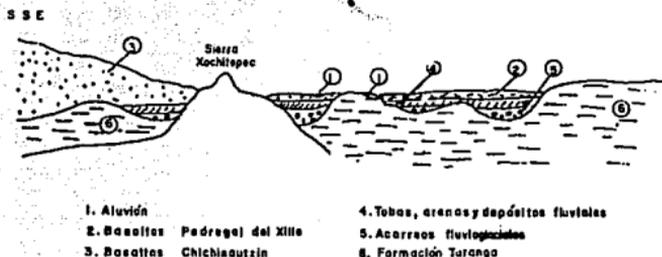


Fig. 15 Sección Chichinautzin - Lomas cortando el pedregal de San Agel

ZONA NORTE

Esta región corresponde a la sierra de Guadalupe, se integra principalmente por rocas volcánicas dacíticas y andesíticas, en forma de un conjunto de elevaciones dómicas que se extienden desde el Tepeyac, en el SE de la sierra, hasta la zona de Barrientos en el NW. En su parte central esta sierra está afectada por su graben que se extiende al NNE, formando el valle de Cuauhtepac; en el extremo septentrional de dicho graben y genéticamente ligado a él, se eleva un volcán cuyas cumbres erosionadas constituyen las porciones más altas de la sierra de Guadalupe y se denomina el cerro Tres Padres.

El tectonismo que ha regido el vulcanismo de la sierra de Guadalupe se remota al Mioceno Medio; consiste de frecturas y fallas, dirigidas al ESE. El graben de Cuauhtepac, como se dijo, obedece a un tectonismo dirigido al NNE ocurrido en el Mioceno Superior. Finalmente un tectonismo orientado hacia en ENE, y coincidiendo en dirección con el alineamiento de la sierra de Santa Catarina afecta a la totalidad de la sierra de Guadalupe en el Plioceno Superior y Pleistoceno.

Una característica de la sierra de Guadalupe son los potentes depósitos de tobas amarillas que cubren los pies de sus numerosas elevaciones en forma de abanicos aluviales. Estas tobas consisten de estratos de vidrio pumítico fino a grueso son los productos de las erupciones violentas que generaron la sierra de las Cruces durante el LMioceno y Pleistoceno -- Inferior.

Durante el Pleistoceno Medio y Superior, las oscilaciones -- climáticas produjeron períodos glaciales e interglaciales, -- que sometieron a la sierra de Guadalupe a ciclos de erosión pluvial y eólica, formándose pequeños depósitos de aluviones y loess. Finalmente, al azolverse la cuenca de México a consecuencia de la formación de la sierra de Guadalupe fue rodeada por depósitos aluviales y lacustres en el Sur, Este y Norte; de estos depósitos emerge esta sierra hoy como isla.

ZONIFICACION GEOTECNICA

La Ciudad de México se localiza dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, la cual consiste en una cadena montanosa que atraviesa el país a la altura del paralelo 19° latitud norte, donde las costas de Nayarit en el Pacífico -- hasta las costas de Veracruz en el Golfo de México.

Esta cadena montanosa presenta una gran variedad de litologías, desde rocas básicas hasta rocas ácidas; así como diversas estructuras de origen volcánico, tales como estratovolcánes, conos cínneríticos, domos, etc. Estas estructuras normalmente se encuentran afectadas por varios sistemas de fracturas y fallas de carácter tensional que favorecen el desarrollo de cuencas fluvio-lacustres de los cuales los más importantes desde el punto de vista morfológico son las de Toluca, México y Puebla.

La cuenca de México es de tipo endorreico y ésta se localizaba en el antiguo Lago de Texcoco, pero con la construcción del tajo de Nochistango se modificaron las condiciones de drenaje de la cuenca dándole una salida a las aguas.

En las aguas que ocuparon el lago; se depositaron arcillas - compresibles de alta plasticidad, lo cual obligó a efectuar estudios que difieran las propiedades mecánicas de estos materiales que constituyen el subsuelo, a través de los cuales se ha llegado a definir la secuencia estratigráfica de gran parte del terreno ocupado por la actual Cd. de México, y en base a esta estratigrafía se ha llegado a zonificar la ciudad desde el punto de vista geotécnico.

De acuerdo a dicha zonificación se distinguen las zonas de: Lago, Transición y Lomas, correspondiendo esta última a las estribaciones de las sierras que rodean a la capital del país, mientras que la zona de transición corresponde a lo que fueron las riberas del antiguo lago, mismas que estaban sujetas a indicaciones intermitentes. En la fig. 10' se presenta una zonificación actualizada que sigue los lineamientos presentados por Marsal y Mazari (fig. 11').

ZONA DE LAGO.

Esta zona se caracteriza por los grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad (fig. 12') que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable en cada sitio, dependiendo de la localización e historia de cargas.

Por ello la zona del Lago se ha dividido en tres subzonas -- atendiendo a la importancia relativa de dos factores independientes: a) el espesor y las propiedades de la costra superficial y b) la consolidación inducida en cada sitio.

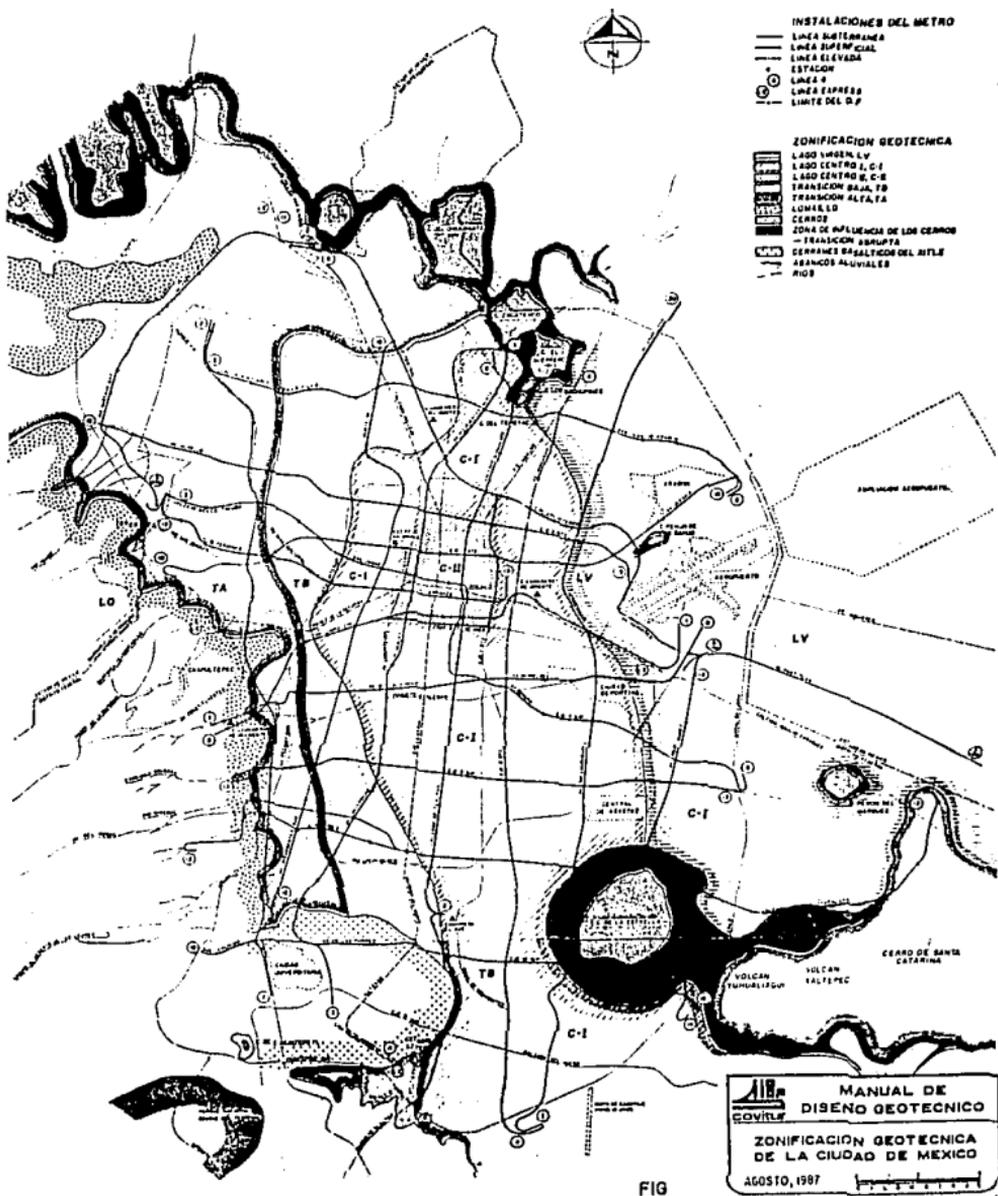


Fig. 10' Zonificación geotécnica de la Ciudad de México

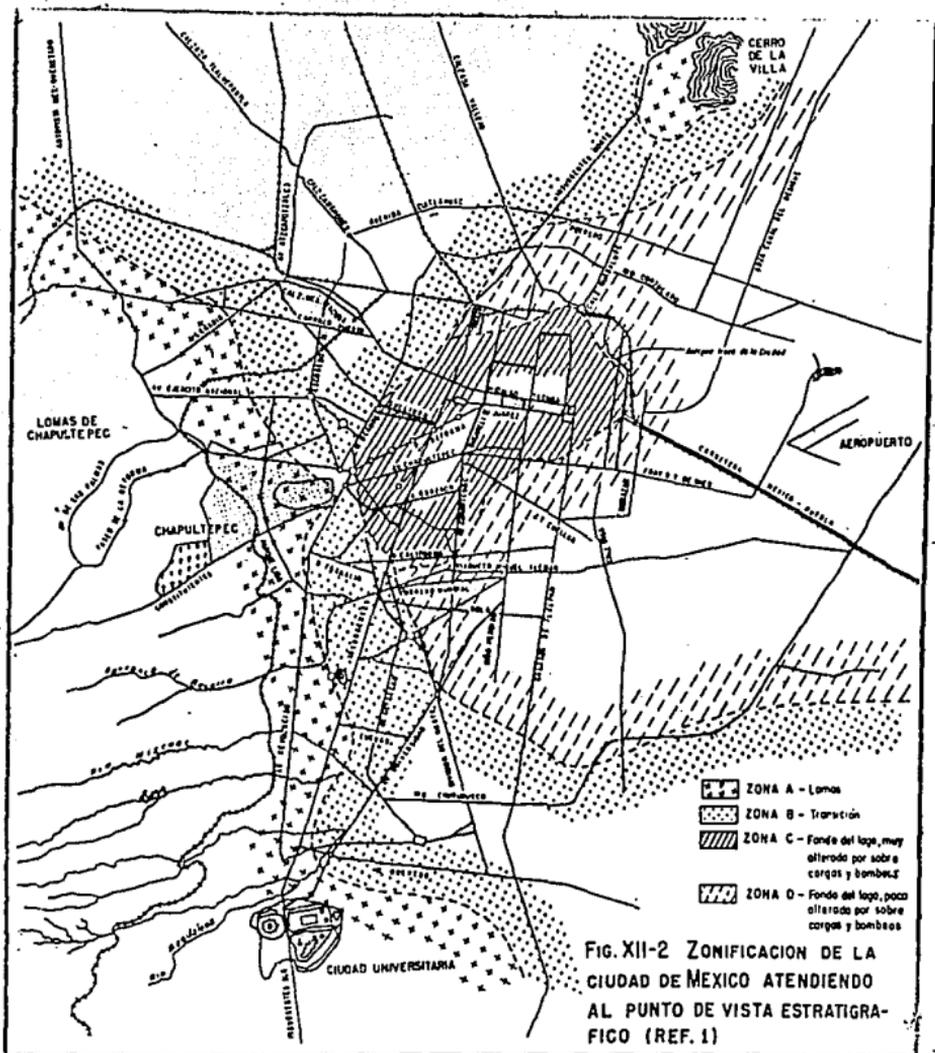


Fig. 11' Zonificación de la Ciudad de México atendiendo el punto de vista estratigráfico (Marsal y Mazari)

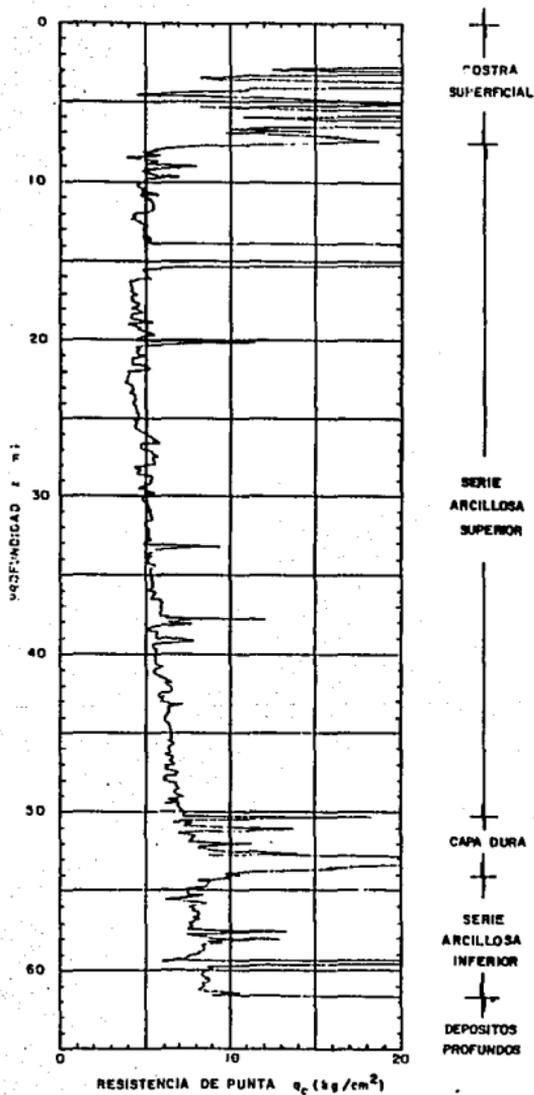


Fig. 12' Sondeo de cono eléctrico en la zona del lago

LAGO VIRGEN.

Corresponde, al sector oriente del lago, cuyos suelos han -- mantenido practicamente sus propiedades mecánicas desde su - formación; sin embargo, el recinto desarrollado de esta zona de la ciudad, está incrementando las sobrecargas en la su perficie y el bombeo profundo (fig. 13').

La estratigrafía típica de la subzona Lago Virgén arriba de la Capa Dura se ilustra en la fig. 13; en la tabla 1 se presentan las propiedades medias de los estratos.

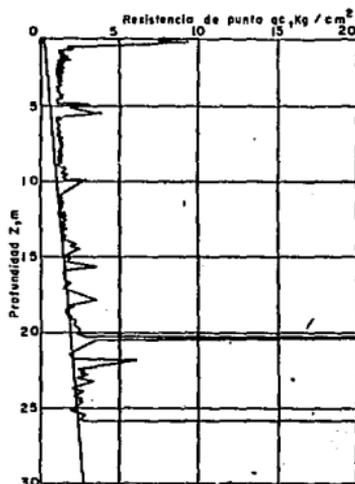


Fig. 13' Sondeo de cono eléctrico en la subzona del Lago Virgén

Tabla 1 Estratigrafía y propiedades, Lago Virgen

Estrato *	Exposor, en m	γ , en t/m^3	c_u , en t/m^2	ϕ , en °
Costra superficial	1.0 a 2.5	1.4	1.0	20
Serie arcillosa superior	3.8 a 4.0	1.15	0.5 a 1.0	-
Capa dura **	1 a 2	-	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	15 a 30	1.25	3 a 4	-

* En orden de aparición a partir de la superficie

** La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU

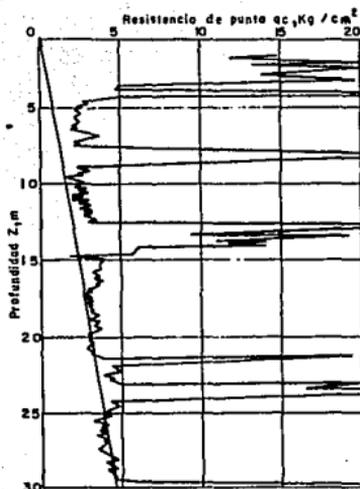


Fig. 14' Sondeo de cono eléctrico en la subzona Lago Centro I

LAGO CENTRO I

Esta asociada al sector no colonial de la ciudad que se desarrolla desde principios de este siglo y ha estado sujeto a las sobrecargas generadas por las construcciones pequeñas o medianas; las propiedades mecánicas del subsuelo en esta subzona representan una condición intermedia entre Lago Virgen y Lago Centro II. (fig. 14')

Las características estratigráficas propias de esta subzona se presentan en la tabla 2, y en la fig. 15' la resistencia del cono eléctrico de la serie arcillosa superior; es interesante comparar esta figura con la fig. 13', para observar el incremento de resistencia originado por las sobrecargas.

Tabla 2 Estratigrafía y propiedades, Lago Centro I

Extra t b	Espesor, en m	γ , en t/m ³	c, en t/m ²	ϕ , en °
Contra superficial	4 a 6	1.6	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 30	1.2	1 a 2	-
Capa dura*	3 a 5	1.5 - 1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	8 a 10	1.3 - 1.35	5 a 8	-

* La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU

Lago Centro II

Esta subzona corresponde con la antigua traza de la Ciudad - de México, donde la historia de cargas aplicadas en la superficie ha sido muy variable; esta situación ha provocado que se encuentren las siguientes condiciones extremas:

- a) arcillas fuertemente consolidadas por rellenos y sobrecargas de construcciones aztecas y coloniales
- b) arcillas blandas, asociados a lugares que han alojado plazas y jardines durante largos periodos de tiempo, y
- c) arcillas muy blandas en los cruces de antiguos canales.

Asimismo, el intenso bombeo para surtir de agua a la Ciudad - se refleja en el aumento general de la resistencia de los estratos de arcillas por efecto de la consolidación inducida, - como se observa en la figura 15', que conviene comparar con - la fig. 13' y 14'; en la tabla 3 se resume la estratigrafía -- característica de esta subzona.

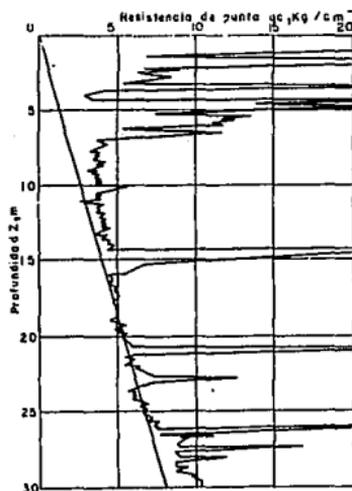


Fig. 15' Sondeo de cono eléctrico en la subzona Lago Centro II

Tabla B-3 Estratigrafía y propiedades, Lago Centro II

Estrato	Espesor, en m	γ_s , en t/m ³	c, en t/m ²	ϕ , en °
Costra superficial	6 a 10	1.7	4	25
Serie arcillosa superior	20 a 25	1.3	3	-
Capa dura *	3 a 5	1.5 a 1.6	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	6 a 8	1.3 a 1.4	6 a 12	-

* La información disponible es muy limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales CU

Zona de Transición

Interestratificada del Poniente

Es la franja comprendida entre las zonas del lago y de las lomas; en esta zona se alternan estratos arcillosos depositados en un ambiente lacustre con suelos gruesos de origen aluvial, dependiendo sus espesores de sus transgresiones y regresiones que experimentaba el antiguo lago.

La frontera entre las zonas de transición y del lago se definió donde desaparece la serie arcillosa inferior, que corresponde a la curva de nivel donde la capa dura esta a 20.0 m de profundidad respecto al nivel medio de la planicie.

Conviene dividir esta transición en subzonas, en función a la cercanía a las lomas y sobre todo el espesor de suelos relativamente blandos; se identifican así las transiciones alta y baja, que se describen a continuación.

- a) Transición Alta. Es la subzona de transición más próxima a las lomas; presenta irregularidades estratigráficas producto de los depósitos aluviales cruzados; la frecuencia y disposición de estos depósitos dependen de la cercanía a antiguas barrancas. Bajo estos materiales se encuentran estratos arcillosos que sobreyacen a los depósitos propios de las lomas (fig. 16).

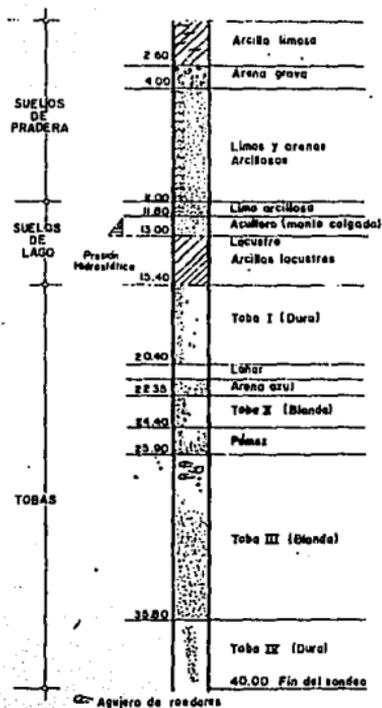


Fig. 16' Estratigrafía típica de la zona de Transición Alta

Tabla 4 Estratigrafía y propiedades, Transición Alta

Estrato	Espesor, en m	γ , en t/m^3	c , en t/m^2	ρ , en °
Costra superficial	8 a 10	1.6	10	20
Suelos blandos	4 a 6	1.3	5	0

- b) Transición Baja. Corresponde a la transición vecina en la zona del lago; aquí se encuentra la serie arcillosa superior con intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial que se depositaron durante las regresiones -- del antiguo lago. Este proceso dio origen a una estratificación compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de la ubicación del sitio en -- estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y -- barrancas.

Por lo anterior, puede decirse que las características -- estratigráficas de la parte superior de la transición -- baja son similares a la subzona del lago centro I ó lago centro II, teniendo en cuenta que:

- La costra superficial esta formada esencialmente por -- depósitos aluviales de capacidad de carga no uniforme.
- Los materiales compresibles se extienden unicamente a profundidades máximas del orden de 20 m.
- Existe interestratificación de arcillas y suelos limoarenosos, y
- Se presentan mantos colgados.

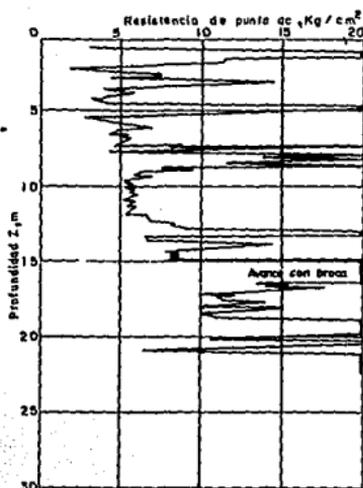


Fig. 17 Sondeo de cono eléctrico en la subzona de transición baja

Abrupta cercana a los cerros

Es la transición entre la zona del lago y cerros aislados -- como el Penon de los Baños, en las arcillas lacustres están intercaladas con numerosos lentes de materiales erosionados de los cerros y hasta lentes delgados de travertino silificado.

ZONA DE LOMAS

En la formación de Las Lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de los grandes volcanes andesíticos estratificados de la sierra de las Cruces:

- . Horizontales de cenizas volcánicas
- . Capas de erupciones pumíticas
- . Lahares
- . Avalanchas ardientes
- . Depósitos glaciales
- . Depósitos fluviales
- . Depósitos fluvioglaciales
- . Suelos

Eventualmente se encuentran rellenos no compactados, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas y tapar accesos y galerías de minas antiguas.

Todos estos materiales presentan condiciones irregulares de compacidad y cementación, que determinan la estabilidad de las excavaciones en esta zona: por ello, exceptuando a los cortes en lahares compactados, en los demás depósitos pueden desarrollarse mecanismos de falla.

Tobas y lahares fracturados.

Estos materiales pueden presentar fracturas en direcciones concurrentes que generan bloques potencialmente inestables; estos bloques pueden activarse bajo la acción de un sismo o por efecto de la alteración de las superficies de fracturamiento, al estar sometidas a un humedecimiento producto de la infiltración de escurrimientos no controlados. En algunos casos, las fallas locales en la superficie del corte podrían generar taludes invertidos de estabilidad precaria.

Un aspecto significativo de las tobas, es que algunas de ellas son muy resistentes al intemperismo y que incluso endurecen al exponerse al ambiente mientras que otras son fácilmente degradables y erosionables.

Depósitos de arenas pumíticas y lahares de arenas azules.

Estos suelos están en estado semicompactado y se mantienen en taludes verticales debido principalmente a la cohesión -- aparente generada por la tensión superficial asociada a su bajo contenido de agua; por tanto, el humedecimiento o el -- secado de estos materiales puede provocar la falla de los -- cortes.

Lahares poco compactos y depósitos glaciales y fluvioglaciales

Estos depósitos presentan una compactación y cementación muy -- errática, por lo que la erosión progresiva de origen eólico y fluvial tiende a generar depósitos de talud creciente, que sólo detienen su avance cuando alcanzan el ángulo de reposo del suelo granular en estado suelto.

De la descripción anterior se concluye que los principales -- agentes de activación son el agua y el viento, por lo cual -- es necesario proteger estos materiales contra un intempe--- rismo prolongado.

Basaltos.

Son los pedregales generados por el Xitle, formados por cola das lávicas que presentan discontinuidades como fracturas y cavernas, eventualmente rellenas de escoria. La estabilidad de excavaciones en estos basaltos debe analizarse en función -- de los planos principales de fracturamiento y no de la resis tencia intrínseca de la roca; en el caso de cavernas grandes debe estudiarse la estabilidad de los techos. En la exploración geotécnica de esta zona tiene más valor el reconocimiento geológico detallado y la perforación de roca controlada con martillos neumáticos en mayor número de puntos, que la obten ción puntos de muestras con barriles de diamante y máquinas rotatorias.

NECESIDAD DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION

El Sistema de Instrumentación como auxiliar de los trabajos para la construcción del cajón subterráneo que alojará las instalaciones de la Línea "A" del Metro Pantitlán - La Paz tiene como finalidad dar a conocer en forma oportuna los movimientos que se presentan en la zona de excavación, áreas adyacentes y en la estructura del cajón (una vez construido) para determinar los movimientos asociados a la obra, así como el hundimiento regional de la zona; evaluando al mismo tiempo las condiciones de estabilidad de la excavación y los efectos del bombeo sobre las condiciones hidráulicas iniciales en la fase líquida del subsuelo y sus repercusiones en el comportamiento de las estructuras vecinas.

Si la excavación a cielo abierto afecta estratos de arcilla blanda, será necesario efectuar mediciones del desplazamiento horizontal y vertical de la superficie del terreno cercano al talud. La instrumentación de campo permitirá detectar el desarrollo de condiciones de inestabilidad de los taludes durante el tiempo en que la excavación permanezca abierta. Por lo anterior, se requerirán referencias superficiales que definan una línea de colimación.

Cuando la excavación intercepta un acuífero, es necesario implantar un sistema de bombeo para el abatimiento del nivel freático (N.A.F.), permitiendo así, mantener la zona de excavación lo más seca posible. Las fallas de fondo suelen ocurrir con mayor probabilidad al descompensar súbitamente al terreno de una masa de suelo, en la cual los índices hidráulicos son altos en su fase líquida del mismo. Para medir las expansiones producidas en el fondo de la excavación se cuenta con los bancos de nivel flotante, los cuales nos permiten obtener estos parámetros. Dichos instrumentos serán referenciados en su momento.

Con la implementación del bombeo se requiere controlar el abatimiento del N.A.F.; por lo tanto, los tubos o "pozos" de observación son buenos indicadores para este efecto. Además de esto, las condiciones piezométricas deberán llevar ese control al mismo tiempo para determinar las condiciones de factibilidad del bombeo (si es que no se está excediendo el gasto de bombeo), y de la excavación.

Todo esto conducirá a estimar los factores de seguridad contra la falla de la excavación en las distintas etapas de la construcción; considerando los siguientes mecanismos de falla:

- . general de fondo
- . por subpresión
- . por empotramiento del muro milán
- . del talud de avance o cabecero

Para tal efecto, se deberá seguir un programa de instalación y de toma de lecturas en los instrumentos.

En los casos, en los cuales se detectan riesgos como los ya mencionados, la Asesoría Geotécnica le comunicará a la supervisión de obra civil, que proceda de inmediato a parar el frente de excavación que presente problemas, mientras se analiza y revisa la situación para su buen funcionamiento.

Las construcciones cercanas al cajón, pueden llegar a sufrir daños en mayor o menor grado según la magnitud y cercanía con el cajón; los efectos del bombeo pueden repercutir en estas estructuras en las siguientes formas:

- a) aparición de grietas en el terreno por tensión superficial
- b) agrietamiento de muros
- c) asentamientos diferenciales de la estructura

Es necesario que antes de iniciar los trabajos de bombeo y excavación, se realice un levantamiento de las estructuras existentes que representen un riesgo por estos efectos, en las diferentes etapas del proceso constructivo del cajón.

Una vez que se tienen reconocidas las estructuras (edificios, fábricas, monumentos, etc.), se colocarán testigos a los que se les asignara una cota de elevación asociada a un banco de nivel profundo; cabe mencionar que en los casos en que se considere crítica la situación para alguna estructura, se pondrá atención especial para referenciarlo llevando así un mejor control en su comportamiento. De esta manera, las referencias nos indican en que grado le está afectando el bombeo y la excavación a la estructura.

El control del bombeo y el de los índices de las presiones de poro en el subsuelo van ligados uno a otro. Al tener instaladas estaciones piezométricas antes de iniciar el bombeo podemos conocer la presión de poro inicial; así mismo, podemos seguir la historia de esas presiones a lo largo de la construcción del cajón. Las lecturas entonces resultarán interesantes ya que se puede determinar en que forma puede incidir una falla mecánica del subsuelo.

En general, la necesidad de implantar un Sistema de Instrumentación para la construcción del cajón del Metro obedece a la garantía de la seguridad y estabilidad de la obra en su conjunto.

Como se ha expuesto, son diversos los factores que justifican la implantación de un Sistema de Instrumentación. Particularmente para los tramos de la Línea "A", son los siguientes:

a) Condiciones estratigráficas

Los tramos deprímidos ya mencionados, se localizan según la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, dentro de la zona del lago, específicamente en la subzona del lago virgén.

La zona del lago como ya se menciona, se caracteriza por grandes espesores de arcilla blanda de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable.

La subzona del lago virgén, se caracteriza porque el suelo ha mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación

b) Condiciones de frontera de la excavación

Es característica particular de los tramos Nave Depósito - Pantitlán y Pantitlán - Agrícola Oriental, tener como estructura colindante a la Línea 9 del Metro; de la misma forma y en algunos casos, las estructuras vecinas estaban tan cercas del cajón (1 m.).

Cabe mencionar que estos inmuebles sufrieron danos reparables en su mayoría, y que en otros fueron graves por la deficiencia de sus elementos estructurales.

c) Magnitud de la obra

Si a los factores anteriormente mencionados le aunamos el tipo de obra a ejecutar, la cual es un cajón subterráneo con una profundidad máxima promedio de 11 m. y de un ancho promedio de 9.5 m., esto nos conduce a la necesidad de instrumentar los tramos deprímidos y contar con una Residencia Geotécnica que cumpliera con los siguientes objetivos y funciones:

- Conocer en forma oportuna el comportamiento de la excavación.

- Ajustar las especificaciones para garantizar la estabilidad y seguridad de la obra.
- Supervisión directa del procedimiento constructivo.
- Proporcionar soluciones preventivas y correctivas en -- caso de afectación severa a estructuras colindantes y a la misma obra.
- Mantener una comunicación constante y abierta entre las empresas que participan en la realización del proyecto ejecutivo: supervisión de obra, constructora, empresa - proyectista, dependencia o dueño de proyecto.
- Realización de juntas de trabajo que ayuden a conocer - los avances de obra, sus problemáticas y soluciones en forma oportuna y eficaz para su mejor control.
- Revisión e interpretación de los datos obtenidos diariamente del control del Sistema de Instrumentación implantado para la construcción del cajón del Metro; tomando como base los parámetros del Diseño Geotécnico obtenido para el proyecto.
- Cumplir con la periodicidad de la toma de lecturas para cada instrumento; así mismo, el verificar su precisión.

CAPITULO I

SISTEMA DE INSTRUMENTACION

SISTEMA DE INSTRUMENTACION

I.1. DEFINICION DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION

El Sistema de Instrumentación es un conjunto de instrumentos enlazados entre sí, para determinar el comportamiento de la masa de suelo en que se excavó un cierto tramo del cajón del Metro, a través de la determinación de:

- a) Evolución de las deformaciones verticales y horizontales en los puntos más representativos de esa masa de suelo, y
- b) La variación de la presión de poro en los estratos más significativos, para estimar la evolución de los esfuerzos efectivos de la masa de suelo durante el desarrollo del procedimiento constructivo.

El sistema de instrumentación que se implantó para la construcción del cajón del Metro, sirve para :

- a) Verificar que la construcción se realice dentro de los parámetros proyectados, así como para advertir el desarrollo de condiciones de inestabilidad, y
- b) Obtener información básica del comportamiento del suelo que permita detectar errores y fundamentar modificaciones en los análisis de proyecto y en la construcción.

La instrumentación se debe diseñar siguiendo un proceso racional integrado por los siguientes aspectos:

- a) Definir con detalle qué objetivos precisos se pretenden aclarar y qué variables se deben medir.
- b) Hacer una evaluación previa del orden de la magnitud que alcanzan las variables por medir; para ello, se hará un análisis preliminar del problema.
- c) Elegir cuidadosamente los instrumentos que se utilizan, comprobando que su precisión sea significativamente menor que la magnitud de las variables que se midan. Los instrumentos más aplicables para el cajón del Metro, se describirán en el punto I.2.
- d) El número de instrumentos que conviene instalar. Las características del subsuelo y de la estructura son los factores fundamentales para la definición del número de instrumentos; es conveniente admitir que la cantidad -

deberá ser la más exacta, no solo por costo, sino también - porque el exceso de instrumentos resulta conflictivo para la construcción; además, conduce a tener información irrelevante por lo repetitivo.

De acuerdo a las características estratigráficas, a las condiciones de frontera de la excavación y a la magnitud de la obra, se determinó implantar el siguiente Sistema de Instrumentación, para la Línea "A" Pantitlán - La Paz del Metro.

Banco de nivel profundo

Banco de nivel flotante (semiprofundo)

Referencias superficiales:	Testigo superficial
	Testigo en muros (estructura vecinas)
	En Muros Milán

Tubo o pozo de observación del nivel freático

Piezómetro abierto hincado.

1.2. FUNCIONES Y OBJETIVOS DE LA INSTRUMENTACION.

Banco de nivel profundo.

1.- OBJETIVO:

Es un punto fijo que no sufre los asentamientos regionales -- que pudiera estar ocurriendo en la superficie del terreno; - sirve de referencia confiable para la medición de los desplazamientos verticales, que tiene lugar durante la construcción de los cajones del Metro durante su vida útil.

2.- DESCRIPCION:

Es una columna metálica delgada firmemente apoyada en un estrato de suelo que no se asienta (fig. 1.1.); se instala dentro de una perforación de 4 1/2 pulgadas de diámetro que se profundiza hasta el estrato firme que no sufre asentamientos. La columna metálica es un tubo galvanizado de 1 1/4 pulg., - con coples a los que se les han limitado las aristas (fig. - 1.2.); su extremo superior termina en un vértice, en el que se apoya el estadal.

En su extremo inferior, la columna se ancla en un muerto de - concreto de 10 cm. de diámetro y 30 cm. de altura.

La columna metálica (tubo central) se protege con un ademe vertical para absorber las deformaciones verticales de los estratos de suelo y permitir que el tubo mantenga constante su posición. en zonas que sufran asentamientos regionales importantes (mayores de 10 cm. por año) es necesario que el ademe de protección sea telescópico, mientras que en zonas con asentamientos menores puede ser un simple tubo recto.

El ademe tipo telescópico se forma con tubos de PVC de 2 y 3 pulgadas de diámetro con uniones deslizantes (fig. I.1); los coples de union se colocan en los tubos de 2 pulg. el ademe simple es un tubo de PVC de 2 pulg. de diámetro (no aparece en la fig.). En la superficie se coloca un registro de protección e identificación.

3.- INSTALACION:

3.1. Criterio de localización.

El banco de nivel profundo deberá localizarse lejos de cimentaciones profundas que se apoyen en el mismo estrato donde se instale el banco; la profundidad de la referencia se determinará a partir de la estratigrafía del sitio. La distancia entre los bancos no excederá de 3 Km.

3.2. Procedimiento de instalación.

Una vez que se ha seleccionado el sitio y la profundidad para la instalación del banco de nivel, mediante el reconocimiento previo de la línea, se procede de la siguiente manera:

- * Se hace el barrenado de 4 1/2 pulg. de diámetro hasta penetrar en el estrato firme aproximadamente 0.3 m., estabilizando la excavación con lodo bentonítico.
- * Se introduce simultáneamente el conjunto de tubo central con su cilindro de apoyo y ademe protector, bajando estos dos últimos firmemente apoyados para evitar que penetre el material sólido dentro del ademe.
- * Una vez que se ha llegado al fondo y apoyado el cilindro de concreto, se levanta el ademe 1.2m. por arriba del fondo. (fig. I.1.)
- * Se coloca el registro de protección y se fija la tubería al registro.

4.- MEDICIONES:

4.1. El equipo de medición.

El nivel óptico deberá ser de precisión con radio de curvatura de 20 m. y poder amplificador de 25 diámetros; en cada medición se verificará que la burbuja este centrada. Los estándares deberán estar graduados en milímetros, tener nivel de burbuja y base metálica. Todo el equipo deberá revisarse periódicamente para verificar su estado y ajustarse en caso necesario.

4.2. Procedimiento de medición.

El procedimiento de medición recomendado es la nivelación diferencial, que se llevará a cabo dentro de las redes que se formen con los bancos y efectuando lecturas dobles en cada posición de aparato. Las nivelaciones que se realicen en la red de bancos deberán ser compensadas y tendrán una tolerancia ± 1 cm/km. Para lograr nivelaciones de calidad es recomendable que se realice en un sólo día la nivelación de una red de bancos y cuando la temperatura sea menor (mañana o noche).

5.- INFORMACION OBTENIDA.

5.1. Condiciones iniciales.

Antes de que se inicien las obras de excavación en un tramo, deberá estar instalada la red de bancos de nivel correspondiente y se realizará una nivelación inicial entre los bancos. Con esta nivelación se obtendrán las colas de asignación con las que deberán relacionarse las referencias superficiales.

5.2. Frecuencia de mediciones.

Durante el tiempo de excavación, las nivelaciones de la red de bancos profundos se efectuarán semanalmente; posteriormente, las nivelaciones podrán realizarse mensualmente hasta el inicio de operación o hasta que los desplazamientos verticales en los tramos se rezequen a 1 mm/mes; posteriormente se correrán nivelaciones semestrales.

6.- COMENTARIOS.

Para confirmar la confiabilidad de las mediciones es necesario que los bancos profundos se refieran a bancos fijos fuera de las zonas de suelos deformables. Tal es el caso del banco utilizado para los tramos Acatitla - Sta. Martha, Sta. Martha - Los Reyes y Los Reyes - La Paz, (fig. I.1.1.).

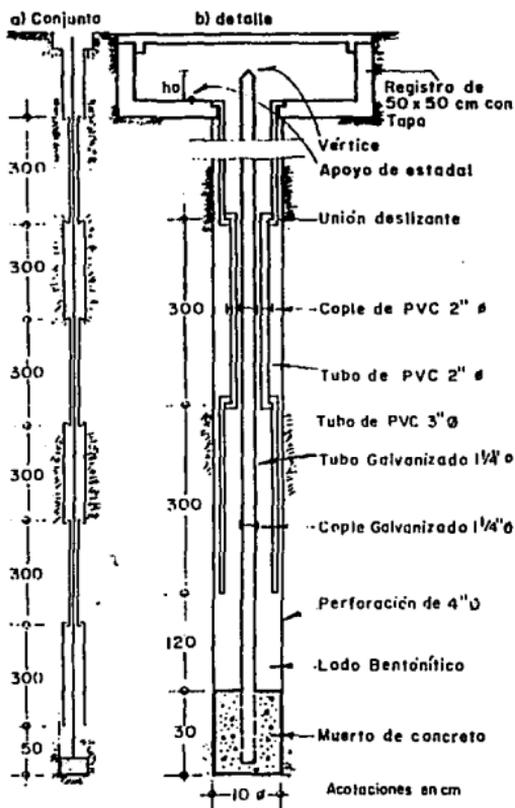


FIG. I. 1. BANCO DE NIVEL PROFUNDO

FALTA PAGINA

No.

45

Banco de nivel flotante (semiprofundo).

1.- OBJETIVO.

Este dispositivo permite determinar los movimientos verticales causados por las expansiones y hundimientos generales en el fondo de la excavación a cielo abierto causados por la influencia del bombeo. Las mediciones en este instrumento - deberán estar referidas a un banco de nivel profundo.

2.- APARATO.

Los elementos que lo integran son:

- a) Tubo galvanizado de 1 pulg. de diámetro, en tramos de un metro cuya longitud es la profundidad de instalación del banco.
- b) Muerto de concreto de $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$ de 4 pulg. de diámetro y 30 cm. de latura, colocado en la parte inferior de la tubería.
- c) Cople de unión entre el tubo galvanizado y muerto de concreto.
- d) Tapón para nivelación, colocado en la parte superior del tubo. (fig. I.2)

3. INSTALACION.

3.1. Profundidad

La profundidad de instalación del banco de nivel flotante debe ser de 1.2 m. abajo del nivel máximo de excavación.

3.2. Perforación

Debe efectuarse una perforación de 6 pulg. de diámetro con una máquina que cuente con equipo para el lavado del pozo.

3.3. Instalación.

Se baja el cilindro de concreto a la parte inferior del pozo acoplándole los tramos de 1 m. de tubo galvanizado. Debe asegurarse que el cilindro de concreto apoye firmemente en el fondo del pozo por lo que se debe cuidar la profundidad de perforación.

Después de instalado el banco de nivel flotante, deberá rellenerse con grava de tamaño máximo de 3/4 de pulg.

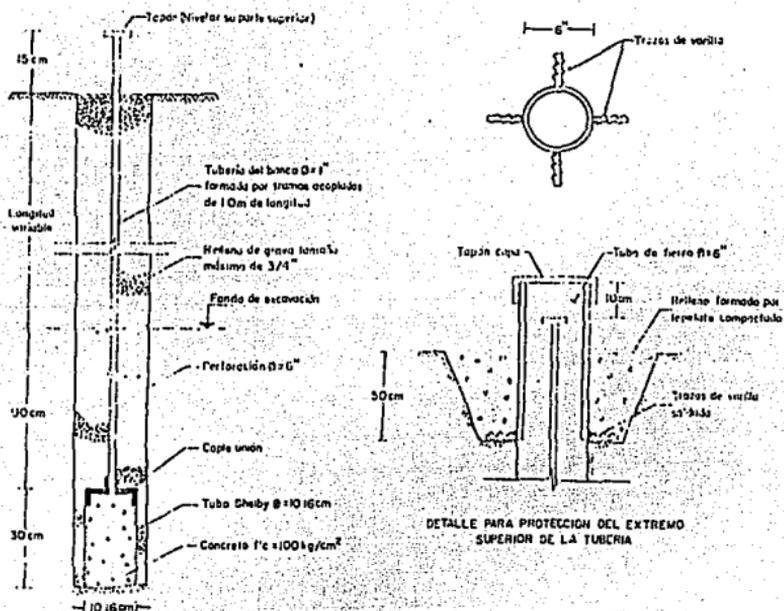


FIG. I.2. BANCO DE NIVEL FLOTANTE

3.4. Protección

La parte superior del aparato deberá estar protegida con un tubo de hierro de 6 pulg. de diámetro que cuente con un tapón capa. El tuboprotector debe instalarse como se muestra en la fig. I.2.

Las características de instalación de la protección del aparato dependerán de su ubicación como sigue:

Vía Pública; el tubo protector debe estar embebido en concreto pobre, el tapón capa debe estar a nivel de piso y tener un candado de seguridad.

Obra; el tubo protector deberá instalarse en un perforación rellena con tepetate compactado y deberá sobresalir 20 cm para que sea visible.

4.- MEDICIONES.

Variarán dependiendo de los requerimientos y avances de la obra; puede ser desde una lectura cada 15 días para verificación de hundimientos regionales, hasta una lectura por día para el control de las expansiones o hundimientos durante la excavación y construcción respectivamente. Para el caso de los tramos deprímidos en la Línea "A", se realizó una lectura cada vez que se daba el nivel de desplante de la losa de fondo en donde se localizaba un banco de nivel flotante, de esta manera se determinaba oportunamente el movimiento vertical que ocurría en el lugar.

Posteriormente, el nivel era transferido a la losa de fondo en la cual se seguían tomando nivelaciones periódicas para determinar el comportamiento de la estructura.

El procedimiento de medición es el mismo que para el banco de nivel profundo.

5.- INFORMACION OBTENIDA.

5.1. Condiciones iniciales.

Antes de que se inicien las obras de excavación en un tramo, deberá de estar instalada la red de bancos flotante correspondiente y se realizará una nivelación inicial entre los bancos a partir de un banco de nivel profundo. con esta nivelación se obtendrá las cotas con las que deberán relacionarse los movimientos verticales.

6.- COMENTARIOS.

Durante la excavación los tubos deberán desacoplarse por tramos de 1 m modificando el nivel de referencia original. Por su facilidad de instalación, el tapón protector deberá instalarse al fondo de la excavación cada vez que se desacople la tubería.

Las mediciones del banco de nivel flotante forman parte del control topográfico de las excavaciones.

Es importante que los últimos 20 cm de la excavación se realicen en forma manual para no alterar el fondo de la excavación y que repercuta en la toma de lectura del movimiento vertical ocurrido.

Referencias superficiales.

1.- OBJETIVO.

Medir los desplazamientos horizontales y verticales que ocurren en la superficie del terreno que circunda el cajón del Metro así como de las construcciones próximas (estructuras vecinas), que pudieran sufrir daños a consecuencia de las excavaciones

Estas mediciones permiten detectar oportunamente el desarrollo de condiciones de inestabilidad, o bien de deformaciones inadmisibles transversales y verticales en sus dos etapas -- durante el proceso constructivo y después de construido el cajón.

2.- DESCRIPCION.

Las referencias superficiales son puntos fijos en la superficie del terreno y en el coronamiento del muro milán; además, son también testigos pintados en las estructuras vecinas.

Testigo superficial: se instalan definiendo líneas de colimación paralelas al eje de trazo del cajón o como puntos aislados para referencias de nivel; observando las líneas de -- colimación con un tránsito, se detectan los desplazamientos horizontales, mientras que con el nivel óptico y estadales -- se determinan los desplazamientos verticales.

Referencias sobre muro milán: se instalan sobre el coronamiento del muro milán, con el nivel óptico y estadales se -- determinan los desplazamientos verticales inducidos por el procedimiento constructivo.

Testigos en muros: los testigos pintados en los muros permiten determinar la influencia de los desplazamientos verticales inducidos por las excavaciones para el cajón en las estructuras vecinas.

Testigo superficial.

Es un cilindro de concreto simple (fig. I.3.), de 15 cm de -- diámetro y 30 cm de altura, con un perno metálico empotrado en su extremo superior, este perno es un tornillo de cabeza esférica de 5/8 x 4 pulg. con una línea grabada en la -- dirección perpendicular a la ranura para desarmador. La ranura sirve de guía a la regla metálica de medición, que está graduada en milímetros y cuenta con un nivel de burbuja y -- "mira" para centrado.

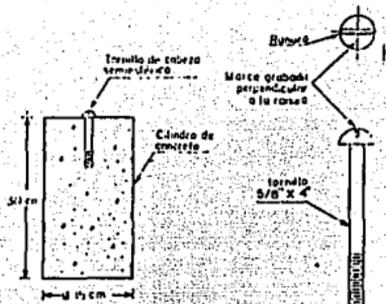


FIG. I.3. TESTIGO SUPERFICIAL

Testigo en muros.

Es una referencia de nivel horizontal (fig. I.4.), formada por un triángulo rojo pintado sobre un fondo blanco, que se localiza en los muros de construcciones cercanas a las excavaciones.

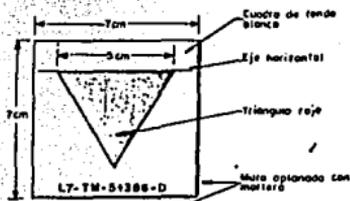


FIG. I.4. TESTIGO EN MUROS DE ESTRUCTURAS

Referencia sobre muro milán.

Puede ser un perno metálico o un taquete expansivo empotrado en la corona del muro milán.

3.- INSTALACION.

3.1. Criterios de instalación.

Los testigos superficiales se instalarán principalmente definiendo líneas de colimación, apoyados en dos puntos de referencia fijos, alejados de los extremos de la excavación para evitar que sufran desplazamientos durante el proceso de cong

trucción. Las líneas de colimación serán paralelas al eje de trazo del tramo, señalando una a cada una de la excavación; en el caso de la zona de lago, se evaluó la conveniencia de dos líneas de colimación adicionales, las cuales se localizaron cada una a 0.5 m de la excavación (fig. I.5). La separación entre testigos superficiales fue de 10 m y en los -- casos en que se encontraban estructuras cercanas importantes se instalaron tres testigos distribuidos en la longitud del lado paralelo a la excavación, o bien a cada 10 m.

En los tramos en curva se trazaron líneas de colimación tangentes, procurando que los testigos se mantuvieran dentro -- del intervalo de las distancias para los tramos rectos, como se puede apreciar en la fig. I.5.1.

Los testigos en muros se instalarán en todas aquellas estructuras, que basándose en el reconocimiento previo de la línea se identifiquen como propensas a sufrir daños, así como en aquellas que por su importancia deban vigilarse cuidadosamente. Los testigos se colocarán en los muros paralelos y perpendiculares a la excavación; el número mínimo será de tres en cada muro y la separación máxima será de 10 m (fig. I.5.2).

3.2. Procedimiento de instalación.

Todas las referencias deberán instalarse antes del a excavación del núcleo en el tramo, según los procedimientos que se describen a continuación:

a) Testigos superficiales

- se trazan líneas de colimación paralelas a la excavación y a las distancias que indique el proyecto.
- se perforan los sitios que alojarán los testigos.
- se colocan los testigos en las perforaciones, confiándolos con mortero; inmediatamente se comprueba con un tránsito la alineación de la línea grabada y con -- con un nivel de mano la horizontalidad de la cara -- superior del cilindro de concreto.
- se marcarán los testigos con su clave de identificación (fig. I.6), y se portegen hasta que haya fraguado el mortero.

b) Testigos en muros

- con ayuda del nivel topográfico de precisión se define la posición de estos testigos, a una altura de 1.5 m. sobre el nivel de banqueta.
- se localizan los sitios donde se colocarán los testi-

- gos; las zonas seleccionadas se limpian y aplanan con mortero.
- en los sitios elegidos se marcaran cuadros de 7x7 cm (fig. I.4), se pintan de blanco.
- con la ayuda del nivel de precisión se marcará el eje horizontal de los testigos refiriéndolo a un banco de nivel profundo.
- se pintan de rojo los triángulos de las referencias (fig. I.7), y se marcará la clave de identificación.

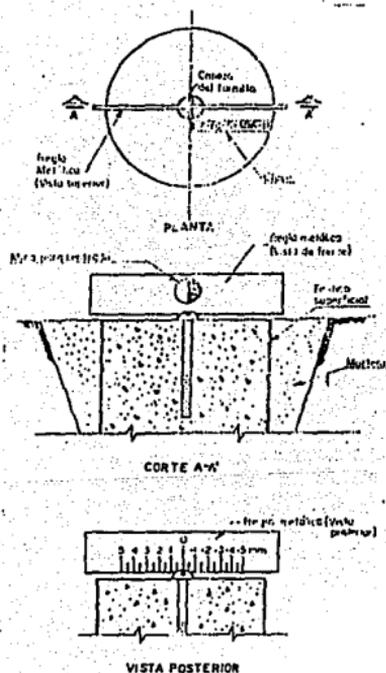


FIG. I.6. MEDICION DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL TESTIGO SUPERFICIAL

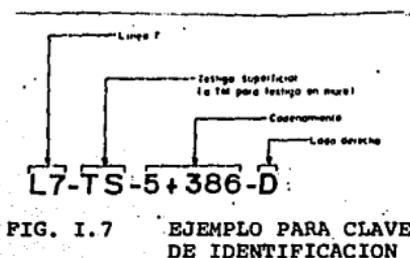


FIG. I.7 EJEMPLO PARA CLAVE DE IDENTIFICACION

4.- PROCEDIMIENTO DE MEDICION.

4.1. Equipo de medición.

El tránsito que se utilice deberá tener plomada óptica de -- centrado y precisión de 15 seg; las mediciones se harán dos veces en cada posición del aparato. Es indispensable que se compruebe el ajuste del eje vertical del aparato. El nivel topográfico deberá ser de precisión, con radio de curvatura de 20.0 m y amplificación de 25 diámetros.

Las nivelaciones serán diferenciales con el aparato nivelador equidistante a los puntos de medición y lecturas máximas a 100.0 m, utilizando estadales con nivel de burbuja y graduados en milímetros, las mediciones se efectuarán cuando la reververación sea mínima.

4.2. Desplazamientos horizontales.

Se registrarán con la ayuda del tránsito y la regla metálica colocándola en cada una de las cabezas de los tornillos, deslizándola horizontalmente hasta que la mira coincida con la línea de colimación (fig. I.6). En la escala posterior de la regla el cadenero medirá el desplazamiento horizontal entre la marca del perno y la mira; la medición se realizará con aproximación de - 0.5 mm.

4.3. Desplazamientos verticales.

Se determinarán mediante nivelaciones diferenciales entre - los testigos, tanto superficiales como de muros, y el o los bancos de nivel profundos. La precisión de las mediciones, - deberá de ser de 2 mm en 100.0 m de distancia; el ajuste del aparato deberá de verificarse semanalmente. Los puntos de - liga deberán ser confiables; para señalarlos, conviene utilizar pernos metálicos con cabeza semiesférica.

4.4. Supervisión de las mediciones.

Se apoyará en una brigada de topografía, que verificará -- selectivamente las mediciones, particularmente cuando se detecten desplazamientos importantes.

5.- INFORMACION OBTENIDA.

5.1. Condiciones iniciales.

Una vez colocadas las referencias y antes de que se inicien las excavaciones, deberán tomarse las lecturas de nivelaciones y alineaciones correspondientes a las condiciones iniciales, que definen el origen de las mediciones desplazamiento-tiempo.

5.2. Evaluación de desplazamientos.

Desde el inicio de la excavación se tomarán lecturas periódicas de nivelación y alineación de las referencias, anotando en hojas de registro que incluyan el cálculo de desplazamientos; estos mismos se representarán como se ilustran en la figura I.8. Es necesario que los cálculos de desplazamiento se realicen el mismo día en que se tomen las lecturas, para contar oportunamente con la información de control de la obra.

6.- COMENTARIOS.

Todas las nivelaciones deberán de realizarse por las mananas antes de que la reververación impida obtener lecturas confiables.

El ingeniero supervisor deberá vigilar los siguientes aspectos:

- a) el cuidado con que se instalen las referencias.
- b) la capacidad técnica del personal encargado de las mediciones.
- c) el estado físico y ajuste de los instrumentos de medición.

Tubo de observación del nivel freático.

1.- OBJETIVO.

Este dispositivo permite determinar la posición del nivel freático, así como su variación estacional en los períodos de lluvias y sequía; sirve también para detectar el abatimiento de este nivel a largo plazo. Esta medición es indispensable para definir el estado de esfuerzos de la masa del suelo del sitio, así como su evolución con el tiempo.

2.- DESCRIPCION.

El tubo de observación es un ducto vertical instalado en una perforación que profundiza por lo menos un metro por debajo del nivel freático (fig. I.9); su parte inferior es permeable para permitir la entrada del agua freática y la superior es sellada con bentonita, para evitar que el agua superficial penetre al tubo. En la figura I.9. se muestra que este dispositivo puede ser de plástico P.V.C. de 1 pulg. de diámetro con ranuras horizontales de 1 mm de espesor en un tramo de longitud 1.5 m; para evitar que el suelo penetre al interior del tubo usualmente se utiliza un filtro geotextil.

3.- INSTALACION.

3.1. Trabajos de campo.

Para la instalación de estos tubos se requiere una perforación de 5 a 10 cm de diámetro que puede hacerse con una máquina, o bien manualmente con la barrena helicoidal, es evidente que para hacer esta perforación no debe utilizarse lodo bentonítico. Una vez terminada la perforación se introduce el tubo de observación protegido con una funda de polietileno o un tubo metálico, cuya función es evitar que el filtro se contamine por la maniobra; cuando el tubo está apoyado en el fondo de la perforación simplemente se levanta la funda de protección. A continuación se rellena la parte inferior con arena media y el último metro con bentonita.

3.2. Criterios de instalación.

Estos dispositivos deben de instalarse abundantemente : en cada sitio donde se haga un sondeo , se instale una estación piezométrica o se tenga incertidumbre de la posición del nivel freático. La posibilidad de instalación se deberá precisar durante la perforación.

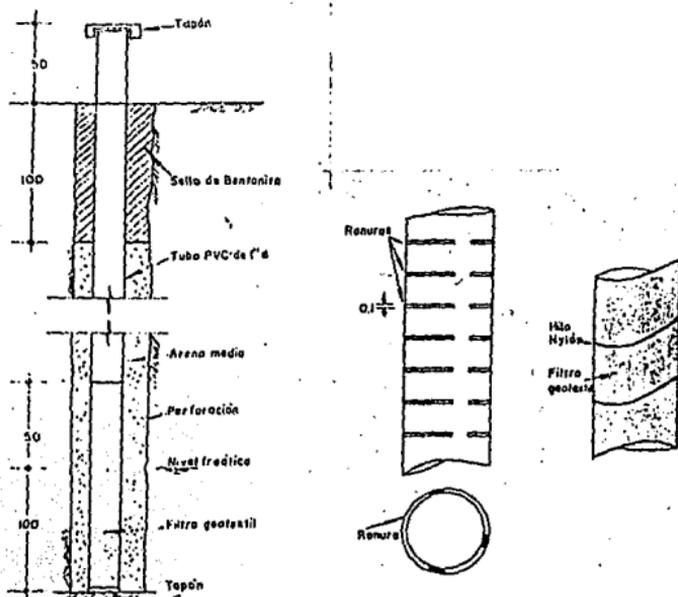


FIG. I.9. TUBO DE OBSERVACION

3.3. Protección de los tubos.

El tubo debe sobresalir de la superficie y protegerse por lo menos con un tapón, pero preferiblemente deberá tener un -- registro como el descrito para los piezómetros.

4.- MEDICION.

Se realizará de acuerdo a lo descrito para los piezómetros - abiertos.

5.- INFORMACION OBTENIDA.

Las mediciones de las posiciones del nivel freático deben - interpretarse junto con la información piezométrica de la - misma manera que la de los piezómetros.

Piezómetro abierto hincado.)

1.- OBJETIVO.

Permite determinar la presión de poro de un lugar a cierta - profundidad, midiendo el nivel del agua que se establece en la punta permeable de un tubo vertical hincado a presión.

Esta información es necesaria para cualquiera de los siguientes propósitos:

- a) determinar el estado inicial de esfuerzos del sitio en estudio.
- b) definir las condiciones de flujo de agua, y
- c) conocer la influencia del proceso constructivo en la presión de poro.

2.- APARATO.

Este se muestra en la condición de hincado en la figura I.10' los elementos que lo integran son:

- a) tubo de 5/8 de pulg de diámetro y 30 cm de longitud, con perforaciones de 5 mm forrado con filtro permeable,
- b) tubo de fierro galvanizado de 3/4 de pulg de diámetro, en tramos de 1 m con coples, y
- c) punta cónica de acero de 2.7 cm de diámetro, con sello - temporal de silicón al tubo galvanizado.

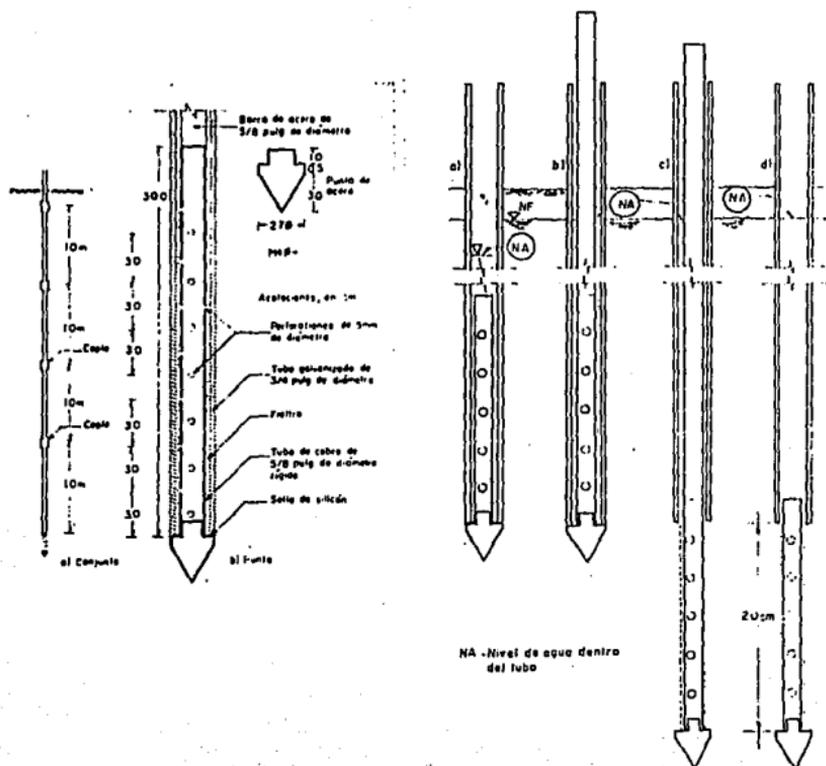


FIG. I.10. PIEZOMETRO ABIERTO E INSTALACION DE PUNTA PIEZOMETRICA

3.- INSTALACION.

3.1. Trabajos de campo.

Estos piezómetros se hincan en el suelo con los gatos hidráulicos de una perforadora o de un cono mecánico. En suelos muy blandos pueden hincarse manualmente a percusión, con la ayuda de un marro ligero; en este caso si la costra superficial es dura, previamente se deberá perforar con la barrena helicoidal (fig. I.11).

de la celda permeable (fig. I.10(b)), o bien con los impactos de un martillo hasta abrir el piezómetro 20 cm

- d) al extraer la barra de caero deberá agregarse agua de manera que el nivel del agua (NA) no cambie bruscamente sino que se mantenga cerca o por arriba del nivel freático (NF); a continuación, este nivel tenderá a encontrar su posición de equilibrio.

3.2. Criterio de instalación.

Los elementos permeables de los piezómetros deben colocarse coincidiendo con los estratos permeables que aseguren su buen aprovechando un perfil estratigráfico obtenido con el cono eléctrico, porque esta técnica detecta con precisión los estratos duros de secado solar, de pómez o de arenas volcánicas que tiene mayor permeabilidad que las arcillas intermedias; de ahí que una estación piezométrica siempre este constituida por varios bulbos de medición, usualmente de dos a cuatro, en igual número de perforaciones, pero a distintas profundidades.

3.3. Protección de los aparatos.

La parte superficial de los piezómetros, esto es, la salida de los tubos verticales, deberá quedar alojada en un registro de protección como el que se muestra en la figura I.12.

Los tubos tendrán una etiqueta que identifique la profundidad de cada celda; el registro debe también tener un nivel de referencia de las elevaciones.

4.- MEDICION.

La celda permeable permite que se defina la altura piezométrica del agua de la lente en que fue instalada; por su parte el sello debe impedir la intercomunicación con los otros lentes que queden por arriba.

El tiempo de respuesta de este piezómetro es lento, probablemente de varios días, porque debe acumularse el agua dentro del tubo vertical, hasta alcanzar la altura de equilibrio.

El nivel de agua dentro del tubo vertical se determina con una sonda eléctrica integrada con un cable eléctrico dúplex flexible y un medidor de resistencias (ohmetro); la punta del cable lleva una boquilla de plástico que impide que los dos alambres conductores puedan hacer contacto con la pared interior del tubo, tiene también un lastre metálico. Una vez que los conductores tocan la superficie del agua cierran el circuito, y el ohmetro lo registra; la precisión de la

medición es ± 1.0 cm de columna de agua. La medición de la altura piezométrica debe estar relacionada con un nivel de referencia instalado junto al piezómetro. (fig. I.12)

5.- INFORMACION OBTENIDA.

5.1. Condiciones Iniciales.

Una vez estabilizados los niveles de agua de las celdas que constituyen una estación piezométrica, y conociendo la variación con la profundidad de los esfuerzos totales, se puede determinar la variación de los esfuerzos efectivos.

En la figura I.13 se muestra que de la magnitud de las elevaciones piezométricas, se obtienen los valores de los esfuerzos efectivos a la elevaciones a las que se ha instalado las celdas de medición; estos puntos se unen entre sí, considerando que en los estratos arcillosos intermedios la presión de poro varía linealmente.

5.2. Evaluación de los niveles piezométricos.

Considerando que los niveles piezométricos pueden cambiar a consecuencia de:

- a) bombeo profundo para el abastecimiento de agua
- b) recarga de los acuíferos durante el período de lluvias
- c) bombeos superficiales por excavaciones superficiales y
- d) por la aplicación de sobrecargas superficiales

Se requiere determinar la evolución de los niveles piezométricos con el tiempo, para lo cual se realizan observaciones frecuentes.

Debe tenerse en cuenta el tiempo de demora que requieren los piezómetros abiertos para registrar estos cambios, que podría justificar el uso de piezómetros neumáticas, a pesar de su elevado costo.

6. COMENTARIOS

Los piezómetros hincados se pueden identificar también como piezómetros abiertos tipo Casagrande.

Como su instalación se hace sin emplear lodo bentonítico, su funcionamiento es muy confiable.

La posibilidad de instalarlos manualmente los hace particularmente útiles para colocarlos en sitios de acceso difícil

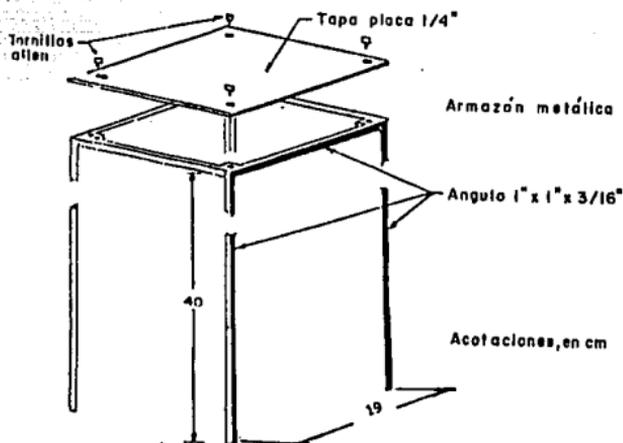
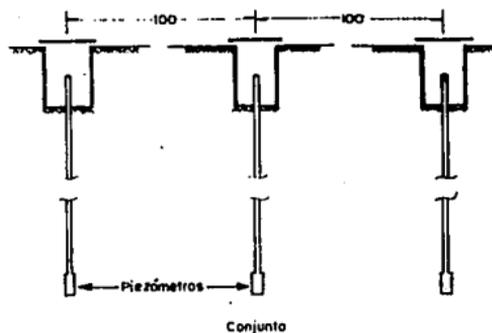
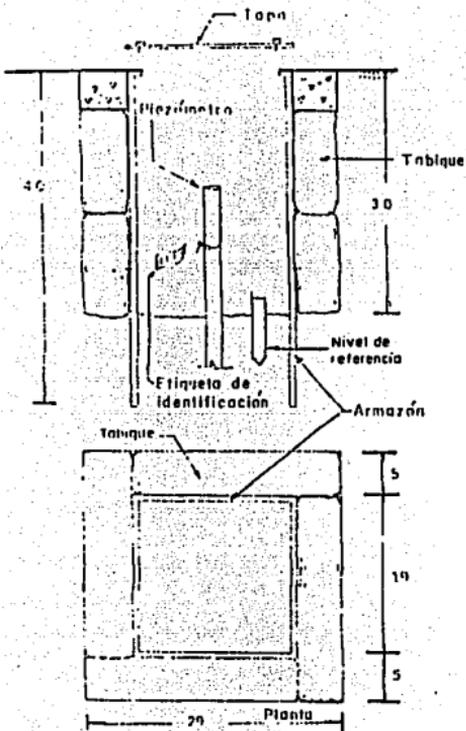


FIG. I. 12. REGISTRO PROTECTOR DE PIEZOMETROS ABIERTOS

Las instalaciones de estos piezómetros hincados es más eficiente que la de los que se instalan en perforaciones previas; por ello su costo es menor.

Se debe poner especial atención en la instalación de estos instrumentos, ya que de lo contrario una mala instalación - repercutirá en su buen funcionamiento.

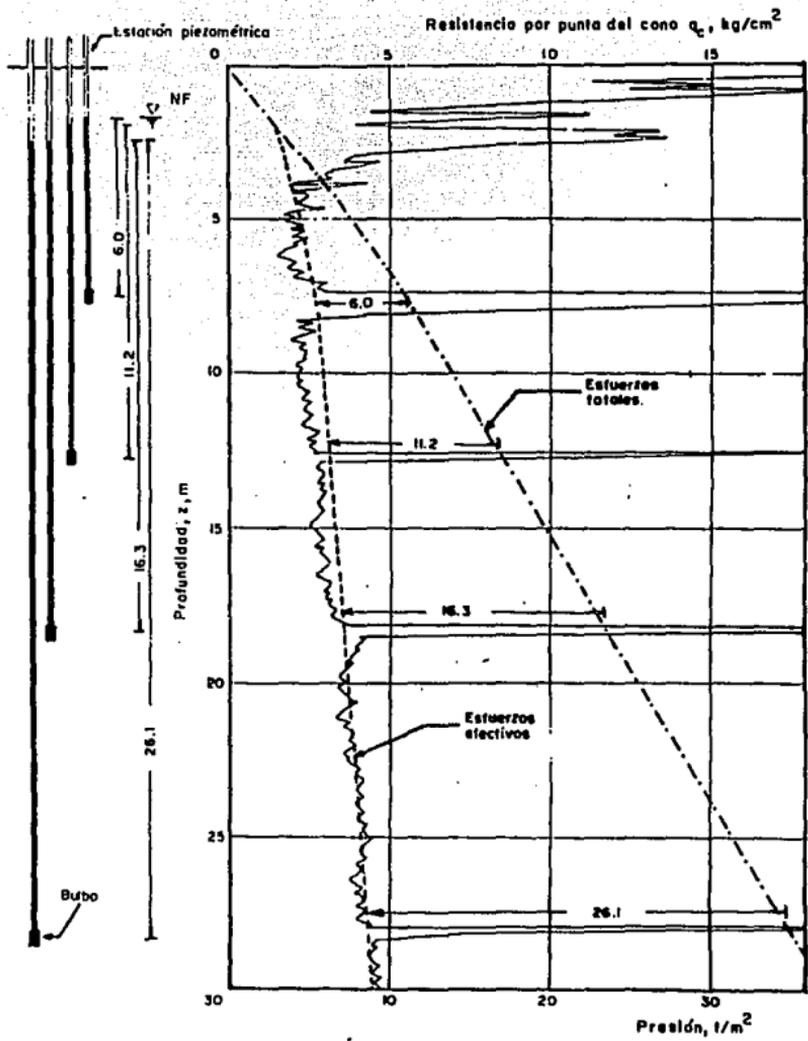


FIG. I.13. CRITERIO DE INSTALACION PIEZOMETROS Y VARIACION DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS DE UN SITIO

C A P I T U L O I I

**APROVECHAMIENTO SISTEMATICO PARA LA PLANEACION DE PROGRAMAS
DE MONITOREO UTILIZANDO INSTRUMENTACION GEOTECNICA**

APROVECHAMIENTO SISTEMATICO PARA LA PLANEACION DE PROGRAMAS DE MONITOREO UTILIZANDO INSTRUMENTACION GEOTECNICA

El planear un programa de monitoreo usando intrumentación -- geotecnica es similar a otros esfuerzos de diseno en ingeniería. Un típico esfuerzo de diseno de ingeniería comienza con la definición de un objetivo y sigue a través de una serie de pasos logicos para la preparación de planos y especificaciones.

Similarmente, la tarea de planear un programa de monitoreo - debe ser un proceso ingenieril logico y comprensivo, esto empieza con la definición del objetivo y finaliza con la planeación de como se implemetarán los datos medidos.

Desafortunadamente, hay una tendecia entre algunos ingenieros y geologos para actuar de manera ilogica, muchas veces seleccionando un instrumento, haciendo dimensiones y preguntandose después que hacer con los datos medidos. Franklin - en su referencia de 1979, indica que un programa de monitoreo es una cadena con diversos eslabones de potencia débil que se rompen con mayor facilidad y frecuncia que muchas otras tareas de la ingeniería geotecnica.

La planeación sistemática requiere de un esfuerzo especial y dedicación por parte del personal responsable. El esfuerzo de la planeación debe ser llevado por personal con experiencia especial en aplicaciones de instrumentación geotecnica. Reconociendo que esa intrumentación es simplemente una herramienta, más que un fin por si solo, éste personal debe ser capaz de trabajar en equipo con el conjunto de diseno.

La planeación procederá a través de la lista de los pasos siguientes. Los pasos estan resumidos e incluidos en el Apéndice "A". Todos los pasos, si es posible, se completarán antes de comenzar el trabajo de instrumentación en campo.

1.- DEFINIR LAS CONDICIONES DEL PROYECTO

Si el ingeniero o geólogo responsable para la planeación de un programa de monitoreo esta familiarizado con el proyecto, este paso dejara usualmente de ser innecesario, sin embargo, si el programa es planeado por otras personas, tendra que hacerse un esfuerzo especial para llegar a familiarizarse con las condiciones del proyecto. Esto incluye el tipo de proyecto y la distribución estratigráfica del subsuelo y manejo de las propiedades de los materiales del subsuelo, las condi

ciones hidráulicas del terreno, el estado actual de las estructuras cercanas u otras instalaciones, las condiciones del medio ambiente, y el método planeado para la construcción. Si el programa de monitoreo tiene que ser inducido para ayudar a encontrar hechos durante una situación de crisis, todo el conocimiento disponible de la situación debe ser también asimilado.

2.- PREDECIR LOS MECANISMOS DE CONTROL DEL COMPORTAMIENTO

Previamente al desarrollo de un programa de instrumentación, una o más hipótesis de trabajo debe desarrollarse para los mecanismos que son similares para controlar el comportamiento. Las hipótesis también deben basarse en un conocimiento comprensivo de las condiciones del proyecto.

3.- DEFINIR LAS PREGUNTAS GEOTECNICAS QUE DEBEN SER CONTESTADAS

Cada instrumento en un proyecto debe ser seleccionado y empleado para atender a una pregunta específica: si no hay pregunta, no habrá instrumentación. Antes de implantar los métodos de medición por sí mismos puede hacerse una lista de preguntas geotécnicas, estas son probablemente las que surgen durante el diseño, construcción o fases de operación.

4.- DEFINIR EL PROPOSITO DE LA INSTRUMENTACION

La instrumentación no puede ser utilizada a menos de que haya una razón válida que pueda ser defendida. Mientras se utiliza este capítulo para ayudar con la planeación de un programa de monitoreo, si los ingenieros o geólogos son incapaces para definir una clara propuesta para el programa, éstos lo cancelaran y además no procederan más adelante de este capítulo. Peck en su referencia de 1984, expuso "Los usos legítimos de la instrumentación son también diversos, las preguntas de estos instrumentos y la observación pueden ser también vitales para su respuesta, y aquello que no ponga en riesgo su importancia por usar el equipo inadecuado o innecesario".

5.- SELECCIONAR LOS PARAMETROS QUE SERAN MONITOREADOS

Los parámetros incluyen la presión de poro, presión del agua en las juntas constructivas, la tensión total, deformación, carga y tensión de los miembros de la estructura y la temperatura. La pregunta de cuáles son los parámetros más significativos, debe ser contestada.

Las variaciones en los parámetros puede resultar de causas y efectos. Por ejemplo, el parámetro de interés primario en un problema de estabilidad de un talud es comunmente la deformación, el cual puede ser considerado como el efecto del problema, pero la causa es frecuentemente las condiciones - hidráulicas del terreno. Tanto en causa y efecto, una relación entre las dos frecuentemente puede ser desarrollada, y la acción puede ser tomada para remediar cualquier efecto - indeseable, por el removimiento de la causa.

La mayoría de las mediciones de la presión, tensión, carga, esfuerzo y temperatura son influenciadas por las condiciones de una zona muy pequeña y son por lo tanto dependientes de las características de la zona. Ellas son esencialmente en muchas ocasiones las medidas de un punto, sujeto a diversas variables de la geología u otras características, y por lo tanto no pueden ser representativas de una mayor escala. Cuando este sea el caso, una larga cifra de puntos a medir requieren de nuestra confianza antes que puedan ser colocados para el registro de datos. Por otra parte, muchos de los mecanismos de la deformación responden a los movimientos tomados de una larga y representativa zona. Los datos provistos por un solo instrumento puede por lo tanto ser significativo y las medidas de deformación son generalmente las más precisas y las menos ambiguas.

6.- PREDECIR LAS MAGNITUDES DE CAMBIO

Las predicciones son necesarias, también estas requieren posiciones del instrumento y requieren instrumentos sensitivos o precisos para que puedan ser seleccionados.

Una estimación del valor máximo posible, o el valor máximo de interés nos conduce a la selección de un instrumento preciso. Esta estimación por lo tanto requiere de una opinión sustancial de ingeniería, pero en ocasiones esta puede ser hecha con un claculo directo como en el caso concreto de la presión de poro en una cimentación de arcilla debajo de la línea central de un terraplen. Una estimación de un valor - mínimo de interés conduce a la elección de un instrumento - sensitivo o preciso. Hay tendencia a buscar innecesariamente altas precisiones, cuando en realidad las altas precisiones son sacrificadas muchas veces para la alta formalidad, si las dos estan en conflicto. La alta precisión a menudo, van tomados de la mano con la delicadeza y la fagilidad. En algunos casos la alta precisión es necesaria donde los cambios dentro de la medida variable tiene un significado importante, o donde sólo un ocrto tiempo esta disponible para la definición de las tendencias, por ejemplo: cuando se establece la razón de un movimiento de una ladera desde los datos

de un inclinómetro. Los estudios paramétricos con la ayuda de una computadora frecuentemente son llevados para asistir y establecer un rango de precisión y sensibilidad.

Si las medidas son para el control de la construcción o para propósitos de seguridad, sera hecha una predeterminación de esos valores numéricos, frecuentemente estan en términos de razón del cambio medio, más que otras magnitudes absolutas. En sus ingredientes: para el método de observación, Peck 1969 incluye lo siguiente:

- * Selección de las cantidades para ser observadas... y calculos de sus valores anticipados tomando en cuenta las hipótesis de trabajo.
- * Calculo de los valores de las mismas cantidades bajo las condiciones más favorables.

El primero de los pasos ya mencionados permite reconocer diversas anomalías. Los pasos primero y segundo permiten la determinación de los niveles de advertencia de riesgo. Los niveles de advertencia de riesgo pueden ser basados claramente en los criterios definidos de comportamiento por ejemplo: donde un acemtamiento diferencial aceptable ha sido establecido para una cimentación estructural o puede ser basado a juicio sustancialmente ingenieril, requiriendo una asesoria general de los modos de comportamiento del suelo y los mecanismos de problemas o fallas potenciales. Cuando se esta en duda, varios niveles de advertencia de riesgo son establecidos.

Como un ejemplo, la Tabla 4.1 muestra un ejemplo hipotético de los niveles de advertencia de riesgo y las acciones de contingencia para el monitoreo de taludes en una mina a cielo abierto.

El concepto de los colores verde, amarillo y rojo de los niveles de advertencia de riesgo es también útil. El verde indica que todo esta bien, el amarillo indica la inclusión de medidas precautorias incluyendo un incremento en la frecuencia del minitoreo, y el rojo indica la necesidad para remediar la acción inmediata. Fellenius (1982) presenta un caso histórico que ilustra este concepto.

7.- IDEAR UNA ACCION DE REMEDIO (SOLUCION)

Inherente con el uso de la instrumentación para los propósitos de la construcción es la absoluta necesidad para la ---

TABLA II.1 EJEMPLO DE LOS NIVELES DE ADVERTENCIA DE RIESGO

Nivel de Advertencia	Criterio	Acción
1	Movimiento mayor de 10 mm en cualquier estación topográfica	Reporte a la Dirección
2	Movimiento mayor de 15 mm en dos estaciones adyacentes: o velocidad excedida de los 15 mm por mes en cualquier estación	Informe verbal y Junta en la Obra seguida por un informe escrito y las recomendaciones
3	Movimiento mayor de 15 mm - más aceleración a cualquier otra estación	Inspección local inmediata por los ingenieros consultores, junta en obra y probables - medidas de solución (de acuerdo a los planes de contingencia)

decisión, por adelantado, un modo positivo para la aclaración de cualquier problema que sea descubierto por los resultados de las observaciones (Peck, 1973). Si las observaciones demuestran que esa acción es necesaria, esa acción debe estar sobre una base apropiada, previamente anticipada a los planes.

Como se describió anteriormente, varios niveles de advertencia de riesgo pueden ser identificados, y cada uno requiere un plan diferente. La planeación debe asegurar que la labor de los materiales estén disponibles, también esa acción remediadora puede proceder con un mínimo y aceptable retraso y también el personal responsable de la interpretación de los datos de la instrumentación debe tener autoridad contractual para iniciar la acción remediadora.

Un canal de comunicación abierto será mantenido entre el diseñador y el personal de construcción de tal manera que -- las acciones de remedio puedan ser discutidas a cualquier -- hora.

Un esfuerzo especial muchas veces es requerido para conservar ese canal abierto, porque los dos grupos algunas veces -- tienden a evadir la comunicación y porque el contrato para -- el personal de diseño tiene que estar terminado. Los arreglos harán para determinar como todas las partes estarán involucradas las acciones remediadoras planeadas.

8.- ASIGNAR TAREAS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y LAS FASES DE OPRACION

Quando se asignen las tareas para el monitoreo, a las partes involucradas con el mayor interés en los datos les será asignada también la responsabilidad para su ejecución de manera directa. Las diversas tareas envueltas en el cumplimiento de un programa de monitoreo, junto con las alternativas preferentes de las partes disponibles para su ejecución, se enlistan en la Tabla II.2. Está es útil para completar este plan durante el periodo de planeación mediante la indicación de la parte responsable para cada tarea.

Varias de las tareas envuelven la participación de más de una parte. En los casos donde el propietario o dueño del -- proyecto es también el diseñador no se tendrá un ingeniero consultor de diseño. Los especialistas en instrumentación pueden ser empleados del dueño o del consultor de diseño, o pueden ser consultores expertos en instrumentación geotécnica. Todas las partes asignadas a los especialistas de instrumentación deben estar bajo la supervisión de un individuo.

TABLA II.2 CARTA EMPLEADA PARA LA ASIGNACION DE TAREAS

Tarea	Partes responsables			
	Dueno	Consultor de diseno	Especialista de Instrumentación	Contratista
Planear el programa de monitoreo				
Proporcionar los instrumentos y hacer las calibraciones desde la fábrica				
Instalar los instrumentos				
Mantenimiento y calibración de los instrumentos de una manera regular				
Establecer y programar la recopilación de los datos				
Recopilación de los datos				
Procesar y presentar los datos				
Interpretar y reportar los datos				
Decidir sobre la <u>im</u> plantación de los datos				

Si los contratistas tienen un incentivo económico o profesional para contribuir y asegurar la obtención de buenos datos, a ellos se les debe asignar mayores responsabilidades. Si el programa de instrumentación fuera promovido por el contratista, claramente él tendría la responsabilidad para todas las tareas. Sin embargo, si el programa de instrumentación

fuera promovido por el propietario como usualmente es el caso el contratista de la construcción lo vera como una interferencia con el trabajo normal de la obra y la participación de los contratistas debe ser minimizada. El contratista generalmente será el responsable de proporcionar los servicios de soporte y de acceso para la instalación durante la fase de la recopilación de los datos. La selección y el proporcionamiento del instrumento, la calibración desde la fábrica, la instalación, la calibración regular y el mantenimiento, así como la recabación de los datos, procesamiento, y su presentación deberán estar preferiblemente bajo el control directo del propietario o de los especialistas de la instrumentación seleccionada por el propietario. Cuando algunas de esas tareas sean ejecutadas por el contratista de la construcción, la confiabilidad de los datos es frecuentemente puesta en duda. La interpretación de los datos y la información será responsabilidad directa del propietario, del consultor de diseño, o del especialista de la instrumentación seleccionados por el propietario. La Tabla II.3. nos da un ejemplo de las tareas asignadas a un propietario promotor del programa de monitoreo para lo cual la participación de los contratistas no esta asegurada. Se enfatiza que la Tabla II.3. no puede ser usada como una "receta de cocina"; esto es simplemente un ejemplo, y las necesidades para cada proyecto deben ser consideradas individualmente. Mientras se completa la Tabla II.2., resulta evidente que el personal no estaba disponible para todas las tareas, lo cual nos lleva a asignar personal adicional o bien que se cambie de dirección al programa de monitoreo. Por ejemplo si el personal disponible para la recopilación de los datos es insuficiente, esto tal vez es apropiado para volverse hacia el empleo de sistemas de adquisición automática de datos: esta decisión afectará la selección del instrumento. La asignación de tareas incluira la planeación de las relaciones y de los canales de información. Las asignaciones deben claramente indicar quien tiene la responsabilidad en general y la autoridad contractual para la implantación de los resultados de las observaciones.

9.- SELECCIONAR LOS INSTRUMENTOS

Los ocho pasos anteriores deben ser completados antes de que los instrumentos sean seleccionados. Los instrumentos fueron descritos en el Capitulo I.

Quando se seleccionan los instrumentos, la característica más deseable en ellos es la confiabilidad. Es inherente en la confiabilidad su máxima simpleza, y en general las características pueden ser colocadas en el siguiente orden de de crecimiento de simpleza y de confiabilidad:

TABLA II.3 ASIGNACION DE TAREAS PARA UN PROGRAMA DE MONITOREO PROMOVIDO POR EL DUENO

Tareas	Dueno	Consultor de disenno	Especialista de Instrumentación	Contratista
Planear el programa de monitoreo	*	*	*	
Proporcionar los instrumentos y hacer las calibraciones desde la fábrica		*	*	
Instalar los instrumentos			*	*
Mantenimiento y calibración de los instrumentos de una manera regular			*	*
Establecer y programar la recopilación de datos		*	*	
Recopilación de los datos			*	*
Procesar y presentar los datos			*	
Interpretar y reportar los datos		*	*	
Decidir sobre la implantación de los datos	*	*		

- * Optico
- * Mecánico
- * Hidráulico
- * Neumático
- * Eléctrico

El bajo costo de un instrumento; nunca sera concebido para - dominar la selección y el instrumento menos caro probablente no sea el resultado del costo mínimo total. En la evaluación, la económica de las alternativas de los instrumentos, el procuramiento de costos, la calibración, instalación, mantenimiento, monitoreo y el procesamiento de datos deben ser comparados.

El estado del arte en el diseño del aparato va más lejano -- del estado de el arte de la tecnología consumida. Es responsabilidad de los usuarios desarrollar un adecuado nivel de - conocimiento de los instrumentos que ellos seleccionan, y -- y los consumidores se veran frecuentemente beneficiados mediante la discusión de sus aplicaciones con los ingenieros - en geotécnica o geólogos con el apoyo de los fabricantes antes de la selección de los instrumentos. Ellos discutirán tanto como sea posible la aplicación de ambos y buscar cualquier limitación de los instrumentos propuesto.

Los instrumentos deben tener un buen registro de su desempeño y deben tener siempre máxima durabilidad en el medio ambiente en el que estan instalados. El medio ambiente para los - instrumentos geotécnicos es duro, y desafortunadamente algunos instrumentos no son lo suficientemente bien diseñados para realizar una operación confiable en tales ambientes. Tabla II.4., es una lista de algunas de las principales características de el medio ambiente del instrumento. El transductor, la unidad de lecturas y el sistema de comunicación - entre el transductor y la unidad de lecturas deben ser considerados separadamente porque hay diferentes criterios para - aplicar a cada uno.

Con ciertos instrumentos, una lectura puede ser obtenida - esa lectura es necesariamente correcta, mientras que otros - instrumentos tienen una característica por lo cuál la calibración puede ser verificada después de la instalación; claramente dada característica es muy deseable.

La selección del instrumento debe reconocer cualquier limitación en la destreza o la cantidad de personal disponible -

identificado mientras se esta completando la Tabla II.2., y considera ambas para la construcción y las necesidades a largo plazo y sus condiciones: El criterio para las dos fases puede ser diferente y puede vincular la selección de dos diferentes métodos de monitoreo.

Otros objetivos para la selección de instrumento incluye una buena conformación, una mínima interferencia para la construcción y las mínimas dificultades de acceso mientras se instalan y se leen.

La necesidad para la adquisición de sistema automático de datos debe ser determinada, y las lecturas deben ser seleccionadas en el reconocimiento de la frecuencia planeada y la duración de las mismas lecturas. La sofisticación y automatización innecesaria serán evitadas en lo posible.

La acción debe ser planeada en el acontecimiento de cualquier parte del sistema que mal funcione, y la necesidad para las refacciones de estas partes y las unidades de lectura de espera deben ser identificadas. El tiempo inicial para liberar al instrumento afectará la selección de los instrumentos.

La pregunta final es: El instrumento seleccionado llevará a cabo el objetivo?. Si un instrumento es seleccionado sin probarse, todas las partes reconocerán la naturaleza experimental del instrumento, y será proveído con una información de respaldo, como se describe en la sección II. 12.

II.10 SELECCIONAR LAS LOCALIZACIONES DEL INSTRUMENTO

La selección de las localizaciones del instrumento reflejará el comportamiento previsto y será compatible con el método de análisis, que posteriormente será usado cuando se interpreten los datos. Los análisis de elemento finito son frecuentemente valiosos en la identificación de las localizaciones críticas y en orientaciones preferenciales de los instrumentos. Un acercamiento práctico para la selección de la ubicación de los instrumentos vincula tres pasos:

Primero, las zonas de interés son identificadas, tales como las zonas estructuralmente inseguras, con exceso de carga, o zonas donde las altas presiones de poro son anticipadas, y la instrumentación apropiada es colocada. Si no hay semejanzas, o si los instrumentos son también localizados en otra parte, un Segundo paso se toma. Una selección es hacer de las zonas, normalmente cortes transversales, donde se predice el comportamiento que se considera representativo del -

comportamiento global. Cuando se consideran cuales zonas son representativas, las variaciones en ambos procedimientos de geología y construcción deben ser considerados. Estos cortes transversales son entonces considerados como las "secciones primarias instrumentadas", y los instrumentos son colocados para dar datos comprensivos del comportamiento. Usualmente ahí sera el menor de los dos semejante a las secciones primarias instrumentadas. Tercero debido a la selección de las zonas representativas estas pueden ser incorrectas, la instrumentación sera instalada cerca de un número de "secciones secundarias instrumentadas", para servir como índices del comportamiento comparativo. Los instrumentos en esas secciones secundarias deben ser tan simples como posibles y también seran instalados cercas de las secciones primarias de tal manera que las comparaciones se puedan hacer. Por ejemplo, la instrumentación de una pared de contención ocasiona: la selección de dos o tres cortes transversales -- primario para la instalación de puntos topogáficos de inspección óptica (referencias o testigos), inclinómetros y celdas de carga. Los puntos para la inspección óptica pueden ser instalados en un gran número de secciones secundarias y utilizadas para monitorear las dos deformaciones horizontales y vertical de el muro. si en realidad el comportamiento sobre una sección secundaria parece ser significativamente diferente al comportamiento de las secciones primarias, la instrumentación adicional puede ser instalada en las secciones secundarias a medida que la construcción progresa.

Cuando se haga la selección de las localizaciones, la supervivencia de los instrumentos debe ser considerada, y las cantidades adicionales seran seleccionadas para reemplazar esos instrumentos que lleguen a ser inoperativos. Por ejemplo; Abramson y Green (1985) relatan en un estudio de usuarios, la conducta para establecer el número requerido de las celdas de esfuerzo y celdas de carga para compensar las perdidas que ocurren después de la instalación. El estudio indica un promedio de sobrevivencia para las celdas de carga de 75%, mientras que para las celdas de esfuerzo fue de 60%.

Generalmente las ubicaciones deben ser seleccionadas de tal suerte que ese dato pueda ser obtenido tan pronto como sea posible durante los procesos de la construcción. Debido a la inherente variabilidad de suelo y roca, esto generalmente es poco recomendable para confiar en un simple instrumento como un indicador del comportamiento.

Por donde quiera que sea posible, las localizaciones deben ser arregladas para proveer la cantidad de cortes entre los tipos de instrumentos. Por ejemplo, si ambos estratos establecidos y la presión de poro del agua establecida, es medida en una arcilla sujeta a la consolidación, los piezómetros

serán colocados a la mitad del espesor entre los puntos establecidos. Si ambos inclinómetros, el vertical y el horizontal están fijados en el terraplen, entonces los extensómetros son instalados cerca uno del otro y sobre el mismo corte transversal en el terreno, es decir, un extensómetro debe ser instalado cerca de un inclinómetro. Sin embargo se deben tomar cuidados para evitar la creación de inconformidades o de zonas débiles por excesiva concentración de grupos de instrumentos. Además las localizaciones, pueden usualmente mostrarse en los planos del contratista, la flexibilidad debe ser mantenida de tal suerte que las localizaciones puedan ser cambiadas en el momento en que llegue una nueva información disponible durante la construcción; de ese modo las especificaciones para una instalación flexible son requeridas.

11.- PLANEAR EL REGISTRO DE LOS FACTORES QUE PUEDEN INFLUENCIAR EN LOS DATOS MEDIDOS

Las mediciones por si mismas raramente son suficientes para proveer conclusiones importantes. El uso de la instrumentación normalmente involucra una relación de causas hacia las medidas, y por lo tanto completar los registros y que deben ser diarios, manteniendo todos los factores de esas fuertes causas de cambios en las medidas de los parámetros. Como se discute en la Sección II.5, puede haber sido hecha para monitorear las causas de varios parámetros, y estos siempre serán incluidos en los detalles de construcción y su progreso. Las observaciones visuales según esperadas y el comportamiento inusitado también serán registradas. Los registros deben ser compatibles con la geología y otras condiciones del subsuelo, así como los factores ambientales que pueden por si mismos afectar los datos monitoreados, por ejemplo, la temperatura, la lluvia, nieve, sol y sombra.

Los detalles de la instalación de cada instrumento serán anotados en las hojas de registro de la instalación, debido a que las condiciones locales o inusitada frecuentemente influyen en las variables de las medidas.

12.- ESTABLECER LOS PROCEDIMIENTOS PARA ASEGURAR LA EXACTITUD DE LAS LECTURAS

El personal responsable para la instrumentación debiera ser capaz para responder la pregunta; Esta funcionando el instrumento correctamente? La habilidad para responder depende de la disponibilidad de una buena evidencia, para lo cual su planeación es requerida. La respuesta puede algunas veces provenir de las observaciones visuales. Por ejemplo, las observaciones visuales del comportamiento de la alineación

de un tunel es esencial cuando se cuestiona la veracidad del aparente alineamiento mientras los esfuerzos y deformaciones se presentan durante el tuneleo.

En situaciones criticas, la duplicación de los instrumentos puede ser utilizada. Un sistema de respaldo es frecuentemente utilizado y muchas veces provee una respuesta para la pregunta cuando su precisión es significativamente menor que la del sistema primario. Por ejemplo, la inspección óptica puede de muchas veces ser usada para examinar la exactitud de los movimientos aparentes en las superficies de las cabezas de los instrumentos instalados para monitorear las deformaciones del terreno. La convergencia de las medidas a través de una excavación puede algunas veces ser utilizada de manera similar cuando los extensómetros han sido instalados en el terreno adyacente.

La veracidad de los datos también pueden ser evaluados por la examinación de su consistencia. Por ejemplo, en una situación de consolidación, la disipación de la presión de poro del agua debe ser consistente con el asentamiento medido, y el incremento de la presión de poro sera consistente con la sobrecarga anadida. Repetidamente también puede darse un indicio para la veracidad de los datos y que frecuentemente es tomada en cuenta para hacer muchas lecturas durante un corto tiempo para revelar si se carece o no de las indicaciones normales repetidamente sospechosas de los datos.

Ciertos instrumentos tienen características que permiten chequear en el lugar lo que esta haciendo, y estos chequeos deben hacerse de manera regular. Por ejemplo, la prueba de permeabilidad puede hacerse en piezómetros hidráulicos de tubos gemelos para observar el correcto funcionamiento. Algunos instrumentos tienen dobles características. Algunos extensómetros fijos pueden ser chequeados mediante el libre deslizamiento del alambre o barra debido al movimiento de la cabeza del instrumento hacia afuera y midiendo la elongación del alambre o de la barra.

13.- LISTAR LOS PROPOSITOS ESPECIFICOS DE CADA INSTRUMENTO

En este punto de la planeación es muy útil cuestionarse si todos los instrumentos planeados son justificados. Cada instrumento planeado debe ser numerado y su proposito debe de listarse. Si no hay un propósito específico viable que pueda fundamentarse para un instrumento planeado, este debe ser borrado.

14.- PREPARAR EL PRESUPUESTO

Sin embargo, la tarea de planeación no estara completa, mientras no se tenga un presupuesto en esta etapa para todas las tareas listadas en la Tabla II.2., para asegurar los fondos suficientes y que esten en verdad disponibles. Un frecuente error en la preparación del presupuesto es no tomar en cuenta la duración del instrumento y de la construcción.

15.- ESCRIBIR LAS ESPECIFICACIONES PARA PROPORCIONAR CADA INSTRUMENTO

Cada instrumento debe contar con su propia especificación en la que se indique claramente las características físicas y funcionales para su instalación y monitoreo. Así también, es necesario que para la determinación de uso de algún instrumento, se ponga de manifiesto las necesidades del proyecto ejecutivo entre las partes involucradas.

16.- PLANEAR LA INSTALACION

El planteamiento de una tactica de ataque para la instalación de la instrumentación, será benefica en la medida en que se aplique. Una vez partiendo de las especificaciones, es necesario programar la adquisición y colocación de ellos, determinadas por el proyectista en la coordinación de los planos, así como la capacitación del personal a cargo para esta tarea haciendo incapie en las tareas a realizar antes, durante y después de la construcción.

17.- PLANEAR LA CALIBRACION Y EL MANTENIMIENTO REGULAR

Es importante que cada uno de los instrumento sea calibrado antes de ser suministrado para su instalación, de este modo se evitarán riesgos de funcionabilidad por la mala calidad o defectos del instrumento. Así también, es necesario que durante la vida útil del instrumento se le dé un mantenimiento regular, con esto se logrará mantener en lo posible la seguridad y veracidad del instrumenro y de las lecturas que se realicen en este mismo.

18.- PLANEAR LA RECOPIACION DE LOS DATOS, PROCESAMIENTO, PRESENTACION INTERPRETACION, INFORMACION E IMPLEMENTACION DE ESTOS

Cada uno de estos procedimientos se pueden desglosar con la asignación de tareas muy particulares, con lo que se estaran fusionando planes pequenos a un plan grande haciendo más eficaz el trabajo.

18.a.- PLANEAR LA RECOPIACION DE LOS DATOS

Se requiere que se programe la instalación y la toma de lecturas de los instrumentos. Se deberán elaborar formatos de registro de datos, así como gráficas que muestren el comportamiento de los movimientos a través de los datos obtenidos. Esta obtención será realizada mediante la programación de las lecturas periódicas a cada instrumento, según lo marquen las especificaciones o también puede ser de acuerdo a las necesidades de seguridad para la construcción o estructuras cercanas a esta durante el proceso constructivo.

18.b.- PLANEAR EL PROCESAMIENTO Y LA PRESENTACION DE DATOS

Mediante la ayuda de los elementos de computo es fácil tener registrada la historia de comportamiento de cada instrumento realizando también sus gráficas de comportamiento obteniendo así una presentación de excelente calidad de los datos.

Si el personal encargado de la recopilación de los datos no es el mismo que procesara y presentara los datos es necesario que se capaciten a estos últimos para lograr un buen trabajo sin confusiones ni errores. Así mismo, se deba determinar cuales serán los periodos de presentación de datos y mediante cuales características.

18.c.- PLANEAR LA INTERPRETACION DE LOS DATOS

No basta con la recopilación de las lecturas periódicas de los instrumentos, ni su registro numérico y gráfico, la acción más importante es la interpretación de los datos obtenidos - de tal forma que se puedan predecir las condiciones de inestabilidad del terreno y se verifique su buen comportamiento durante la construcción logrando modificaciones a las especificaciones realizadas para su ejecución.

18.d.- PLANEAR EL REPORTE DE LAS CONCLUSIONES

Se debe planear la realización y entrega de un reporte de la instrumentación efectuada en campo, con lo más relevante de esta. Este reporte deba ser entregado a las personas que estén trabajando en el proyecto ejecutivo de la construcción (propietario del proyecto, proyectista y contratista), para su información.

18.e.- PLANEAR LA IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES

Se proceda conforme a lo descrito en los reportes y juntas de obra y recorridos.

19.- ESCRIBIR LOS ARREGLOS CONTRACTUALES PARA LOS SERVICIOS DE LA INSTRUMENTACION DE CAMPO

Se debera seleccionar el contrato estipulando el metodo de instalaci3n y servicio de campo (Residencia Geot3cnica).

20.- ACTUALIZAR EL PRESUPUESTO

Se realizara el presupuesto por precio unitario de todo el Sistema de Instrumentaci3n.

A P E N D I C E A

LISTA DE CHEQUEO PARA LOS PASOS DE LA PLANEACION

La planeación sistemática de un programa de monitoreo procede a través de los pasos descritos anteriormente. Los pasos están resumidos en este apéndice en forma de lista.

1. Definir las condiciones del proyecto
 - (a) Tipo de proyecto
 - (b) Disposición del proyecto
 - (c) Estratigrafía del subsuelo y propiedades ingenieriles
 - (d) Condiciones del agua freática
 - (e) Estado de las estructuras cercanas u otras instalaciones
 - (f) Condiciones del medio ambiente
 - (g) Método de construcción planeado
 - (h) Conocimiento de una situación de crisis
2. Predecir los mecanismos de control del comportamiento
3. Definir las preguntas geotécnica que necesitan ser con testadas
4. Definir el propósito de la instrumentación
 - (a) Ventaja durante el diseño
 - * definición de las condiciones iniciales del sitio
 - * comprobación de los ensayos
 - * factores determinantes en situaciones de crisis
 - (b) Beneficio durante la construcción
 - * seguridad
 - * observación del método de construcción
 - * control de la construcción
 - * proporcionar la protección legal

- * cantidades de medición que hay que llenar
- * propiciar las relaciones públicas
- * avance en el estado de arte (estética)

(c) La verificación satisfactoria del comportamiento después de que la construcción ha sido terminada

5. Seleccionar los parámetros que serán monitoreados

- (a) Presión de poro del agua o presión del agua en las juntas constructivas
- (b) Esfuerzos totales esperados de la masa del suelo
- (c) Esfuerzo total al contacto con la estructura o con la roca
- (d) Esfuerzo esperado en la masa de roca
- (e) Deformación vertical
- (f) Deformación horizontal
- (g) Desplomes
- (h) Deformaciones en suelo o roca
- (i) Carga o deformación en miembros estructurales
- (j) Temperatura

6. Predecir las magnitudes de cambio

- (a) Predecir el valor máximo, así como el rango del instrumento
- (b) Predecir el valor mínimo, así como la sensibilidad o precisión del instrumento
- (c) Determinar los niveles de advertencia de riesgo

7. Anticipar la acción de remedio

- (a) Idear la acción para cada nivel de advertencia de riesgo
- (b) Determinar quienes tendrán la autoridad contractual para iniciar la acción de remedio
- (c) Asegurar que los canales de comunicación estén -- abiertos entre el personal de diseño y el de construcción
- (d) Determinar de qué manera todas las partes involucradas participaran en las acciones de remedio

8. Asignar tareas para diseño, construcción, y fases de operación

- (a) Llenar la Tabla II.2
- (b) Asignar la responsabilidad a la supervisión para las tareas realizadas por el especialista de la instrumentación
- (c) Desarrollo del plan y reporte de los canales
- (d) Planear quien tiene la responsabilidad y la autoridad contractual para la implementación

9. Seleccionar los instrumentos

(a) Plan para una alta confiabilidad:

- * estudiar la receta sugerida para la confiabilidad
- * máxima simplicidad
- * no permitir que el costo más bajo domine la selección del instrumento
- * máxima durabilidad durante el medio ambiente - instalado
- * mínima sensibilidad a las condiciones climáticas
- * buen registro de su desempeño
- * considerar sus características, la unidad de lectura y un sistema de comunicación por separado
- * necesariamente la lectura es correcta?
- * puede ser verificada la calibración después la instalación?

- (b) Discutir la aplicación con el fabricante
- (c) Reconocer cualquier limitación de las habilidades o cantidades del personal disponible
- (d) Considerar tanto la construcción y las necesidades a largo plazo y sus condiciones
- (e) Asegurar una buena conformación
- (f) Asegurar un mínimo de interferencia para la construcción y un mínimo de dificultades para el acceso
- (g) Determinar la necesidad para la adquisición de un sistema automático de datos
- (h) Planear el tipo de lecturas y sus arreglos consistentes en la frecuencia requerida de estas mismas

- (i) Planear la necesidad de las partes de cambio y apoyar a las unidades que esten errando
- (j) Evaluación adecuada que nos llevará a hacer la lectura
- (k) Evaluación adecuada del tiempo disponible para la instalación
- (l) Preguntarse si el instrumento seleccionado llevará a cabo su objetivo

10. Seleccionar la localización de los instrumentos

- (a) Identificar las zonas de interés primario
- (b) Seleccionar las secciones primarias instrumentadas
- (c) Seleccionar las secciones secundarias instrumentadas
- (d) Planear las cantidades a cuenta para menos del 100 % de la supervivencia de los instrumentos
- (e) Ordenar las localizaciones para proporcionar prontamente los datos
- (f) Ordenar las localizaciones para proveer el chequeo de tramos o frentes
- (g) Evitar inconformidades o debilidad en los grupos

11. Planear un registro de aquellos factores que puedan - influenciar en la medida de los datos (lecturas)

- (a) Detalles de construcción
- (b) Progreso de la construcción
- (c) Observación visual esperada y comportamiento inusitado
- (d) Geología y otras condiciones del subsuelo
- (e) Factores ambientales

12. Establecer procedimientos para asegurar la corrección de las lecturas

- (a) Observaciones visuales
- (b) Duplicar los instrumentos

- (c) Sistema de respaldo
 - (d) Estudio de consistencia
 - (e) Estudio de repetitividad
 - (f) Chequeo regular en el sitio
13. Listar el propósito específico de cada instrumento
14. Preparar el presupuesto
- Incluir los costos, siendo particularmente cuidadoso de hacer una estimación realista de la duración del proyecto, para:
- (a) Planeación de un programa de monitoreo
 - (b) Hacer los diseños detallados del instrumento
 - (c) Proporcionar los instrumentos
 - (d) Hacer las calibraciones de fábrica
 - (e) Instalación de los instrumentos
 - (f) Mantenimiento y calibración periódica de los instrumentos
 - (g) Establecimiento y adopción de un programa de recopilación de los datos
 - (h) Recopilación de los datos
 - (i) Procesamiento y presentación de los datos
 - (j) Interpretación e información de los datos
 - (k) Decisión sobre la implementación de los resultados
15. Escribir y proporcionar las especificaciones del instrumento
- (a) Asignar la responsabilidad para su entrega
 - * contratista de la construcción
 - * dueño o propietario del proyecto
 - * consultor de diseño
 - * proveedores de los instrumentos, así como a los subcontratistas asignados

- (b) Seleccionar el método de la especificación
 - * especificación descriptiva, con sello de la empresa, nombre y número de modelo
 - * especificación descriptiva, sin el sello de la empresa, nombre y número de modelo
 - * desarrollo de la especificación
- (c) Seleccionar las bases para determinar el precio
 - * negociación
 - * ofrecimiento
- (d) Escribir las especificaciones
- (e) Planear las calibraciones de fábrica
- (f) Planear la aceptación de las pruebas cuando los instrumentos son recibidos primero por el usuario y determinar su responsabilidad

16. Plan para su instalación

- (a) Preparar paso por paso el buen procedimiento de la instalación con un período de anticipación a la obtención de los datos, incluyendo la lista de los materiales y herramientas requeridas
- (b) Preparar las hojas de registro para los datos de la instalación
- (c) Planear un foro de capacitación
- (d) Coordinar los planos con el contratista
- (e) Planear los accesos necesarios
- (f) Planear la protección para el dano y vandalismo
- (g) Planear itinerario de instalación

17. Plan para la calibración y mantenimiento regular

- (a) Planear las calibraciones durante la vida de servicio
 - * unidades de lectura
 - * componentes incluidas
- (b) Planear el mantenimiento

- * unidades de lectura
- * terminales de campo
- * componentes incluidas

18. Planear la recopilación de los datos, procesamiento, presentación, interpretación, información e implementación

(a) planear la recopilación de los datos

- * preparar los preliminares y detallados para la recopilación de datos iniciales y subsecuentes
- * preparar las hojas de recopilación de los datos de campo
- * planear el foro de entrenamiento
- * planear el programa para la recopilación de datos
- * planear los accesos necesarios

(b) planear el procesamiento y presentación de los datos

- * determinar la necesidad para el procesamiento automático de los datos
- * preparar los procedimientos preliminares detallados para el procesamiento y presentación de los datos
- * preparar las hojas de cálculo
- * planear un formato para los datos
- * planear un foro de entrenamiento

(c) planear la interpretación de los datos detallados

- * preparar los procedimientos preliminares detallados para la interpretación de los datos

(d) planear el reporte de las conclusiones

- * definir los requerimiento de la información contenidos y su frecuencia

(e) planear la implementación

* verificar que todos los siete pasos esten en su -
lugar

19. Escribir los arreglos contractuales para los servicios
de la instrumentación de campo

(a) seleccionar el servicio contractual así como su
método

(b) escribir las especificaciones

20. Actualizar el presupuesto

Incluir los costos para todas las tareas listadas en -
el paso 14

II.2 PROGRAMA DE INSTALACION

INSTRUMENTO

PERIODO DE INSTALACION

Banco de nivel profundo

Se instalará con dos semanas de anticipación a iniciar los trabajos de excavación del núcleo, para realizar nivelaciones periódicas que determinen el hundimiento regional. Este banco estará asociado a un banco de nivel fijo definido.

Banco de nivel superficial

Inmediatamente después de haberse instalado el banco de nivel profundo, se realizará una nivelación diferencial a doble altura en la que se ubicarán, instalarán y asignarán las cotas correspondientes de los bancos de nivel superficial que se encontraran aledanos a la zona colindante de la obra.

Banco de nivel flotante o semiprofundo

Una vez colados los muros milán y antes de iniciar la excavación de la etapa donde queden localizados.

Referencias en estructuras vecinas

Se colocarán antes de iniciar cualquier etapa de excavación (como mínimo una semana de anticipación).

Referencias superficiales

Se colocarán 15 días previos al inicio de cualquier etapa de excavación.

Pozos de observación

Se instalarán con 15 días de anticipación para realizar las primeras lecturas que nivel inicial del N.A.F.

INSTRUMENTO

Piezómetros

Referencias sobre losa
de fondo

INSTRUMENTO

Se instalarán con 15 días de anticipación para realizar las primeras lecturas para establecer el estado inicial de esfuerzos en el subsuelo.

Inmediatamente después de que frágue el concreto de la losa, se instalará la referencia y se le asignará una cota de nivel para determinar el comportamiento del cajón por la restitución de las cargas.

II.3 PROGRAMA DE LECTURAS

INSTRUMENTO

PERIODICIDAD DE LA LECTURA

Banco de nivel flotante

Una antes de iniciar la -
excavación del avance don
de queden localizados y -
la segunda al llegar al -
fondo de la excavación..

Referencia en construcciones
vecinas

En general deberán llevar
se a cabo dos lecturas --
por semana.

Referencias superficiales

Las lecturas se realizarán
dos veces por semana duran
te la ejecución de la exca
vación y hasta que se haya
construido el cajón del Me-
tro.

Referencias sobre Muro Milán

Una antes de iniciar la ex
cavación del avance en la
dovela en observación, la
segunda en la mitad de la
excavación y la tercera al
llegar al fondo de la exca
vación.

Pozos de Observación

Lecturas diarias desde dos
días antes, del inicio del
bombeo y hasta que la exca
vación llegue al fondo, y
una por semana a partir de
ese momento si se observa
poca variación de una lec-
tura a otra, o hasta termi
nar la losa de fondo en ca
so de que dichas variacio-
nes sean importantes.

Piezómetro

Igual a los pozos de observación

II.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TOMA DE LECTURAS

Los factores que influyen para la alteración de las lecturas en los diferentes instrumentos, son los siguientes:

Banco de Nivel Superficial	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo - y/o provocada por la reberveración existente en su momento.
Banco de Nivel Flotante	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo. Movimiento del instrumento por sobre-excavación de la maquinaria en los avances de trabajo. Azolve del barreno realizado para su colocación.
Referencias en estructuras vecinas	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo. Afectación a parámetros para librar interferencia con lo -- cual se afectan la continuidad de la historia de estos movimientos.
Referencias Superficiales	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo. Movimiento de la referencia por maquinaria o personal de -- obra. (Obstrucción o dano parcial y/o total por estos -- agentes)

Referencias sobre Muro Milán	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo. Recolado de estos elementos en zonas contaminadas.
Pozos de Observación	Lectura no precisa tomada por el ingeniero o auxiliar. Obstrucción del tubo del piezómetro, por material de la misma excavación. Falta de aislamiento de los cables de la sonda con el honnómetro
Piezómetro	Lecturas no precisa tomada por el ingeniero o auxiliar Obstrucción del tubo del piezómetro por material de la misma excavación. Falta de aislamiento de los cables de la sonda con el honnómetro Mutilación de la tubería y/o distracción en el peor de los casos.
Referencias sobre losa	Falta de precisión en la lectura tomada por el topógrafo. Pérdida de referencia por causas de la junta de colado con la siguiente etapa

Para evitar la obstrucción o destrucción de la instrumentación por parte de la maquinaria y trabajadores de la obra - se hacen las siguientes recomendaciones:

- o) En general, para todos los instrumentos del sistema - implantado se recomienda comunicar e informar a todos los grupos de ingenieros (supervisión de obra y constructora) la importancia y ubicación de los instrumentos instalados en su momento, para que de esta forma ellas se transmitan a su personal de campo (operadores de equipo o maquinaria, trabajadores en general).

De esta forma garantizaremos que los trabajos de excavación y estructuración se realizarán con mayor cuidado para no dañar a los instrumentos instalados.

- 1) Para los pozos de observación y los piezómetros se recomienda ponerles sus respectivos registros para evitar la entrada al interior del tubo, de materiales - que puedan azolvarlo y obstruyan a esta. Así mismo, pintar en la parte superior de la tubería (10 cm. aproximadamente) con un color que resulte, de tal manera que el operador de la excavadora vea claramente la instrumentación instalada.
- 2) Para las Referencias Superficiales se recomienda ponerles, en caso de ser posible, una protección que impida el paso de trabajadores y maquinaria de la obra.
- 3) Para los Bancos de Nivel Flotante es recomendable es recomendable: estar pendiente de evitar una sobre-excavación por parte de la maquinaria y de estar en el momento en que el avance de excavación permita el descubrimiento del banto en este momento se suspenderá - la excavación para tomar su lectura.
- 4) El resto de las referencias es necesario tenerlas bien ubicadas con algún color, para evitar confusiones - con las referencias instaladas por otra compañía.

C A P I T U L O I I I

EVALUACION DE LOS PARAMETROS MEDIDOS EN EL SISTEMA

EVALUACION DE LOS PARAMETROS MEDIDOS EN EL SISTEMA

En el presente capitulo se describe la evaluación de los parámetros medidos en el sistema de instrumentación; así como también, de las actividades de la Residencia Geotécnica en obra. Estos trabajos se desarrollaron en los tramos deprimidos de: Nave de depósito - Pantitlán, Pantitlán - Agrícola Oriental, Acatitla - Sta Martha, Sta Marta - Los Reyes, y el de Los Reyes - La Paz.

Los tramos citados se localizan según la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, en la llamada Zona de Lago caracterizada por potentes espesores de arcilla blanda de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable. Particularmente, los tramos se ubican dentro de la subzona denominada Lago Virgén, caracterizada porque el suelo ha mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación.

Bajo estas condiciones la correcta aplicación del procedimiento constructivo constituía un aspecto fundamental que cuidar para garantizar la seguridad de las excavaciones y las estructuras vecinas al cajón del Metro. Por tal motivo, la Residencia Geotécnica surgida de esta necesidad monitoreo el comportamiento de la masa de suelo durante la construcción del cajón, y evaluó los parámetros obtenidos mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- 1) Verificación del proceso constructivo e indicación de medidas correctivas en el caso de presentarse irregularidades de aplicación o de condiciones adversas del comportamiento del suelo dentro y fuera de la excavación, las cuales fueron realizadas con el apoyo del departamento de proyectos.
- 1.a) En la operación del sistema de bombeo para el abatimiento del nivel freático y por consiguiente el de la presión de poro para evitar una posible falla por subpresión, se requirió de un seguimiento estricto en los siguientes aspectos:
 - limpieza de los pozos de bombeo previa a la colocación del filtro
 - niveles hidrodinámicos en los pozos de bombeo
 - granulometría adecuada del filtro
 - supervisión de la presión especificada para el bombeo
 - medición del gasto bombeable
 - confirmación de la correcta operación de la red de pozos en las etapas de excavación

1.b) Algunos de los aspectos técnicos observados durante las etapas de excavación fueron los siguientes:

- control del sistema de apuntalamiento en relación al número y nivel de puntales, así como de la magnitud de las precargas
- revisión de las condiciones del fondo de la excavación para evitar el remoldeo del suelo que servira de des- plante para la estructura del cajón, además de los - cortes de las siguientes etapas (taludes y bermas), - que deberan cumplir con la configuración que marca el proyecto
- control del programa de devolución de cargas (estruc- turación)
- control de movimientos horizontales y verticales en el cajón y estructuras vecinas

2) La revisión e interpretación de los datos obtenidos dia- riamente del control del Sistema de Instrumentación que se implantó, tomando como base los parámetros del diseno geotécnico para el proyecto; realizar la evaluación de las condiciones de seguridad dentro de la obra y su in- fluencia en las colindancias.

2.a) Verificación del Sistema de Instrumentación con el que se monitoreo el proceso constructivo:

- cumplimiento de la frecuencia de las mediciones
- precisión de las mediciones
- existencia de la instrumentación de campo
- restitución oportuna de los instrumentos danados

A continuación se presenta la lista de los parámetros medidos en el Sistema de instrumentación:

Presión de poro
Abatimiento del nivel freático
Movimientos verticales
Movimientos horizontales

III.1. PRESION DE PORO

Según los lineamientos establecidos en la especificación del procedimiento constructivo de pozos de alivio y abatimiento del nivel freático, para garantizar las condiciones de segu- ridad en las excavaciones deberá abatirse la presión de poro en los estratos permeables a 4.85 ton/m².

Las condiciones piezométricas detectadas en cada uno de los

tramos deprímidos en los estratos permeables del subsuelo, - fueron de diversa índole por su proximidad con el fondo de la excavación.

En el tramo Nave Depósito - Pantitlán, se presentaron efectos nulos del sistema de bombeo debido a los lentes duros como - capas de secado solar y arena volcánica intercalados en los estratos del subsuelo. Estos se pudo constatar durante la -- perforación de los barrenos para la instalación de la instalación piezométrica ubicada en el cadenamamiento 9+747.950, y posteriormente durante la exzccavación en este sitio.

En la primera celda porosa instalada en el estrato permeable de 15.0 m de profundidad se registro una caída de presión de poro del orden de 1.70 ton/m²; en la segunda punta piezométrica de esta estación, con una profundidad de 9.0 m no fue posible evaluar dichas condiciones por la destrucción de el piezómetro previamente al arranque de la excavación. Bajo - estas circunstancias, el efecto medido en este caso corres-- pondio al originado por la excavación.

Aún y cuando los abatimientos de la presión de poro sólo se cumplieron en un 90% promedio con respecto a los de proyecto de Mecánica de Suelos, durante la etapa de excavación no se pesentaron indicios de desarrollo de alguna falla mecánica por subpresión; así mismo, el fondo de la excavación siempre se mantuvo estacnco sin necesidad de utilizar un bombeo de - achique.

Por lo anteriormente mencionado, se puede decir que la inter calación de los lentes duros (capas de secado solar, lentes de arena volcánica y lentes de vidrio volcánico), en los -- estratos de arcillas preconsolidadas superfiales influyen en el monitoreo del abatimiento de la presión de poro.

En estos casos, no se deberá confiar en que aunque el abati- miento de la presión de poro sea mínima a lo especificado no se correrá ningún riesgo por la seguridad de la excavación. Se deberá suspender el frente de excavación para la revisión del funcionamiento del sistema de bombeo y en tal caso reducir la longitud de las etapas de excavación hasta que se tengan resultados satisfactorios del abatimiento y continuar con la longitud de avance programada, por lo cual estos trabajos deberán llevarse en coordinación con el departamento - de Mecánica de Suelos y la Residencia Geotécnica manteniendo comunicación con la Supervisión de Obra Civil para darle un seguimiento a los trabajos que se deriven de esta revisión de proyecto.

En la figura III.1, se presentan los abatimientos de la presión de poro de la celda piezométrica en el cadenamamiento -- 9+747.950 del tramo Nave Depósito - Pantitlán.

METRO PANTILAN - LA PAZ

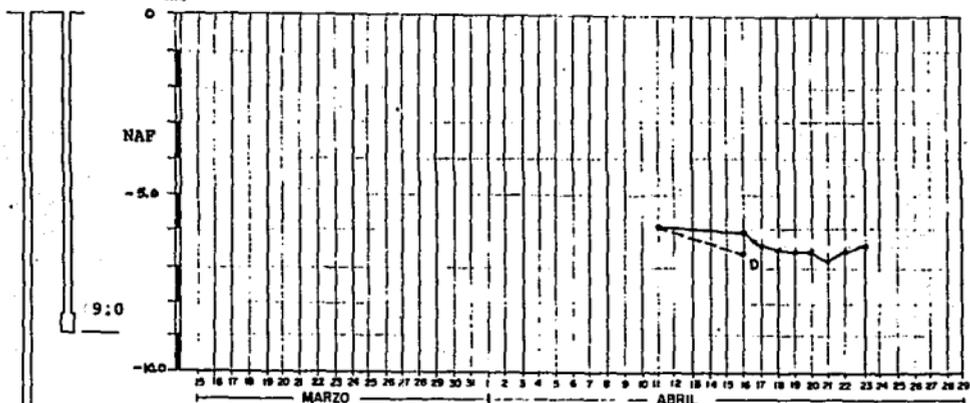
NAVE DEPOSITO - PANTITLAN

TRAMO: _____

INSTRUMENTO: _____ PZ (2) y PZ (1)

LOCALIZACION: _____ 9 + 747.950

(1) (2)



SIMBOLOGIA

— PZ 1
 - - - PZ 2
 D DESTRUIDO



La situación antes descrita se presentó en los tramos Partitlán - Agrícola Oriental y Acatitla - Santa Martha.

Las condiciones encontradas en la piezometría planteada, dentro del Sistema de Instrumentación para determinar las condiciones hidráulicas en las capas permeables del subsuelo, que por su proximidad con el fondo de excavación pudieran ponerle en riesgo, para el caso del primer tramo mencionado anteriormente se describen los principales efectos evaluados:

- a) Dentro de la denominada zona de transición, se presentó un tramo en el cual el sistema de bombeo fue deficiente, dicho tramo comprende los cadenamientos: 9 + 722.950 al 9 + 800.000, bajo esta circunstancia el efecto medido del abatimiento de la presión de poro fue propiciado por la excavación del núcleo. Un ejemplo de este caso, es la estación piezométrica que se localizaba en el cadenamiento 9 + 747.950, con el piezómetro instalado en un estrato permeable a una profundidad de 15.0 m, se registró una caída de la presión de poro del orden de 1.70 ton/m²; y en el otro piezómetro instalado a una profundidad de 9.0 m, no fue posible evaluar dichas condiciones por la destrucción sufrida antes del arranque de la etapa de excavación.

- b) En general en el tramo, las condiciones por concepto de la presión de poro observadas mediante la piezometría instalada entre los cadenamientos 9 + 800.000 al 10 + 192.000, fueron las siguientes:

Según los lineamientos establecidos en la especificación del procedimiento constructivo de los pozos de alivio y de abatimiento del nivel freático, para garantizar condiciones de seguridad en las excavaciones deberá abatirse la presión de poro en los estratos permeables instrumentados a un mínimo de 4.85 ton/m². En los piezómetros de 9.0 m se logró abatir la presión del orden de 5.8 a 6.5 ton/m² y en los piezómetros de 15.0 m de profundidad se registraron abatimientos de presión de 6.10 a 7.80 ton/m², en ambos rangos establecidos se cumplió con los requerimientos definidos por proyecto.

La información gráfica se muestra al término de este capítulo.

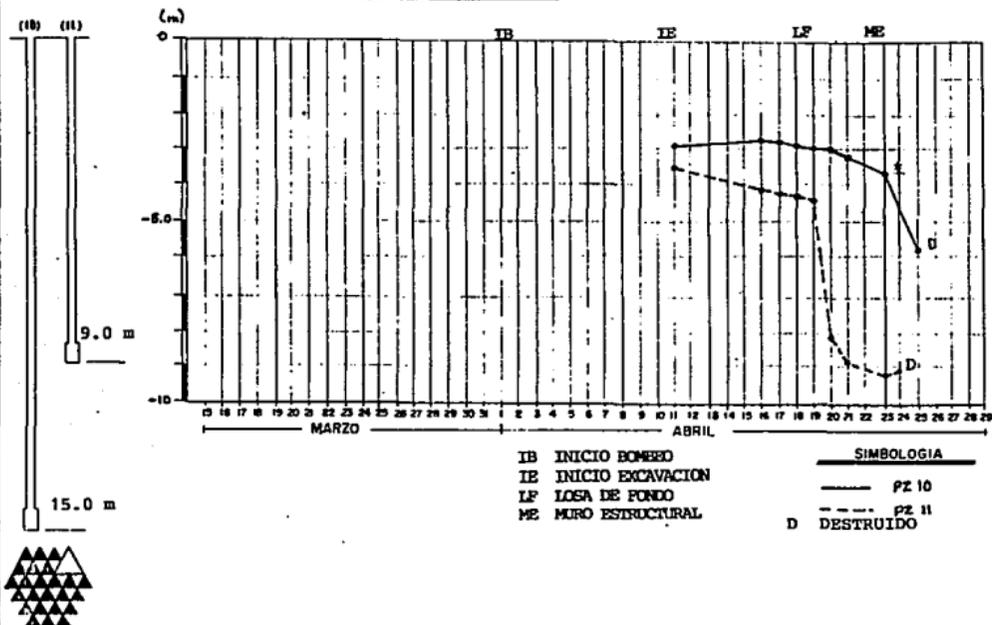
En el segundo tramo se tienen los siguientes efectos evaluados:

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTHA

INSTRUMENTO: PZ (10) Y PZ (11)

LOCALIZACION: 20+305.500

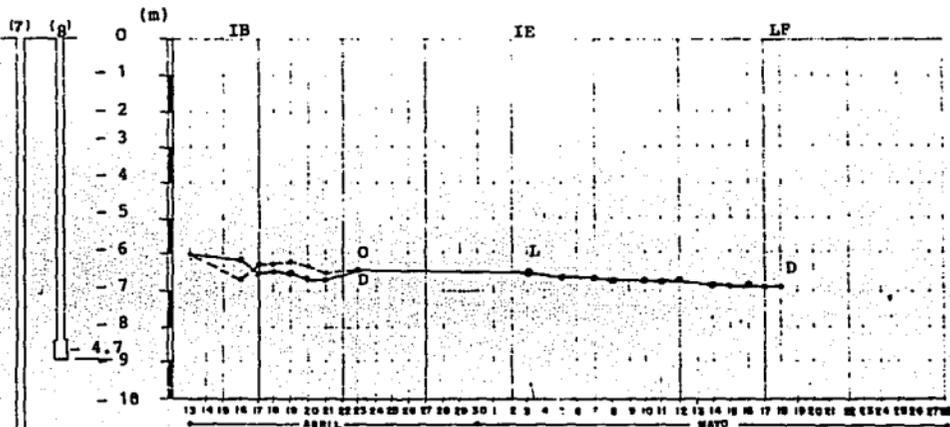


METRO PANTILAN - LA PAZ

TRAMO ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO PZ-7

LOCALIZACION CAD 20+241.50



O OBSTRUIDO
D DESTRUIDO
L LIBERADO

SIMBOLOGIA
 — PZ,7 15.0 m
 IE INICIO EXCAVACION
 LF COADO DE LOSA FONDO



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

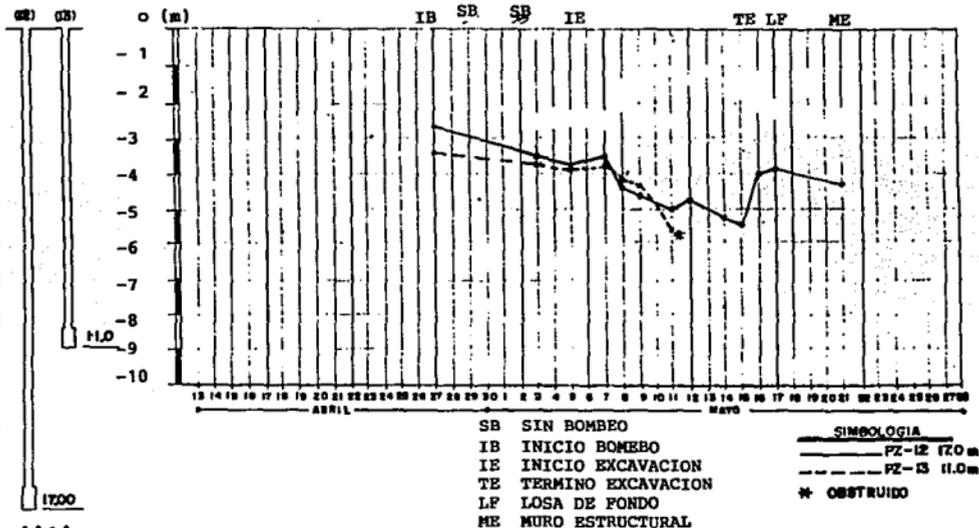
FIG. B

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO: PZ-12, PZ-13

LOCALIZACION: CAD. 20+353.50



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

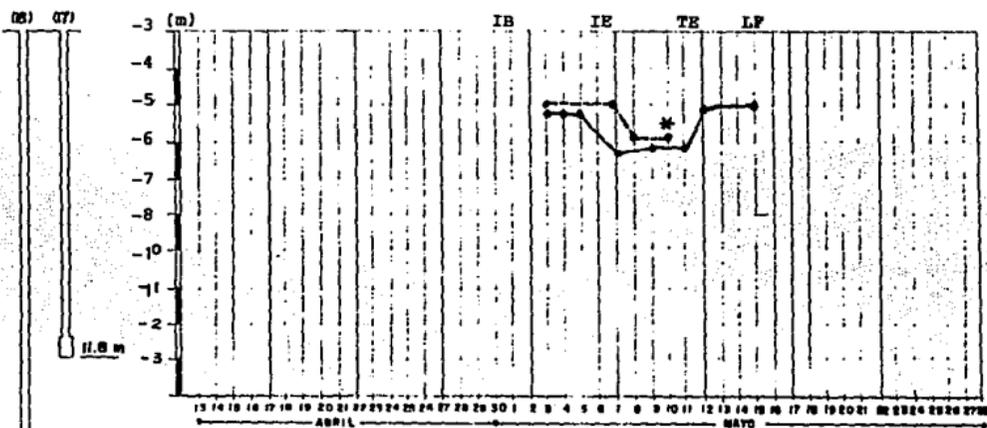
FIG.

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO PZ-16 PZ-17

LOCALIZACION: CAD 20+449.50



TESIS PROFESIONAL
DE LA CRUZ URZUA JOSE LUIS

SIMBOLOGIA
 ——— PZ-16 5.0 m
 - - - - PZ-17 11.8 m
 * OBSTRUIDO

IB INICIO BOMBEO
 IE INICIO EXCAVACION
 TE TERMINO EXCAVACION
 LF LOSA FONDO



FIG.

En la figura A, podemos observar que durante el tiempo previo al inicio de excavación, se comenzó a tener buenos resultados del abatimiento de presión de poro en ambos piezómetros, durante la etapa de excavación y hasta el colado de la losa de fondo estos abatimientos fueron positivos.

En la figura B, únicamente se pudo tener información del abatimiento de la presión de poro en la punta piezométrica con profundidad de 9.0m, hasta el término de la excavación por -- caudas de la destrucción del piezómetro por elequipo de excavación, apreciándose un buen abatimiento de 6.90 Tn/m y el anterior con un abatimiento de 5.50 Ton/m².

Las puntas piezométricas 12 y 13 localizadas en el cadencia--- miento 20+353.50 que venían teniendo un buen funcionamiento fueron bloqueados. La suspensión parcial del bombeo por causas de falta de energía eléctrica en días anteriores influyó en los instrumentos para el abatimiento de la presión de poro. Normalizándose tal situación se nota una mejoría en el abatimiento de presión de poro en cada uno de los instrumentos.

III.2. ABATIMIENTO DEL N.A.F.

El agua subterránea se encuentra confinada por una zona de aereación y una zona de saturación.

En la primera masa del suelo esta constituida por poros intercomunicados los cuales contienen aire y agua, y en la segunda zona la masa del suelo esta completamente llena de agua.

Definición.- Al lugar geométrico de los puntos en la zona de saturación en que la presión del agua es igual a la presión atmosférica se le llama nivel de aguas freáticas o más brevemente, nivel freático.

Cuando la frontera superior de la zona de saturación es permeable es cuando se define un nivel freático.

Debido a las características del subsuelo de la zona del Lago Virgen ya mencionadas, y verificadas mediante sondeos y estudios previos en la zona, para el proyecto geotécnico, se tuvo la necesidad de implementar un Sistema de Pozos de Bombeo, para abatir el nivel freático y por consiguiente disminuir la presión de poro en la masa del suelo en su fase inicial líquida evitando una posible falla por subpresión.

Durante los trabajos de instalación y operación de los pozos de bombeo se requirió de un seguimiento preciso en los siguientes aspectos:

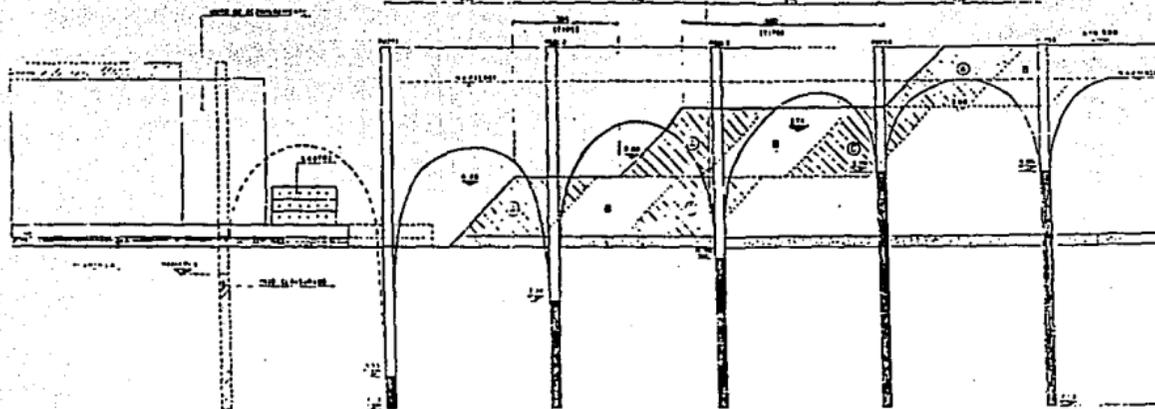
- * Ubicación exacta del pozo conforme al proyecto ejecutivo
- * Verificación de la profundidad del pozo
- * Limpieza de los pozos de bombeo previa a la colocación del ademe
- * Granulometría especificada del filtro
- * Operación de bombeo inicial de acuerdo a especificaciones
- * Medición del gasto bombeado (gasto excedente)
- * Supervisión de la correcta operación de la red de pozos
- * Limpieza de la red y carcamos
- * Suspensión de la operación del bombeo según especificaciones

En la construcción de los pozos de bombeo se presentarán algunos casos en los cuales las perforaciones (de 12" de diámetro) realizadas por tal fin, llegaban a permanecer abiertas; lapsos de tiempo mayores de 24 horas, provocando azolvamientos en ellos por la presencia de caídos a causa del reblanqueamiento de las paredes o vibraciones de golpes en la superficie del terreno.

El azolvamiento de los pozos de bombeo ocasiona un mal funcionamiento de las puntas inyectoras y eyectoras ya que no abate el nivel freático ni la presión de poro.

En la operación del bombeo, por especificación general, se planteaba la necesidad de llevar a cabo una etapa de bombeo previo a la excavación para permitir la reducción de la presión de poro anulando así, la posibilidad de una falla por subspresión; al respecto se presentaron casos en que no se cumplía con esta condición. La Residencia Geotécnica, en este tipo ordenaba la suspensión de la excavación hasta el cumplimiento del tiempo especificado mediante la coordinación

METRO LIGERO PENITENCIAN LA PAZ



SECUENCIA DE OPERACION DE LOS POZOS DE BOMBEO

FIG. III.2.1^a

con la Supervisión de Obra Civil.

La operación del bombeo, indujo una importante influencia en las estructuras vecinas colindantes con el cajón de Metro de bido al radio de influencia.

Para reducir el radio de influencia fue necesario escalonar la operación de los pozos de bombeo (III.2.1') mediante la modificación a la especificación respectiva; cabe mencionar que el ajuste de los niveles hidrodinámicos en cada pozo de operación carecio de un contro regular.

Los lineamientos de especificación del bombeo establecen que para garantizar su eficiencia, la red principal de los sistemas debe trabajar con una presión de 4.0 kg/cm^2 , pero en realidad, en algunos equipos no se conto con el dispositivo de medición (manómetro) para verificar dicha presión.

Por otra parte, para la determinación del gasto de excedencia con alto grado de confiabilidad, se solicito la colocación de un pequeno vertidor en las salidas de los cárcamos de bombeo, y la entrega de los datos recabados diariamente de la medición de los gastos ya señalados.

La obtención de la información de los dispositivos de control recomendados en el sistema de bombeo y los datos recopilados del sistema de instrumentación, nos daría la posibilidad de contar con un panorama general del procedimiento para realizar la evaluación de las condiciones de seguridad satisfactoriamente; el caso fue que la información derivada de la operación del bombeo se proporciono en forma irregular por parte de la constructora, e inclusive en algunos casos esta información se negó.

Mediante la evaluación de las condiciones en los frentes de trabajo se logró en el más favorable de los casos, la reducción del tiempo de bombeo previo al inicio de la excavación y que fue ajustado de 10 a 6 días unicamente. Esta medida se indicó exclusivamente para los tramos deprimidos de Acaticla - Sta Martha, Sta Martha - Los Reyes y Los Reyes - La Paz; en los cuales se observaron buenas condiciones de permeabilidad del subsuelo favorables para el abatimiento del nivel freático.

En la zona de Pantitlán se presentaron algunas condiciones irregulares de comportamiento, particularmente se detectó el desarrollo de incipientes mecanismos de falla, lo que originó realizar modificaciones al proceso constructivo junto con el bombeo para contrarrestar los efectos a sucitarse.

Con relación a esto último se puede mencionar el caso donde grietas por tensión sobre la superficie del suelo adyacente con el tramo de excavación. Casos concretos son los de los tramos: Nave Depósito--Pantitlán, Pantitlán - Agrícola - Oriental, en el punto referente a las referencias superficiales se muestran los registros del monitoreo realizado a estas mismas.

Así mismo, en el tramo Acatitla-Sta. Martha se presentaron fallas de tensión superficial por efecto de un exceso de tiempo bombeo después de terminada la etapa de excavación y colada la losa de fondo de ésta. Estas fallas de tensión superficial se presentaron paralelas al cajón y también perpendiculares a éste, el ancho de estas oscilaban entre los 3.0 y 10.0cm, con la longitud de 5.0 a 10.0m y profundidades de 0.30 a 0.70m.

Aunque en ninguno de los casos se presentaron riesgos o por menores, este mecanismo indicaba la reacción del subseulo al abatir el nivel freático de una manera desmesurada.

De todos los tramos en los cuales se implemento el Sistema de Instrumentación, se pudo determinar que el subsuelo de la zona de Pantitlán (Estación tramo Pantitlán-Agrícola Oriental) tiene un alto índice de plasticidad y que sobre todo llega a ser un suelo muy permeable. Este último aspecto repercutió demasiado en la capacidad de carga del terreno y en las estructuras vecinas.

El sistema de bombeo no fue suficiente, aún y cuando este fue diseñado con los datos que se obtuvieron con la instrumentación y sondeos para el estudio geotécnico de la zona; por lo tanto se determino el empleo de un sistema de pozos de inyección ya que durante la excavación, el nivel freático no se pudo abatir.

El sistema de pozos de inyección fue muy importante para el control de los movimientos verticales, para ello también se procedió a modificar los avances de excavación.

Para saber la posición del nivel freático durante el bombeo se realizaba el monitoreo en todos los pozos de observación que se encontraban dentro del frente de excavación. (En las figuras A y B se muestran dos ejemplos de los niveles hidrodinámicos en pozos de bombeo) ya que el bombeo operaba durante las 24:00 horas del día, la toma de lecturas a los pozos de observación se realizaba diariamente; en las pocas de las veces las lecturas se llegaron a realizar aún después de construido el cajón. Para tener la mayor precisión posible de la posición del nivel freático, al pozo de le asignaba una cota de nivel con la cual se referenciaba al realizarse

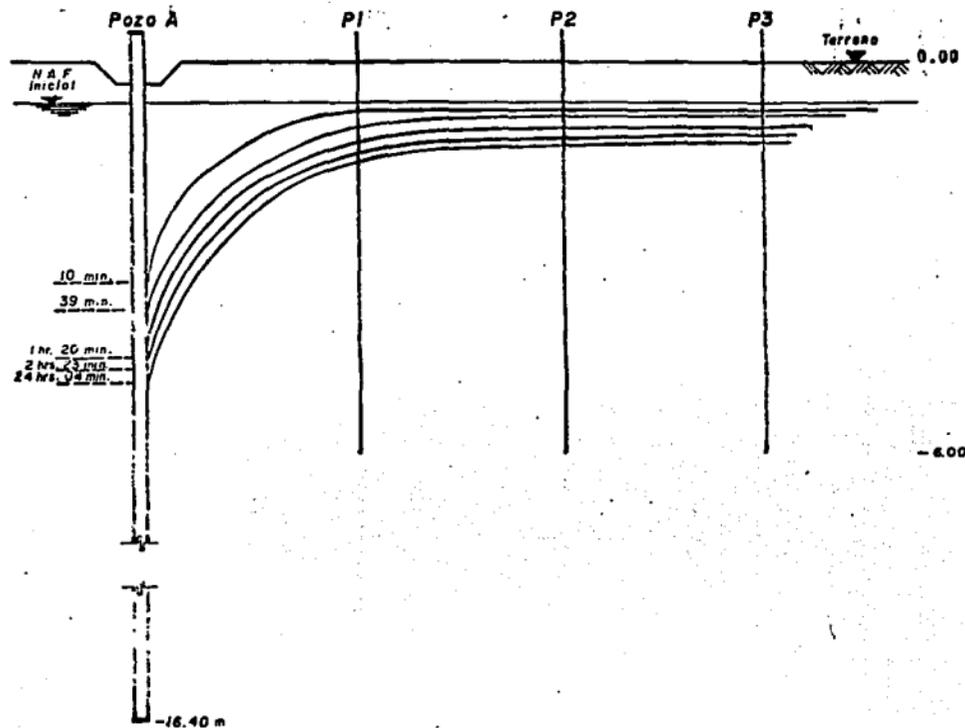


Fig. A Curvas Abatimiento - Tiempo

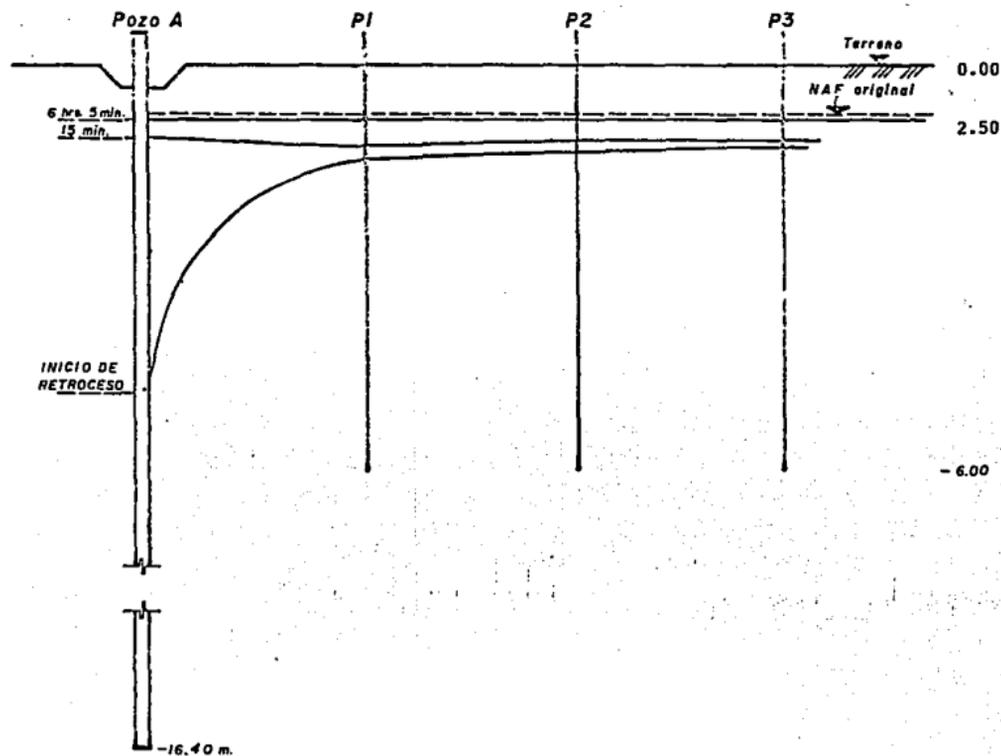


Fig. B Curvas Recuperación-Tiempo

la excavación perdiéndose el nivel del terreno natural y además de que no es una superficie infinitamente plana.

Durante el monitoreo de la posición del nivel freático (abatimiento), debido a la simpleza del equipo de sondeo (homómetro y cable) era necesario realizar, de dos a tres lecturas en cada instrumento ya que de no ser así se podía incurrir en un error que se reflejaría en la gráfica de abatimiento y la tabulación de estos datos.

Al igual que los demás instrumentos del sistema, los pozos de observación estaban expuestos a ser dañados en cualquier momento por el equipo de excavación durante esta etapa. El cuidado de los instrumentos fue una responsabilidad imperante de la Residencia Geotécnica en la obra, ya que de estos dependía el control del comportamiento del subsuelo durante la construcción.

En los casos más afortunados cuando un instrumento era dañado, se procedió a su reinstalación inmediata si así lo permitían las condiciones en otro lugar pero de tal manera que quedara dentro de la etapa de excavación a realizarse. Este tipo de situaciones fue muy común en todos los tramos instrumentados de la Línea.

El problema no era la intersección del equipo de excavación con el instrumento durante la actividad, si no la falta de conocimiento por parte de los operadores de las drogas acerca de la utilidad e importancia de los instrumentos, pues pensaban que eran tuberías de instalaciones municipales obsoletas ó fuera de servicio, desperdicio de tuberías, etc. Por lo tanto, no reparaban en tener el más mínimo cuidado de no dañarlos. Ante tal situación se tuvo que capacitar a los operadores, dando resultados más positivos en la permanencia de los instrumentos.

Cuando se emplea el bombeo por gravedad para eliminar la subpresión en una capa de arena intercalada en las formaciones arcillosas bajo el fondo de la excavación, (como el caso del tramo Los Reyes-La Paz), el abatimiento del nivel freático se presenta solo en la zona a excavar y afecta un espesor de suelo igual a tres veces el ancho del cajón.

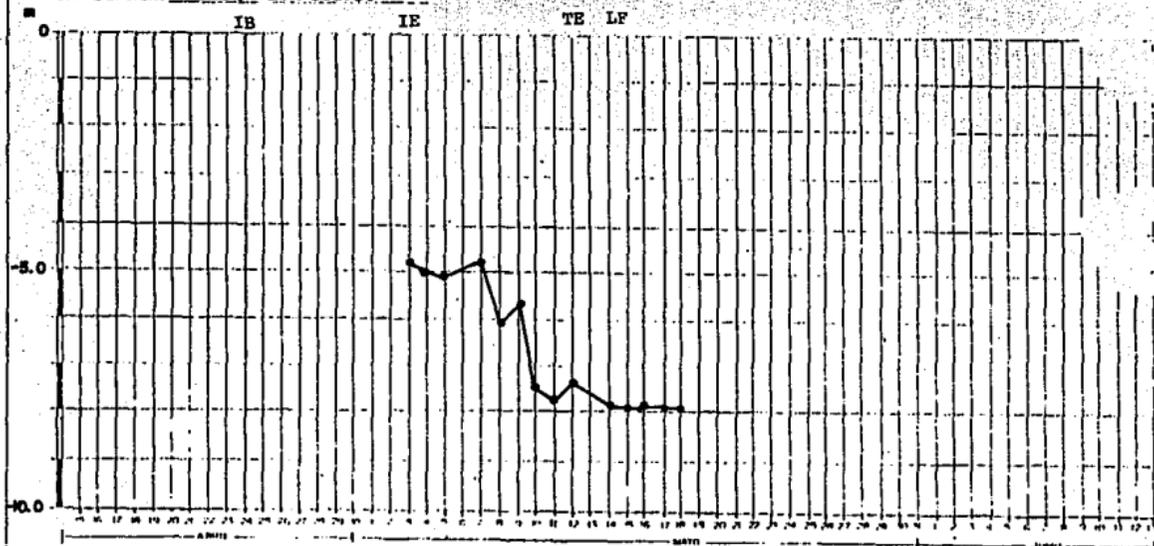
A continuación se presentan algunas gráficas del monitoreo realizado en los pozos de observación durante su vida de servicio, así como sus incidencias.

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA. MARTA

INSTRUMENTO: P. OBSERVACION 8

LOCALIZACION: CAD. 20+353.50



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

SIMBOLOGIA

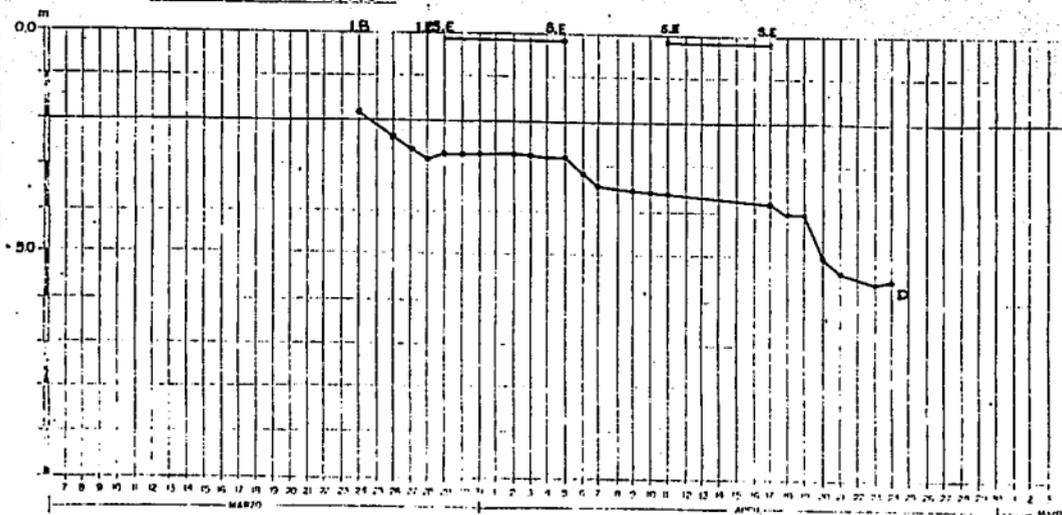
IE INICIO DE EXCAVACION
 IB INICIO BOMBEO
 TE TERMINO EXCAVACION
 LF LOSA FONDO

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO: P. OBSERVACION (5)

LOCALIZACION: CAD. 20+305,500



NOTA: LA INTERRUPCION DE ENERGIA ELECTRICA FUE UNO DE LOS PROBLEMAS MAS FRECUENTES DURANTE LA FASE INICIAL DE LAS EXCAVACIONES DE NUCLEO

SIMBOLOGIA

- LB INICIO BOMBEO
- I.E. INICIO EXCAVACION
- S.E. SIN ELECTRICIDAD P/BOMBES.
- D DESTRUCCION DEL P. OBSERV.



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

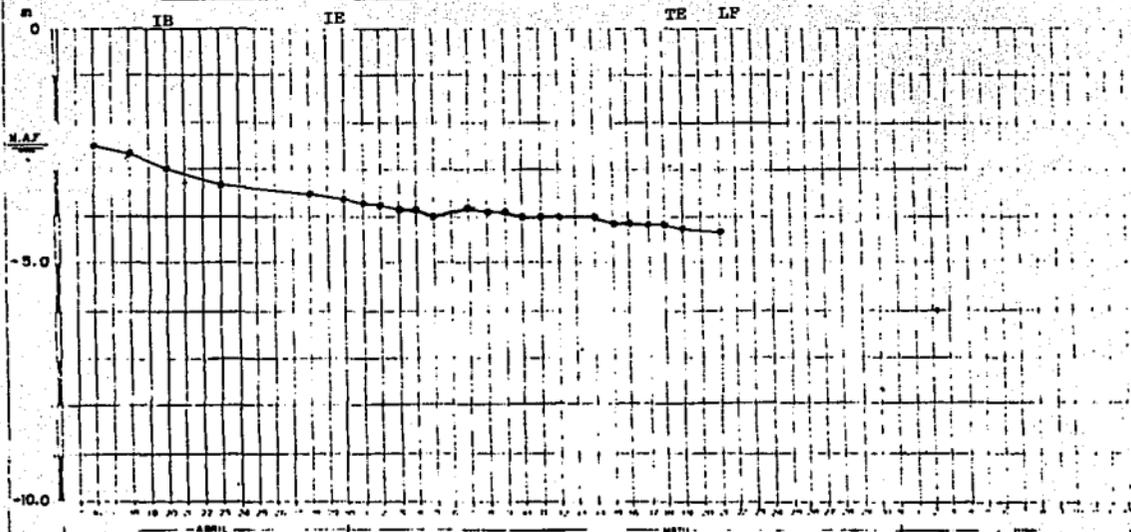
FIG

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO ACATITLA -- STA. MARTA

INSTRUMENTO P. OBSERVACION ID

LOCALIZACION CAD. 20 + 449.50



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

SIMBOLOGIA

IB INICIO BOMBEO
 IE INICIO EXCAVACION
 TE TERMINO EXCAVACION
 LF LOSA DE FONDO

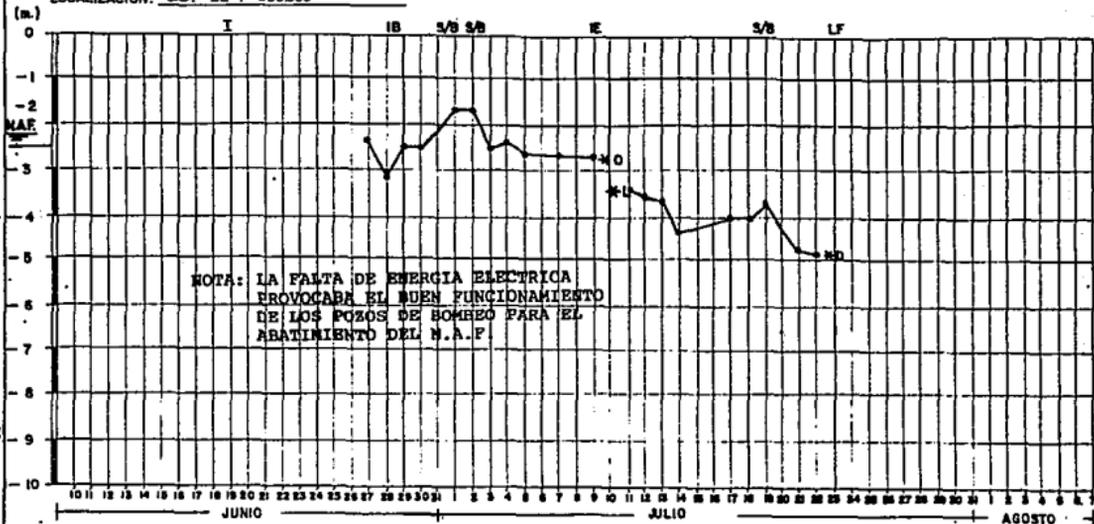
FIG

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: STA. MARTHÁ - LOS REYES

INSTRUMENTO: P.O. (2)

LOCALIZACION: CAD. 22 + 656.000



LF COLADO LOSA FONDO

IB INICIO BOMBEO
 IE INICIO EXCAVACION
 S/B SIN BOMBEO
 LF COLADO LOSA FONDO

SIMBOLOGIA

O OBSTRUIDO
 L LIBERADO
 D DESTRUIDO
 I INSTALACION

— P.O. (2)

TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

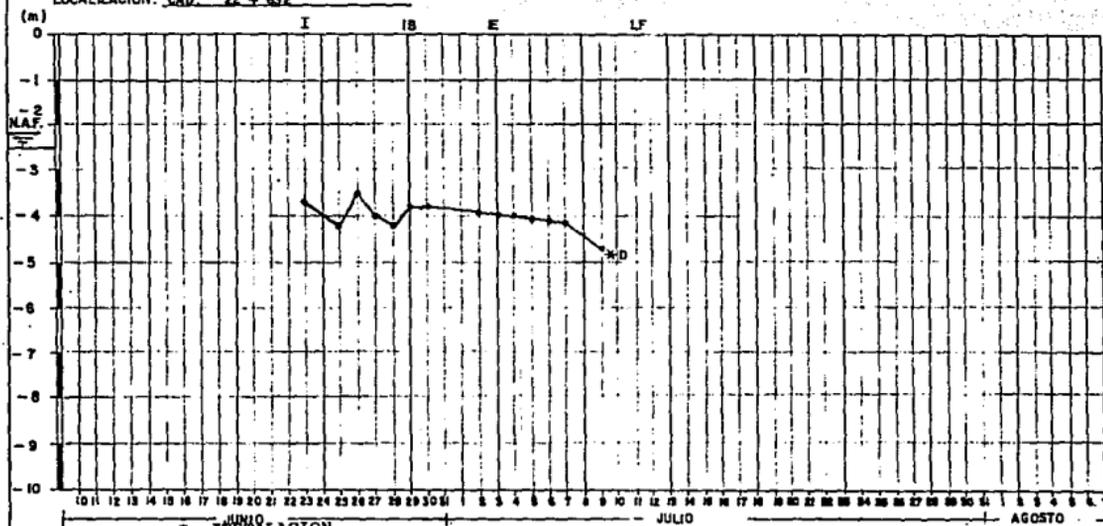
FIG

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: STA. MARTHA - LOS REYES

INSTRUMENTO: P.O. (1)

LOCALIZACION: CAD. 22 + 532



- I INSTALACION
- IB INICIO BOMBEO
- E INICIO EXCAVACION
- LF COLADO LOSA FONDO

NOTA: EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE ESTE INSTRUMENTO NO PUDO COMPLETARSE POR LA DESTRUCCION DEL MISMO CON EL EQUIPO DE EXCAVACION

SIMBOLOGIA
 ————— P.O. (1)

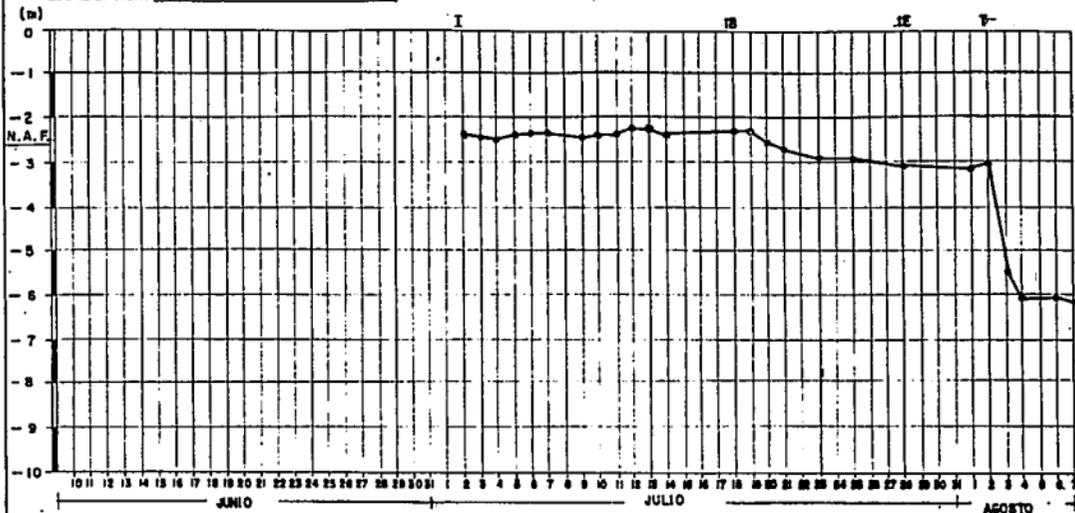


METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: STA. MARTHA - LOS REYES

INSTRUMENTO: P.O. (4)

LOCALIZACION: CAD. 22 + 704.000



- I INSTALACION
- IB INICIO BOMBEO
- IE INICIO EXCAVACION
- D DESTRUIDO
- L LIBERADO
- O OBTURADO
- T TENDIDO DE TALLO

NOTA: OBSERVESE COMO EL ABATIMIENTO DEL N.A.F. SE REALIZO POR LA EXCAVACION Y NO POR EL BOMBEO

SIMBOLOGIA

P.O. (4)



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

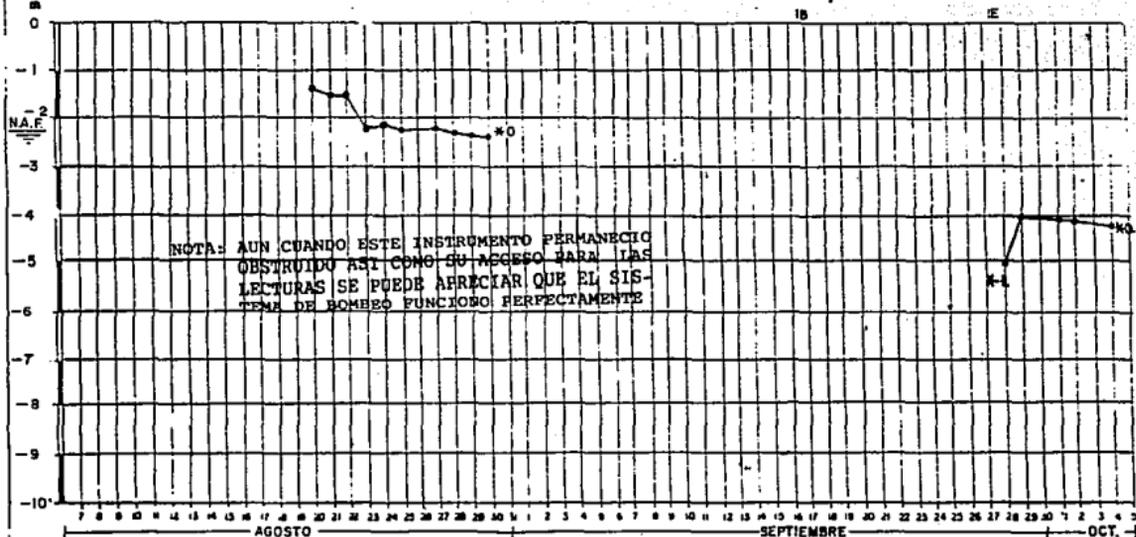
FIG

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: STA. MARTHA - LOS REYES

INSTRUMENTO: P.O. (10)

LOCALIZACION: CAD. Y 22+849,00



- O* OBSTRUIDO POR MATERIAL DE EXCAVACION
- D (P.O. 11) DESTRUIDO P.O. (11)
- L LIBERADO
- IE INICIO EXCAVACION
- IB INICIO BOMBEO

NOTA: EL P.O. (10) PERMANECIO OBSTRUIDO POR MATERIAL DE EXCAVACION HASTA SU DESTRUCCION 13/X/90

SIMBOLOGIA

P.O. (10)

III.3. MOVIMIENTOS VERTICALES

La relación suelo-estructura fue uno de los principales objetivos a analizar dentro del sistema de instrumentación ya que el subsuelo en esta zona del Lago virgen tiene como característica principal el que prácticamente han mantenido sus propiedades desde su formación.

Los movimientos del fondo de una excavación estable, realizada en los suelos de las zonas del lago, se desarrollan según las distintas actividades del ciclo de construcción del cajón, como se muestra esquemáticamente en la figura - III.3.

Durante un período de bombeo previo a la excavación se procede en el área por excavar, un asentamiento por consolidación λ_p que es función del tiempo de operación del sistema de bombeo y de la magnitud del abatimiento piezométrico; posteriormente, durante la excavación y el colado de la plantilla de concreto pobre, ocurre una expansión inicial del fondo λ_{ei} de tipo predominante elástico, a la cual se superpone una componente plástica que depende del factor de seguridad (FS)_f contra la falla general por el fondo cabe mencionar que en la estabilidad de la excavación, de la zona de lago, el objetivo es el definir el criterio de análisis para los mecanismos de falla general por el fondo, falla del fondo por subpresión, y falla por el empotramiento de la pata del muro. Con base en este análisis se determina: la longitud máxima de avance de la excavación, las condiciones de abatimiento que debe satisfacer el sistema de bombeo para evitar la falla por subpresión, la profundidad de empotramiento del muro y el número de niveles de troquelamiento necesario

Usualmente cuando (FS)_f es mayor de 2, la expansión plástica es despreciable.

Durante la etapa del colado de las losas de fondo y del techo del cajón la colocación del relleno compactado y la recuperación del nivel freático, se presenta un asentamiento λ_r como resultado del proceso de recuperación parcial de la expansión inicial λ_{ei} . Así mismo, al suspenderse el bombeo, se inicia un proceso de expansión de la arcilla, por absorción del agua el cual continúa a baja velocidad hasta alcanzar a largo plazo su valor final.

En la figura II.3. el punto r corresponde al momento

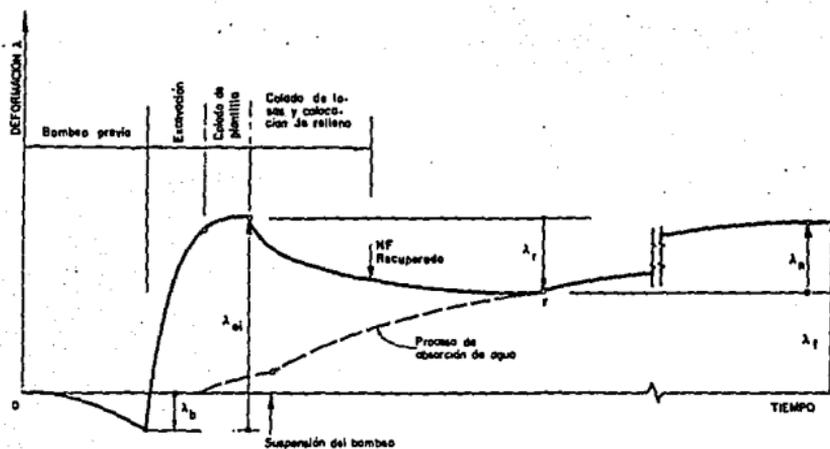


FIG. III.3. PROCESO DE DEFORMACION ASOCIADO A LA CONSTRUCCION DEL METRO EN CAJON

en que se ha restituido el pavimento y asobados de la calle; es a partir de esa condición cuando la expansión neta λ_n comienza a manifestar sus efectos, que son los únicos visibles después de terminar la construcción.

a.- Banco de Nivel Flotante

Para determinar los movimientos verticales (hundimientos y expansiones) dentro y fuera de la excavación en la estructura del cajón y en estructuras colindantes, se utilizaron bancos de nivel flotante y referencia topográficas respectivamente.

En la figura III.3.2., se muestra la localización de los bancos de nivel flotante además de otros instrumentos y en la figura III.3.3., las referencia topográficas .

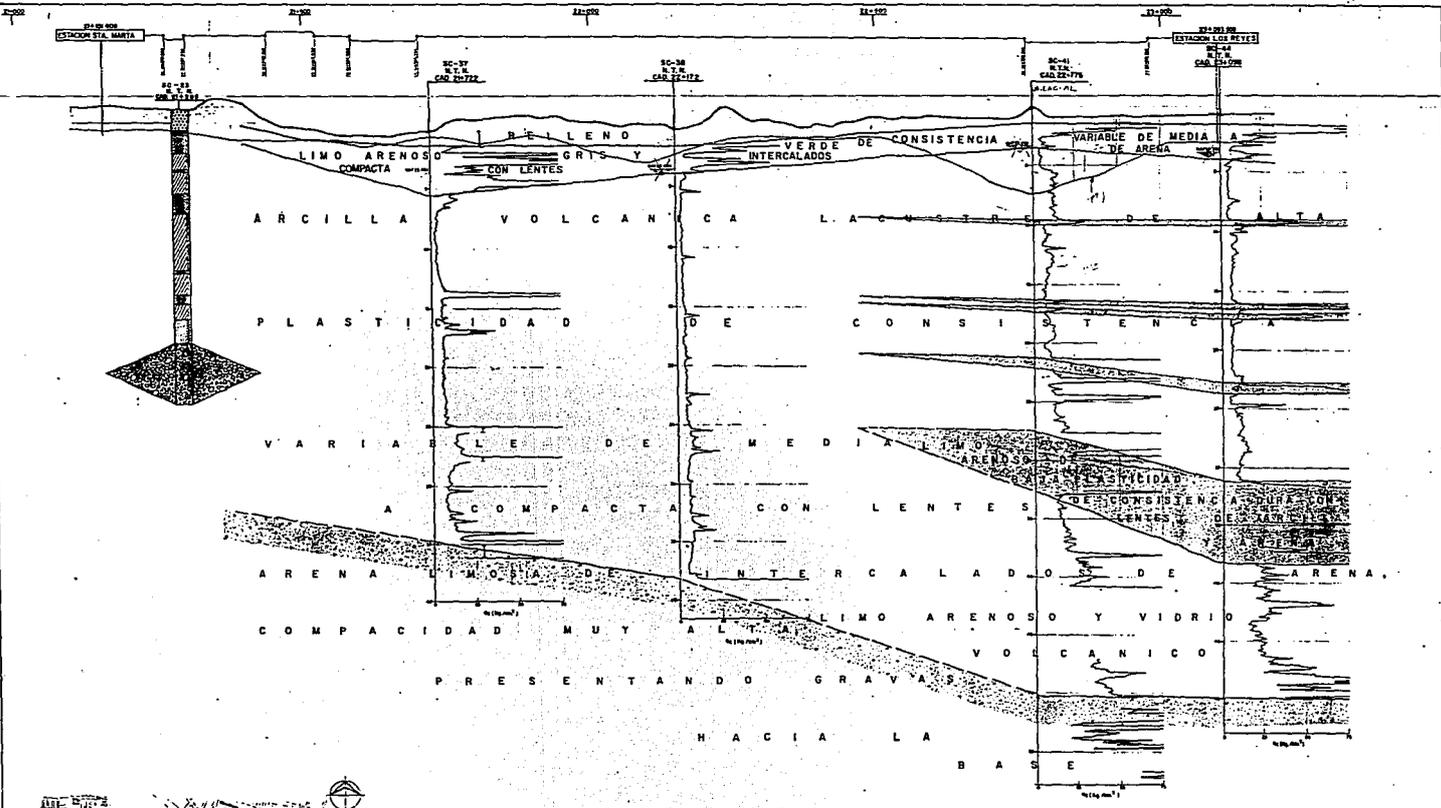
Un aspecto importante detectado en la ejecución de la excavación, lo constituyo el remoldeo del suelo para desplazar la losa de fondo lo que inducia que las magnitudes de deformación por concepto de la consolidación del suelo de apoyo de la estructura del cajón se incrementa, estos movimientos fueron determinados mediante los Bancos de Nivel Flotante, cuya localización con respecto al nivel máximo de excavación mantienen en colchón de protección de 0.30m para evitar su dano al llevarse a cabo la adinación de la excavación; en vista de un al número de destrucciones de este tipo de instrumentos el conchón de protección fue modificado a 0.50m, reinstalandose en la destrucción.

En el plano del perfil estratigráfico ente los cadenamientos 21+151.608 al 223+093.558 se puede observar el perfil de la excavación asi como de sus características para poder darnos una idea de este monitoreo.

Esta medida no dió resultado, ya que el afine del fondo de excavación no se realizaba manualmente sino, con equipo -- (draga y almeja).

Asi mismo, no se pudo determinar los movimientos verticales (expansiones o hundimientos) en la zona de excavación ejecutada.

Un aspecto importante de mencionar son los avances de excavación, en los que se observaron un sin número de casos en donde se excedio la longitud de estos especificado en el procedimiento constructivo.



NOTAS

1. Este estudio de suelos fue realizado en el terreno perteneciente a la U.N.A.M. en el lote 10 del predio No. 100, Calle de la Cruz No. 100, Santa Magdalena-Los Reyes, Estado de México.

2. Este estudio de suelos fue realizado en el terreno perteneciente a la U.N.A.M. en el lote 10 del predio No. 100, Calle de la Cruz No. 100, Santa Magdalena-Los Reyes, Estado de México.

LEYENDA

1. Línea de perfil de los estratos.

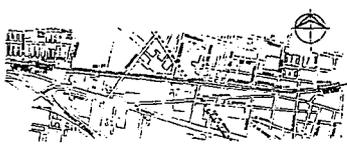
2. Línea de nivel del terreno.

3. Línea de nivel del agua.

4. Línea de nivel de la cimentación.

5. Línea de nivel de la superficie del terreno.

6. Línea de nivel de la superficie del terreno.



PERFIL ESTRATIGRAFICO

SISTEMA DE INSTRUMENTACION PARA LA CONSTRUCCION DEL CALON DEL METRO LINEA A

METRO PANTILLAN - LA FAZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO SANTA MAGDALENA-LOS REYES CADENAS DE MEXICO A 237 005 150 000

TESES PROFESIONALES

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

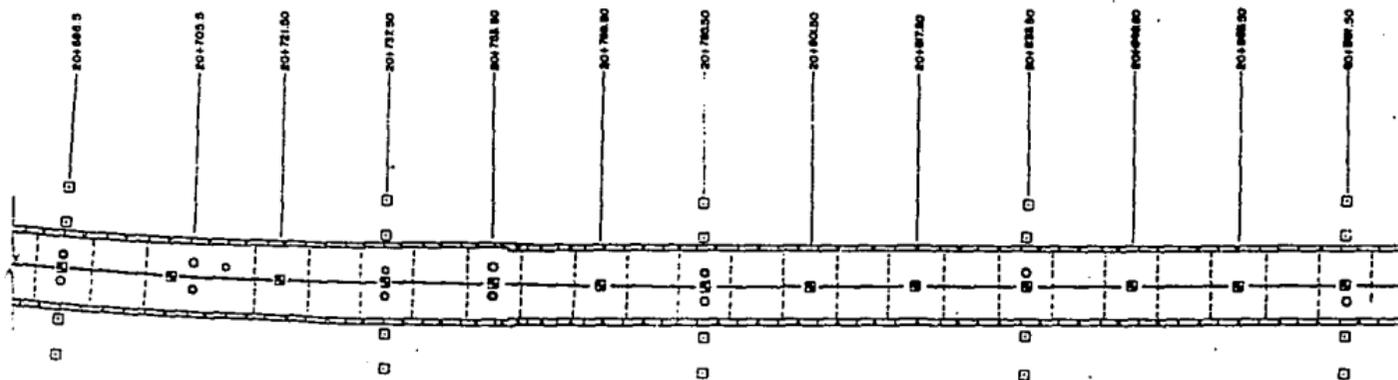
JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

ESQUEMA DE LOCALIZACION DE SONDEOS

METRO PANTITLAN — LA PAZ

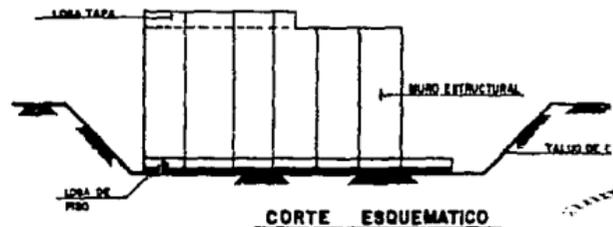
SISTEMA DE INSTRUMENTACION

ACATITLA - STA MARTA



SIMBOLOGIA

- BANCO DE NIVEL FLOTANTE
- REFERENCIA SUPERFICIAL
- ▲ REFERENCIA HORIZONTAL
- POZO DE OBSERVACION
- PIEZOMETRO

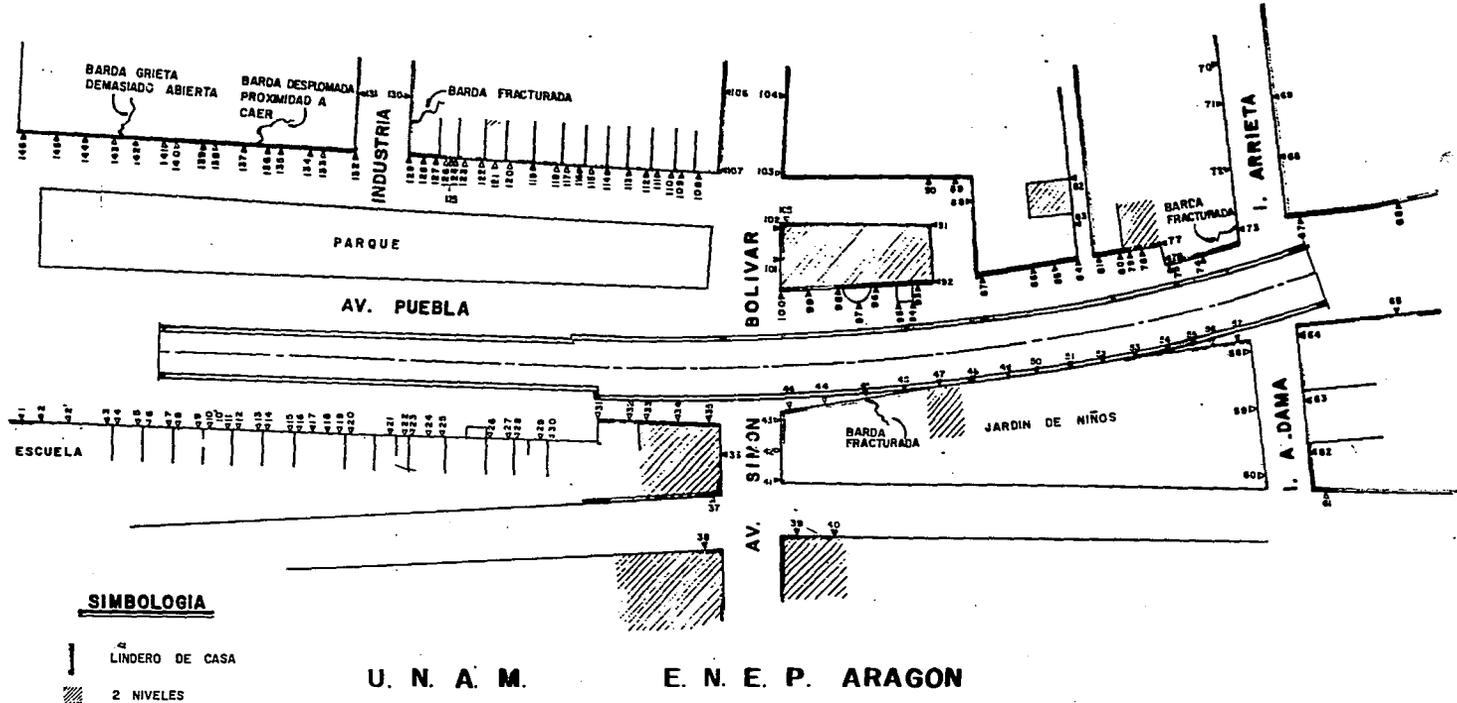


Esto originó un incremento en la magnitud de las descargas; y como consecuencia, un incremento en las deformaciones medidas en el interior de la excavación y en la zona circunvecina. Ejemplo de este caso, es el ocurrido en la Estación Pantitlán de esta Línea. El proyecto ejecutivo indicaba avances de excavación de 2.50 y 4.00m, para zonas "A" y "B" (la excavación estaba dividida en 3 zonas "A", "B" y "C", las dos primeras corresponden a las zonas laterales y la tercera a la zona central) respectivamente, lo que en realidad no fue así la zona "A" colindante con la estructura de la Estación Pantitlán de la Línea 9, debería atacarse con avances de 2.50m para de esta manera reducir la influencia que pudiera darse sobre la estructura colindante; sin embargo, en promedio la longitud real fue de 3.30m por etapa en la cabecera norte y de 3.03m. por etapa en la cabecera sur.

En relación a la formación del cuerpo del Talud (inclinación, longitud de bermas, descarpes y sobrecargas), se presentaron casos en los que la geometría del talud no cumple con los requerimientos especificados, acentándose estas anomalías en la Bitacora de Obra sugiriendo su formación de acuerdo a proyecto, evitando así posibles fallas de Talud.

A continuación se muestra un registro de monitoreo en los bancos de nivel flotante para los tramos Nave Depósito-Pantitlán y Acatitla-Sta. Martha respectivamente.

LOCALIZACION DE REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS VECINAS
TRAMO: STA. MARTHA-LOS REYES



BANCOS DE NIVEL FLOTANTE

LOCALIZACION	FECHA INSTALACION	FECHA DESCUBRIMIENTO	EXPANSION (cm)
9+723.950	Agosto 11	Agosto 18	+17.2
9+731.950	Agosto 11	Agosto 31	destruido
9+739.950	Agosto 11	Agosto 31	destruido
9+747.950	Agosto 13	Agosto 29	+10.5
9+755.950	Agosto 13	Agosto 22	+15.2
9+763.950	Agosto 15	Agosto 24	destruido
9+760.950	Agosto 11	Agosto 15	+13.7
9+773.950	Agosto 15	Agosto 16	+14.8
9+770.950	Agosto 16	Agosto 17	+12.3
9+786.950	Agosto 14	Agosto 18	destruido
9+794.950	Agosto 14	Septiembre 05	+18.4
9+802.950	Agosto 14	Septiembre 11	destruido
9+807.950	Agosto 17	Septiembre 13	+16.6
9+812.950	Agosto 17	Septiembre 17	destruido
9+817.950	Agosto 18	Septiembre 18	+25.4
9+822.950	Agosto 22	Septiembre 21	destruido
9+830.950	Agosto 18	Septiembre 22	+23.1
9+838.950	Agosto 28	Octubre 01	destruido
9+846.950	Agosto 17	Octubre 05	destruido
9+854.950	Agosto 17	Octubre 06	destruido
9+862.950	Agosto 31		
9+870.950	Agosto 27		

Observe la gran cantidad de instrumentos destruidos; así también, es claro que las expansiones ocurridas fueron producto del ineficiente bombeo realizado, además del alto contenido de agua en este tramo Nave Depósito- Pantitlán perteneciente a la línea "A" del Metro en la subzona del Lago Virgen.

LOCALIZACION	FECHA INSTALACION	FECHA DESCUBRIMIENTO	EXPANSION (cm)
9+878.950	Agosto 29		
9+883.950	Agosto 30		
9+888.950	Agosto 30		
9+893.950			
9+898.950			
9+906.950	Julio 13		destruido
9+914.950	Mayo 30	Julio 09	+22.7
9+922.950	Mayo 30	Junio 14	+29.2
9+927.950	Mayo 30	Julio 22	+31.5
9+932.950	Mayo 25		+32.9
9+937.950	Mayo 25	Julio 20	+24.0
9+947.950	Junio 06	Julio 01	+29.9
9+955.950	Junio 06	Agosto 03	+29.3
9+963.950	Junio 06	Agosto 13	+26.8
9+971.950	Junio 06	Agosto 16	+27.5
9+979.950	Junio 06	Septiembre 04	destruido
9+987.950	Junio 06	Septiembre 18	destruido
9+995.950	Julio 27	Septiembre 25	+50.3*
10+003.950	Julio 28		
10+011.950	Junio 14		
10+019.950	Mayo 21		destruido
10+027.950	Marzo 21		destruido
10+035.950	Marzo 21		
10+043.950	Mayo 21	Julio 14	destruido
10+051.950	Mayo 16	Junio 19	+36.7
10+059.950	Mayo 16	Junio 17	destruido
10+067.950	Mayo 11	Junio 07	+24.1

LOCALIZACION	FECHA INSTALACION	FECHA DESCUBRIMIENTO	EXPANSION (cm)
10+075.950	Mayo 09	Junio 06	destruido
10+083.950	Abril 05	Mayo 28	destruido
10+091.950	Abril 05	Mayo 23	+57.2*
10+099.950	Marzo 26	Mayo 18	destruido
10+107.950	Marzo 26	Mayo 16	destruido
10+115.950	Marzo 26	Mayo 11	destruido
10+123.950	Marzo 26	Mayo 03	+28.3
10+131.951	Marzo 26	Mayo 04	destruido
10+139.950	Marzo 17	Abril 24	+22.6
10+147.950	Marzo 17	Abril 27	destruido
10+155.950	Marzo 17	Abril 30	+25.3
10+163.950	Marzo 17	Marzo 30	+27.5
10+171.950	Marzo 15	Marzo 26	+26.4
10+179.950	Marzo 15	Octubre 02	destruido
10+187.950	Marzo 15		

* Instrumento posiblemente influenciado durante la etapa de excavación.

b.- Bancos de Nivel Superficial

Como parte del programa de trabajos se tiene un proceso de la toma de (datos) lecturas en los denominados bancos de nivel superficial, para la determinación de la consolidación regional a lo largo del tramo subterráneo; para tal fin se ubicaron dichos bancos en posición tres bolillo respecto al eje de trazo del cajón del Metro, guardando una separación medida sobre el mismo de 200.00m entre cada instrumento, para evitar la influencia por cambio de esfuerzos producidos por la obra, o por cualquier otra en proceso o de reciente construcción.

La condición para su instalación fue la de mantener una separación mínima entre dichas referencia y el eje de trazo de 100.00m.

Del program de lecturas en estos elementos de control, encontramos el comportamiento que a continuación se describe para el caso del tramo Pantitlán-Agrícola Oriental.

B.N.S.	FECHA DE INSTALACION.	COTA DE INST.	COTA DE LECTURA	MOV. VERT. ACUM.(mm)	ASENTAMIENTO MENSUAL PROM. (mm)
I	Marzo 27	18.307	18.236	- 71	11.83
II	Mrazo 27	19.404	19.301	- 103	17.17
III	Marzo 27	20.333	20.255	- 78	13.00
IV	Abril 11	17.995	17.916	- 79	13.17
V	Abril 11	18.677	18.608	- 69	11.50

Nota: Para la asignación de las cotas de instalación y la toma de las lecturas periódicamente se tiene como punto de apoyo - el banco de nivel fijo localizado en la intersección que forman la Av. Talleres Gráficos y Privada de Benítez, la - la cota asignada arbitrariamente a dicho banco para evaluar la velocidad del hundimiento regional fue la 20.000

El asentamiento ~~mensal~~ promedio comprende un período de seis meses a partir de la fecha de instalación; es decir, de Marzo a Septiembre.

c.- Referencias en Estructuras Vecinas

Comunmente son conocidas como testigos en muros.

Su utilización fue muy valiosa, sobre todo en las zonas - en donde las colindancias del cajón del Metro y las estructuras vecinas son muy cercanas entre si, como se podrá ver en la fig III.3.4.

Estas referencias pueden ser permanentes si así se desea, - ya que no son susceptibles de dano por el equipo de construcción y su mantenimiento es barato.

Con un mes de anticipación al inicio de cualquier actividad para la construcción del cajón , se realizó la identificación de las estructuras vecinas colindantes con la rejilla de ventilación localizada entre los cadenamientos 10+019.950 al 10+070.950, se detecto un incipiente mecanismo de falla de fondo, provocando danos a la estructura de las casas-habitación, en esta zona el cajón quedaba a 0.40m y 3.0m, en sus puntos mas cercano y alejados respectivamente.

Los danos ocasionados fueron: fracturas en los muros de -- carga, asentamientos diferenciales en la losa de piso y fisura en losas de piso y techo además de castillos.

Cabe aclarar que estos danos fueron aumentando, debido a - que la estructuración de la construcción no era la adecuada pues esta presentaba anomalías.

Ante tal situación se procedio a relizar las modificaciones del procedimiento constructivo pertinentes que pudieran -- aminorar los danos; aso mismo se dio un seguimiento estricto del proceso constructivo, mediante el control del Sistema de Instrumentación instalado dentro y fuera de la excavación (3 nivelaciones diarias), para obsevar el desarrollo de la condición de inestabilidad detectada.

En primer instancia se realizó un apuntalamiento de los elementos estructurales que habían sido danados, y posteriormente fueron reestructurados o demolidos en el peor - de los casos y construidos nuevamente para garantizar su - funcionalidad.

A continuación se evaluan los datos más representativos de el monitoreo realizado en estas referencias para:

Tramo: Nave Depósito - Pantitlán

La toma de lecturas mediante nivelaciones topográficas en

referencias colocadas en construcciones proximas al cajón del Metro, para su estudio está dividido en dos partes:

- a) Puntos de control en columnas del Metro Línea 9
- b) Puntos de control en paramentos en casas - habitación

a) Puntos de control en columnas del Metro Línea 9

El comportamiento monitoreado en los puntos de nivelación colocados en las columnas de la Línea 9 del Metro se describe en la Tabla A. Dentro de las cuales las columnas localizadas en la colindancia con el cajón del Metro cadenamientos 9+722.950 al 9+830.950, en un período de control de 86 días presentaron los movimientos que se citan en seguida:

<u>ELEMENTO</u>	<u>FECHA DE</u> <u>INSTALACION</u>	<u>DE</u>	<u>MOVIMIENTO</u> (mm)
CP - 9	Julio	06	+ 3
CP - 10	Julio	06	- 4
CP - 11	Julio	06	- 1
CP - 12	Julio	06	+ 2
CP - 13	Julio	06	0
CP - 14	Julio	06	- 1

Nota:

Los valores marcados con signo positivo corresponden a expansiones y los marcados con signo negativo son los correspondientes a hundimientos.

Tomando en consideración que el eje de trazo para el cajón del Metro paso frente a los elementos mencionados, y no se registró variación significativa cabe comentar que en las condiciones expuestas no existió influencia alguna, correspondiendo el comportamiento a condiciones particulares.

Del registro expuesto a continuación, como observación cabe senalar que los mayores movimientos se presentaron dentro de los períodos donde se dió la influencia por el procedimiento constructivo y en donde no existió dicha influencia se dieron movimientos admisibles.

La cifra de asentamiento y el comportamiento observado en columnas adyacentes con el cajón subterráneo
 durante los 120 días de obra - 833.950 - 10 = 102.275, fue el siguiente:

ASENTAMIENTO PARCIAL (mm)							
ELEMENTO	FECHA DE INSTALACION	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	ASENTAMIENTO ACUM. (mm)
CP-1	Junio 02	---	-11	-6	-2	-15	-22
CP-15	Junio 02	---	-14	-5	-1	-11	-26
CP-17	Junio 02	---	-24	-5	0	-17	-36
CP-18	Junio 02	---	-24	-5	-4	-15	-48
CP-19	Junio 02	---	-24	-8	-23	-5	-70
CP-20	Junio 02	---	-21	-12	-18	-15	-66
CP-21	Junio 02	---	-23	-9	-26	-23	-87
CP-22	Junio 02	---	-24	-5	-23	-11	-93
CP-23	Junio 02	---	-23	-6	-11	-37	-77
CP-24	Junio 02	---	-23	-5	-9	-35	-73
CP-25	Junio 02	---	-29	-4	-12	-19	-64
CP-26	Junio 02	---	-31	-8	-7	-19	-65
CP-27	Marzo 22	-43	-28	-6	-1	-15	-94
CP-28	Marzo 22	-43	-25	-13	-5	-10	-96
CP-29	Marzo 22	-44	-20	-5	0	-9	-78
CP-30	Marzo 22	-40	-20	-1	-7	-3	-76
CP-31	Marzo 22	-28	-15	-4	-2	-7	-52
CP-32	Marzo 22	-28	-11	-1	-5	-4	-49
CP-33	Marzo 22	-18	-17	0	-2	-5	-42
CP-34	-----	-26	-32	-34	-12	-7	-106

Tabla A

Este registro de los movimientos verticales de las columnas del Metro Línea 9, obtenidas mediante las referencias topográficas (que forman parte del Sistema de Instrumentación), reflejan el comportamiento inesperado del subsuelo. Cabe mencionar que estos datos fueron determinados en su momento, para realizar los ajustes necesarios a las especificaciones de: bombeo, etapas de excavación; así como de la implementación de la colocación de lastres temporales como medida correctiva en la devolución de las cargas para la estructuración del cajón.

b) Puntos de control en paramentos en casas - habitación

De igual manera como en el caso de las referencias de las columnas de la Línea 9, la información obtenida en estos instrumentos y en forma sintetizada se describe en las Tablas B, C, D, y E.

Condiciones admisibles se observaron en las construcciones colindantes con el cajón del Metro en los puntos de control, instalados en Río Churubusco # 225, la cerrada de la Calle Uno, Av. Texcoco # 115 y Calle Unión.

En cambio las construcciones habitacionales próximas al cajón (zona de rejilla de ventilación) localizada entre los cadenamientos 10+019.950 al 10+070.950, sufrieron el desarrollo de un insipiente mecanismo de falla que fue detectado por los asentamientos inadmisibles presentes principalmente en las edificaciones de la cerrada de Benitez Nos. 11 a 16 y s/número, los desplazamientos detectados en el momento crítico y hasta el día 30 de septiembre alcanzaron un valor mínimo de 15.6 cm. y como valor máximo de 37.7cm. Otras construcciones de la misma cerrada de Benitez como son los lotes marcados con los No. 4 a 9 por su separación con respecto al pano exterior del cajón, no se presentaron desplazamientos relevantes pudiendo ser considerados como admisibles los valores registrados a la fecha.

En la calle de Guadalupe en algunas de las construcciones se dejó sentir la influencia de la obra, como fue el caso del lote nO. 19; otra estructura sujeta al efecto de la obra fue denominada como Templo, dicha construcción con su colindancia -- Norte con mayor proximidad a la obra registró severos movimientos acumulados al día 30 de Septiembre un asentamiento de -- 30.2cm. Cabe aclarar que el mayor asentamiento se presentó -- al momento que colinda el frente de excavación y bombeo con dichas referencias, reduciéndose significativamente posteriormente al paso total del frente.

CONTROL DE MOVIMIENTOS EN ESTRUCTURAS VECINAS

ASENTAMIENTO PARCIAL (mm)

REFERENCIA Nº	FECHA DE INSTALACION	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	ASENTAMIENTO ACUM. (mm)
CALLE GUADALUPE									
19-1	Marzo 22	-4	-6	-7	-32	-17	-9	-17	-88
19-2	Marzo 22	-4	-7	-1	-25	-2	-7	-31	-77
21-1	Marzo 22	-6	-3	-20	-12	-1	+6	-8	-44
21-2	Marzo 22	-5	-2	-12	-2	0	0	-11	-32
21 Sis-1	Marzo 22	-3	-1	-19	+3	-1	0	-10	-32
21 Sis-2	Marzo 22	-2	+2	-24	+5	+7	+3	-9	-18
Templo-1	Marzo 22	-2	-5	-6	-7	+2	0	-10	-28
Templo-2	Marzo 22	-8	-6	-5	-5	+19	-7	-11	-28
Templo-3	Marzo 22	0	-24	-109	-17	+1	+2	-21	-168
Templo-3'	Marzo 22	+1	-25	-107	-19	+3	+2	-20	-165
Templo-4	Marzo 22	-7	-16	-181	-78	-10	-1	-9	-302
S/N -1'	-----	—	—	—	-3	-25	0	-14	-42

NOTA:

TABLA B

Los datos numéricos marcados con signo positivo tienen relación con movimientos ascendentes mientras que los indicados con signo negativo se refieren a movimientos descendentes (hundimientos).

CONTROL DE MOVIMIENTOS EN ESTRUCTURAS VECINAS

ASENTAMIENTO PARCIAL (mm)

REFERENCIA Nº	FECHA DE INSTALACION	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	ASENTAMIENTO ACUM. (mm)
CERRADA BENTEZ						
3-1	Junio 19	-9	-5	-14	-9	-37
3-2	Junio 19	-8	-8	-18	-4	-38
3-3	Junio 19	-9	-5	-15	-8	-37
5-1	Junio 19	-6	-7	-3	-9	-25
5-2	Junio 19	-5	-12	-6	-12	-35
6-1	Junio 19	-8	-7	-2	-7	-24
6-2	Junio 19	-7	-12	-4	-9	-32
7-1	Junio 19	-6	-10	-3	-6	-25
7-2	Junio 19	-7	-7	-2	-6	-22
8-1	Junio 19	-2	-1	-2	-5	-9
8-2	Junio 19	-6	-3	-3	-4	-16
9-1	Junio 19	-1	-3	-1	-4	-9
9-2	Junio 19	-3	-1	+1	-6	-9
11-1	Junio 04	-230	-4	0	+6	-232
11-2	Junio 04	-224	0	-2	-7	-239
12-1	Junio 04	-220	0	-10	-1	-237
12-2	Junio 04	-220	-14	-6	-5	-231
13-1	Junio 04	-182	-10	-10	-5	-215
13-2	Junio 04	-169	-22	-4	-7	-211
14-1	Junio 04	-164	-20	-10	0	-203
14-2	Junio 04	-138	-32	-14	-11	-205

ASENTAMIENTO PARCIAL (mm)

REFERENCIA Nº	FECHA DE INSTALACION	JUNIO 01-17 / 17-30	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	ASENTAMIENTO ACUM. (mm)
15-1	Junio 04	-133 -22	-17	-11	-11	-194
15-2	Junio 04	-113 -11	-19	-12	-5	-160
16-1	Junio 04	-100 -22	-24	-12	-14	-172
16-2	Junio 04	-91 -15	-26	-15	-9	-156
S/N (2) -1		-238 -100	-13	-19	-7	-377
S/N (2) -2		-179 -93	-31	-14	-4	-321
S/N (1) -1		-198 -30	-22	-2	-16	-268
S/N (1) -2		-267 -80	-23	-2	-9	-381

RIO CHURUBUSCO Nº 225

1-2	Agosto 22			-3	-5	-8
2'-3	Agosto 22			-3	-4	-7
4-5	Agosto 22			-3	-5	-8

1a. CERRADA CALLE UNO -

20-1	Julio 26		+6	-8	-6	-14
20-2	Julio 26		+5	-18	-14	-32
54-1	Julio 26		+4	-6	-12	-14
54-2	Julio 26		+4	-15	-15	-26
99-1	Julio 26		+3	+1	-7	-3
99-2	Julio 26		+5	-3	-8	-6
100-1	Julio 26		+5	-7	-2	-4
100-2	Julio 26		+4	-5	-7	-8
101-1	Julio 26		+3	+3	-8	-5

TABLA D

Observese como la excavación de núcleo para el cajón del Metro no sólo afectó a las columnas de la estructura de la Línea 9, sino también a las estructuras vecinas a la excavación.

La más cercanas fueron las más afectadas.

ASENTAMIENTO PARCIAL (mm)

REFERENCIA Nº	FECHA DE INSTALACION	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	ASENTAMIENTO ACUM. (mm)
101-2	Julio 26		+3	-1	-14	-15
102-1	Julio 26		+5	-4	-7	-6
102-2	Julio 26		+7	-5	-10	-12
IV. EXCOCCO Nº 115						
1-2	Julio 18		+6	-1	-20	-15
3-1	Julio 18		+6	-2	-19	-21
CALLE UNION						
18-1	Julio 17		+5	-9	-2	-6
18-2	Julio 17		+5	-13	-2	-15
20-1	Julio 17		-4	-12	-7	-15
20-2	Julio 17		+4	-16	-10	-22
23-1	Julio 17		+4	-18	-10	-24
23-2	Julio 17		+4	-18	-13	-27

TABLA E

Aun las estructuras vecinas más alejadas de la excavación sufrieron pequeños asentamientos como se puede ver en esta tabla.

Estación Pantitlán

Después de haber analizado el comportamiento de la Estación Pantitlán Línea 9 mediante el control de movimientos en algunas columnas de esta y que fue implementado a a partir del mes de febrero de 1990.

Luego de analizar el comportamiento de la Estación Pantitlán de la Línea 9, mediante el control de movimientos registrados en algunas columnas de apoyo de esta e implementado a partir del mes de febrero de 1990, se detectó un cambio de tendencia en los movimientos (sentamientos en este caso) a partir de la aplicación del procedimiento constructivo para la estación Pantitlán de la Línea A; algunas de las medidas marcadas por el Departamento del Mecánica de Suelos, para contrarrestar el comportamiento irregular presentado y al cual fue necesario darle un estrecho seguimiento por parte de la Residencia Geotécnica fueron las siguientes:

- a) Detectada la influencia originada por el procedimiento constructivo de la estación de la Línea "A", particularmente por la operación del sistema de bombeo, se dio la instrucción en Obra de conservar la operación de un solo pozo fuera de la etapa de excavación a realizar. (Modificación inicial al procedimiento constructivo)
- b) Instalación de pozos de inyección. (Este punto se tratará a detalle en las medidas correctivas cap. V).

TRAMO: Pantitlán-Agrícola Oriental

Por las condiciones desfavorables en el subsuelo de la zona y la gran cantidad de estructuras colindantes con el cajón del Metro, se requirió un seguimiento minucioso del proceso constructivo por parte del control de la instrumentación y la residencia Geotécnica. De esta manera fue posible detectar condiciones irregulares en el comportamiento del subsuelo, como fue el caso de 2a. y 3a. cerrada de Río Churubusco y los condominios Laurel No. 10, para conservar a los frentes de excavación dentro de los factores de seguridad estimados fue necesario plantear una serie de modificaciones al procedimiento constructivo entre los principales podemos --

FALTA PAGINA

No.

143

senalar:

- a) Ajuste de los niveles hidrodinámicos en los pozos de -- bombeo en operación, apegándose a los lineamientos de -- las especificaciones del Sistema de Bombeo, para redu-- cir el radio de influencia por ende las deformaciones -- en el suelo adyacente al cajón del Metro por pérdida en la presión de poro.
- b) A partir del día 16 de agosto de 1990, se dio la ins--- trucción general en los tramos de Pantitlán de ejecutar los avances de la excavación de 2.50m de longitud, para el caso en que se contara con colindancias a una distan-- cia no mayor de 8.0m.

Como condición para la apertura de un nuevo frente, se indico que transcurrida 2 horas después de colada la lo sa de fondo se colocara sobre está un lastre con un pe-- so equivalente al de un muro estructural de acompanami-- ento (2.80 ton/m²)

TRAMO:

ACATITLA - SANTA MARTHA

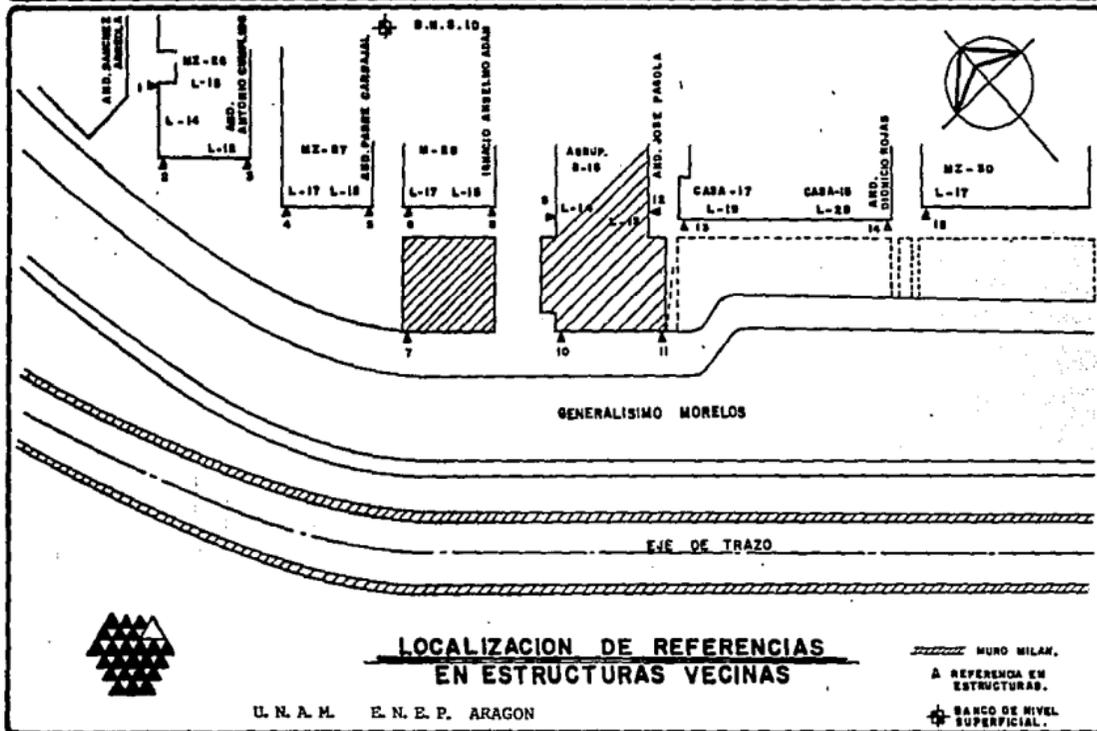
En general el comportamiento de las estructuras vecinas du rante el proceso constructivo del cajón del Metro fue acep-- table ya que estas estructuras se ubicaban muy distantes co mo se puede observar en la figura II. 3. 4'; el movimiento más fuerte fue de +3.12cm -1.80cm.

Debido a que su trayectoria del cajón en este tramo es por la Calzada Ignacio Zaragoza y al centro de esta, se presen-- ta una incidencia casi nula dle afecto por bombeo y excava-- ción, aún y cuando es una zona del lago Virgen con las ca-- racterísticas tan notoria: sobrecargas de construcciones pe-- quenas y medianas.

TRAMO: LOS REYES - LA PAZ

En relación a este tramo debido a que el trazo de la Línea "A" ya penetra en el Estado de México, se observó la mal -- planeación de la urbanización pues debido al trayecto del - cajón del Metro, las estructuras vecinas se encontraban muy cercanas a este y por lo tanto se tuvo la necesidad de rea-

METRO PANTITLAN - LA PAZ



LOCALIZACION DE REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS VECINAS

U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON

TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

FIG. III.3.4.

zar afectaciones a estas estructuras desde 3.0 a 7.0m para dejar banquetas y guarniciones en esta zona (fig.III.3.4.)

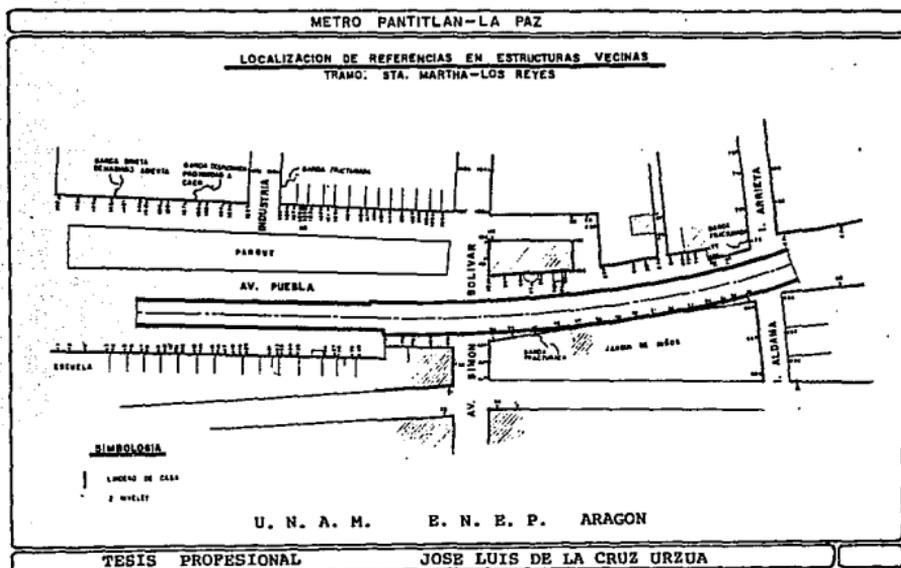


Fig. III.3.4. Localización de referencias en estructuras vecinas

En este tramo se encontrarán capas de arena cimentadas muy resistentes al corte de excavación por el equipo y maquinaria al momento de realizar la excavación para el cajón, por lo cual no presentaron daños por este efecto.

Cabe mencionar que la zona habitacional comprende una longitud de 200.0m por una longitud del tramo de más de 1000.0m.

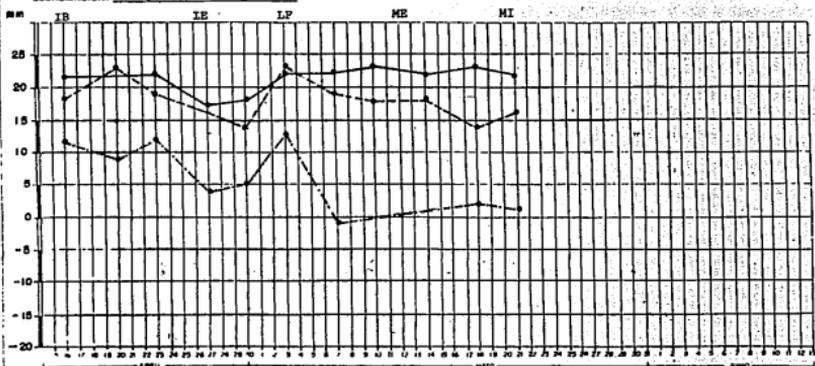
Por lo tanto los moviminetos verticales detectados en las estructuras vecinas del cajón del Metro en general fueron aceptadas.

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TITULO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO: R.E

LOCALIZACION: VER FIGURA 2



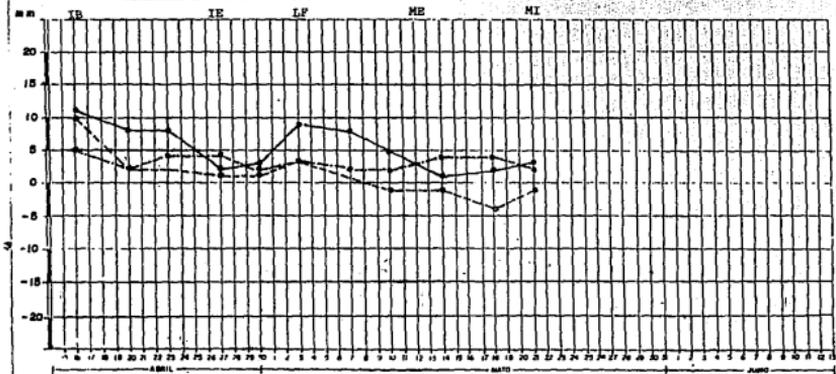
TESIS PROFESIONAL
JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

IB INICIO BOMBEO
IE INICIO EXCAVACION
LP LOSA FONDO
ME MURO ESTRUCTURAL
MI MURO INTERMEDIO

SIMBOLOGIA
—•— R.E (1)
- - - R.E (2)
—•— R.E (3)

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTA
 INSTRUMENTO: R. E
 LOCALIZACION: VER FIGURA 2



TESIS PROFESIONAL
 JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

IB INICIO BOMBEO
 IE INICIO EXCAVACION
 LF LOSA FONDO
 ME MURO ESTRUCTURAL
 MI MURO INTERMEDIO

SIMBOLOGIA
 — R. E (14)
 - - - R. E (8)
 - · - R. E (6)
 ··· R. E (6)

FIG

METRO: PANTITLAN - LA PAZ

TITULO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO: R.E

LOCALIZACION: VER FIGURA 2



TESIS PROFESIONAL
JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

IB INICIO BOMBEO
IE INICIO EXCAVACION
LP LOSA FONDO
ME MURO ESTRUCTURAL
MI MURO INTERMEDIO

SINBOLOGIA

— R.E (7)
- - - R.E (8)
- · - R.E (9)

FIG

III.4. REFERENCIAS SOBRE MURO MILAN

Según los lineamientos para el control de los movimientos - verticales, establecían la instalación de puntos de nivelación (referencias) sobre el coronamiento del muro milán una vez que este alcanzara su fraguado inicial, para vigilar su comportamiento en un plazo casi inmediato (antes y después de la excavación); de esta manera se estaría en la posibilidad de detectar cualquier condición de inestabilidad en el muro según la etapa de excavación correspondiente.

Como complemento al control planteado se proyectó un programa de lecturas para dar seguimiento al comportamiento de los muros milán a un plazo más largo, para evaluar la velocidad del movimiento y su relación con el comportamiento observado en la estructura del cajón del Metro. Al término de este punto se muestran algunas gráficas en las cuales se puede apreciar el comportamiento de un muro milán referenciado - por estos instrumentos.

Para el caso particular en los tramos deprímidos en los cuales se utilizó el muro milán como una pantalla o frontera - impermeable y la cual es un conjunto de tablestacas, se tenía cierta incertidumbre del empotramiento de los muros, los cuales quedarían desplantados sobre la capa resistente pero que además los substratos serían arcillas blandas intercaladas con lentes de arena y que posiblemente llegarían a repercutir en su estabilidad.

Para tal efecto fueron instaladas las referencias sobre el coronamiento del muro ya construido el cual sería monitoreado. La ubicación de estas referencias se puede observar en la figura III.3.5.

A continuación se presentara un caso ejemplar del control - de estas referencias.

TRAMO: NAVE DEPOSITO - PANTITLAN

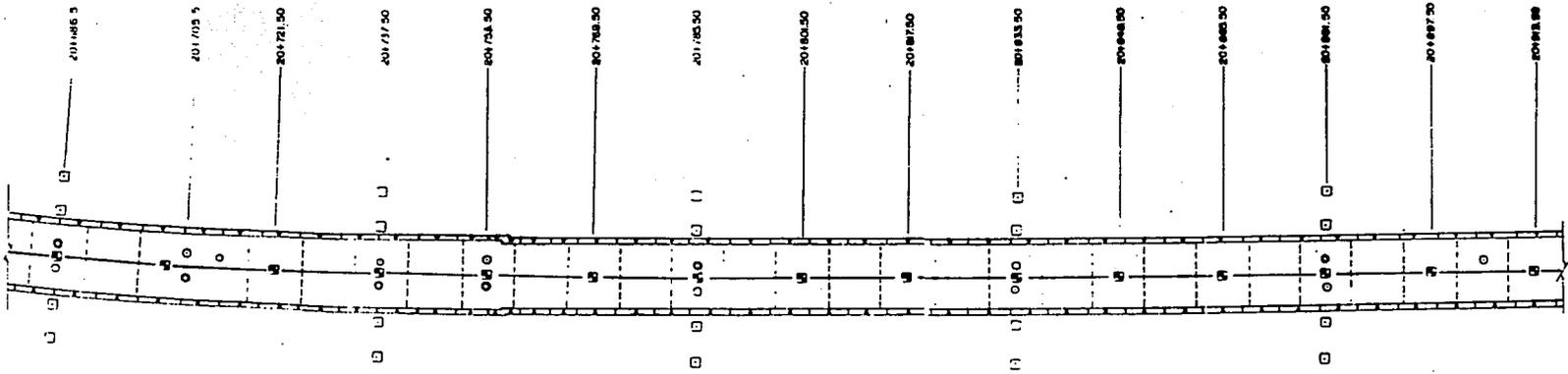
En la llamada zona deprímida delimitada por los cadenamientos 9+722.950 al 9+870.950 se registró un período de medición de aproximadamente 30 días, durante los cuales se observaron asentamientos del orden de 12 a 17 mm, que correspondieron particularmente a la influencia originada durante la etapa de excavación realizada entre los cadenamientos 9+753.000 al 9+783.000, y que en relación a su magnitud los datos son aceptables.

Por otra parte, en la zona de localización del cajón subterráneo, delimitada por los cadenamientos 9+870.000 al 10+192.275 se tiene una media obtenida de los asentamientos - de 20 mm. A continuación se presenta uno de los tantos registros llevados a cabo.

METRO PANTITLAN — LA PAZ

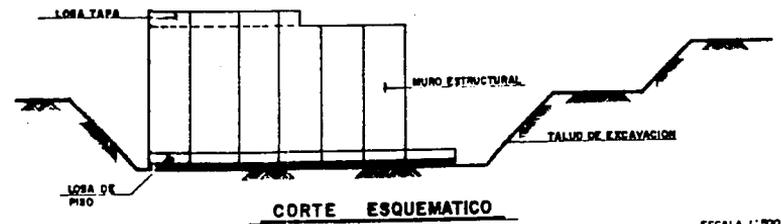
SISTEMA DE INSTRUMENTACION

ACATITLA - STA MARTA



SIMBOLOGIA

- BANCO DE NIVEL FLUTANTE
- REFERENCIA SUPERFICIAL
- ▲ REFERENCIA HORIZONTAL
- POZO DE OBSERVADOR
- PIEZOMETRO



CORTE ESQUEMATICO

ESCALA 1:500

CONTROL DE MOVIMIENTOS DE REFERENCIAS SOBRE MURO MILAN

LOCALIZACION CADENAMIENTO	FECHA DE INSTALACION	PERIODO DE CONTROL	MOV. PROMEDIO MENSUAL	MOV. PROMEDIO ACUM. (mm)
9+901.500 - 9+919.500	Julio 03	03/VII - 27/VIII	20	36
9+925.500 - 9+943.500	Julio 03	03/VII - 30/IX	21	61
9+949.000 - 9+961.500	Agosto 06	06/VIII - 30/IX	24	44
9+967.000 - 9+979.000	Sept. 01	01/IX - 30/IX	28	28

Los movimientos verticales en los muros milán aún pequeñas como es el caso, son producto de la liberación de esfuerzos del terreno al realizar la excavación de núcleo.

Aún y cuando se pudiera pensar que los 61 mm de asentamiento afectaron en alguna forma la estructuración del cajón, esto no fue así, pues en este tramo el muro milán llevaba un muro estructural de acompañamiento.

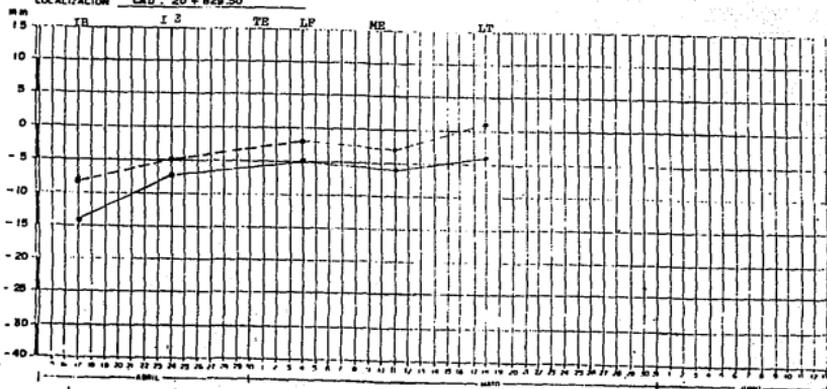
En los tramos restantes, en términos generales, el comportamiento de los muros milán fueron aceptables.

METRO: PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA MARTA

INSTRUMENTO: R. M. M.

LOCALIZACION: CAD. 20 + 829.50



U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

SIMBOLOGIA

- IB INICIO DE BOMBEO
- IS INICIO EXCAVACION
- TE TERMINO EXCAVACION
- IE INICIO EXCAVACION
- LP LOSA FONDO
- ME LOSA FONDO
- LT LOSA TAPA

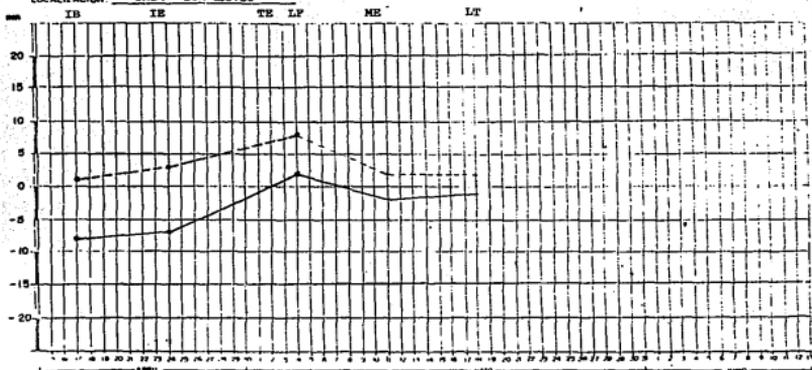
FIG

METRO: PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATITLA - STA. MARTA

INSTRUMENTO: R. M. M.

LINEALIZACION: CAD. 20+853.50



U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

SIMBOLOGIA

IB INICIO BOMBEO
 IE INICIO EXCAVACION
 TE TERMINO EXCAVACION
 LP LOSA DE FONDO
 ME ARBO ESTRUC. TUBER.
 LT=LOSA TAPA

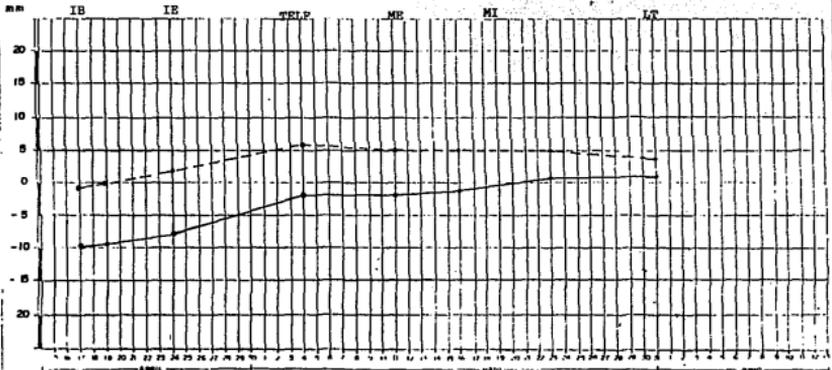
FIG

METRO PANTITLAN - LA PAZ

TRAMO: ACATILA - STA MARTA

INSTRUMENTO: R. M. M.

LOCALIZACION: CAD. 20+859,50



U. N. A. M. E. N. E. P. ARAGON



TESIS PROFESIONAL

JOSE LUIS DE LA CRUZ URZUA

SIMBOLOGIA

- IB INICIO BOMBEO
- IE INICIO EXCAVACION
- TE TERMINO EXCAVACION
- LP LOSA FONDO
- ME MURO ESTRUCTURAL
- MI MURO INTERMEDIO
- DER --- IZQ

FIG

REFERENCIAS SOBRE LOSA DE FONDO

Mediante una serie de referencias instaladas durante el proceso del colado de las losas de fondo en todos los tramos deprímidos, se evaluaron las condiciones de comportamiento de estas losas durante la estructuración del cajón por la aplicación gradual de las cargas restituidas.

Uno de los puntos críticos dentro de la estructuración del cajón fue la irregularidad del avance constructivo para la devolución de las cargas en forma gradual y sistemática. En algunas ocasiones se llegaron a presentar grandes retardos en las etapas de estructuración; se tenían etapas de losa de fondo (de 2 a 4) sin los muros estructurales ni losa tapa la especificación al respecto indica que para la etapa de excavación a realizar se debe contar con la losa de fondo de la etapa anterior, y que la etapa anterior a esta última se debe contar con los muros estructurales y la anterior a esta última debe contar con la losa tapa.

El control de movimientos en las losas de fondo se pudo realizar hasta la puesta del balasto sobre esta por la colocación de los durmientes de concreto.

En términos generales, el comportamiento fue aceptable pero no así el caso que se sucio en el tramo Pantitlán - Agrícola Oriental, en el cual debido a estos incidentes por la irregularidad de la devolución de las cargas se presentaron problemas por subpresión en el fondo de la excavación, a lo cual se tuvo que recurrir a la implementación de lastres temporales sobre las losas de fondo.

III.4. MOVIMIENTOS HORIZONTALES

Debido a que la excavación afectaba estratos de arcilla --blanda, fue necesario efectuar mediciones de los desplazamientos o movimientos horizontales del terreno adyacente a la excavación del núcleo; además de estar considerando la influencia del bombeo por el abatimiento del nivel freático de tal manera que la instrumentación de campo permitiría --detectar el desarrollo de condiciones de inestabilidad de los taludes durante el tiempo en que la excavación permaneciera abierta.

REFERENCIAS SUPERFICIALES

Las referencias superficiales fueron colocadas en la superficie del terreno adyacente al cajón o fuera del cajón, formando líneas de colimación respecto al eje de trazo de la Línea "A" del Metro, manteniendo una separación entre sí de 1 m a partir del pano exterior del cajón y hasta 25 m con respecto a esta primera referencia. En la figura III.3.5. se puede observar la localización de estos instrumentos en el tramo deprímidado de Sta Martha - Los Reyes.

El desplazamiento horizontal se presenta físicamente por la aparición de grietas en la superficie del terreno aledano al cajón.

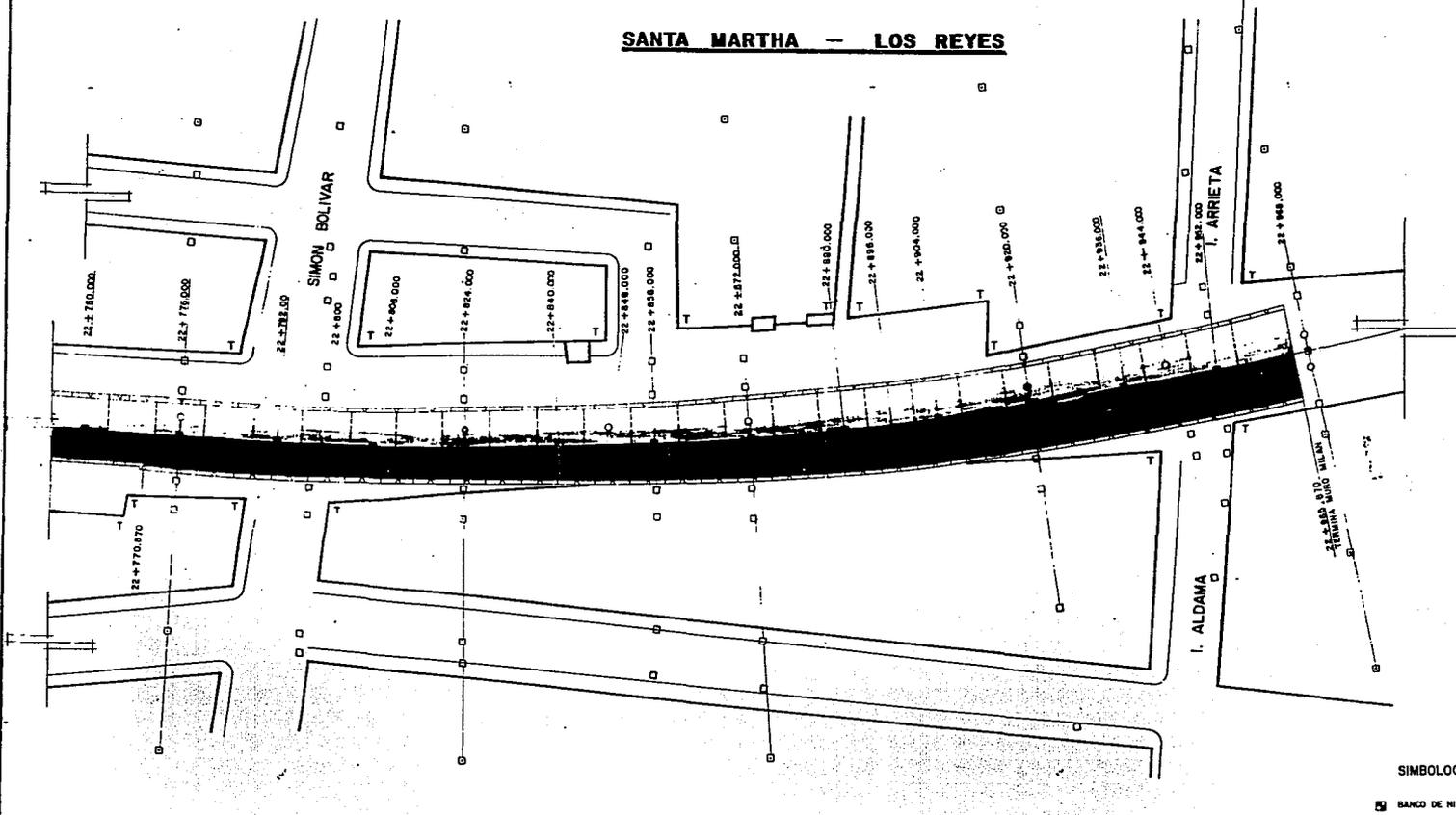
Estas grietas de tensión son originadas por el bombeo realizado, induciendo así la consolidación de la masa del suelo.

Dentro de los cinco tramos deprímidos que tiene la Línea "A" el que más desfavorables datos arrojó fue el de Nave Depósito - Pantitlán; esto no quiere decir que los desplazamientos presentados en los otros tramos no fueran de consideración, sino que los que se presentan en seguida son los más ejemplificativos de estos parámetros evaluados.

En el caso del desplazamiento horizontal que se presentó en el cadenamiento 10+099.500 al 10+111.500, se utilizó lodo bentonítico para sanear la grieta que apareció sobre la carpeta asfáltica, la profundidad de esta grieta era considerable (2 m promedio) por lo cual se hizo esto.

A continuación se presenta un registro de estos movimientos horizontales de estas referencias superficiales.

SANTA MARTHA — LOS REYES



PLANTA DE LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS

SIMBOLOGIA

- BANCO DE NIVEL FLOTANTE
- REFERENCIA SUPERFICIAL
- △ REFERENCIA HORIZONTAL
- POZO DE OBSERVACION
- PIEZO METRO
- LIZA FONDO
- LIZA INTERMEDIO
- - - LIZA ESTRUTURAL



CONTROL DE MOVIMIENTOS DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

LOCALIZACION CADENAMIENTO	FECHA DE INSTALACION	PERIODO DE CONTROL	MOV. PROMEDIO MENSUAL (mm)	MOV. PROMEDIO ACUMUL. (mm)	ler. MES
10+321.500 y 10+027.500	Julio 27	27/VIII - 30/IX	24	51	29
10+333.500 y 10+039.500	Junio 21	21/VI - 30/IX	25	84	36
10+045.500 y 10+069.500	Junio 19	19/VI - 30/IX	34	116	51
10+075.500 y 10+093.500	Junio 15	15/VI - 30/IX	26	91	37
10+099.500 y 10+111.500	Mayo 15	15/V - 30/IX	43	198	109
10+117.500 y 10+123.500	Mayo 07	07/V - 30/IX	35	170	82
10+129.500 y 10+147.500	Marzo 29	29/III - 30/IX	21	132	8
10+141.500 y 10+189.500	Marzo 22	22/III - 30/IX	17	111	--

El registro de los desplazamientos horizontales por efecto de las grietas de tensión en la superficie del terreno adyacente a la excavación fue más representativo en el tramo Nave Depósito- Pantitlán.

C A P I T U L O I V

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En el presente capítulo se describe el procedimiento constructivo de la estructura que constituirá el cajón del Metro de la Línea "A" Pantitlán - La Paz; en los tramos deprímidos o subterráneos: Pantitlán - Agrícola Oriental, Acatitla - Santa Martha, Santa Martha - Los Reyes y Los Reyes - La Paz.

En cada uno de estos tramos se implantó el Sistema de Instrumentación; en general, el procedimiento constructivo se realizó mediante las siguientes etapas:

- I.- Construcción de los muros tablestaca (muros milán).
- II.- Abatimiento del Nivel Freático.
- III.- Excavación, apuntalamiento y estructuración.
- IV.- Relleno superficial.

A continuación se describen cada una de estas etapas.

I.- Construcción de los muros tablestaca.

La excavación para la construcción de los tramos deprímidos ya mencionados, se realizó a cielo abierto entre muros tablestaca de acompañamiento, armados y colados en sitio.

Una vez realizado el trazo y la modulación de los muros milán se procede a la construcción de los brocales que servirán de guía para la excavación de las zanjas que los alojarán.

Las ramas verticales o faldones del brocal se colocarán a una profundidad tal, que entre el remate de los muros milán y el faldón, se tenga el traslape indicado en los planos estructurales correspondientes (figura IV.1).

La excavación de estas zanjas se realizará de manera alternada por ningún motivo se permitirá hacer excavaciones continuas.

Durante el proceso de excavación y colado de estos muros, se utilizará lodo bentonítico, el cual deberá cumplir con las características señaladas en la especificación correspondiente.

Es importante mencionar que debido a la profundidad y la acción de corte del equipo guiado (draga tipo Casagrande), así como a las propiedades mecánicas y físicas del suelo la función del lodo bentonítico, es la de estabilizar las paredes verti-

cales de la zanja de excavación, evitando de esta manera los derrumbes o caídos en el fondo de la excavación.

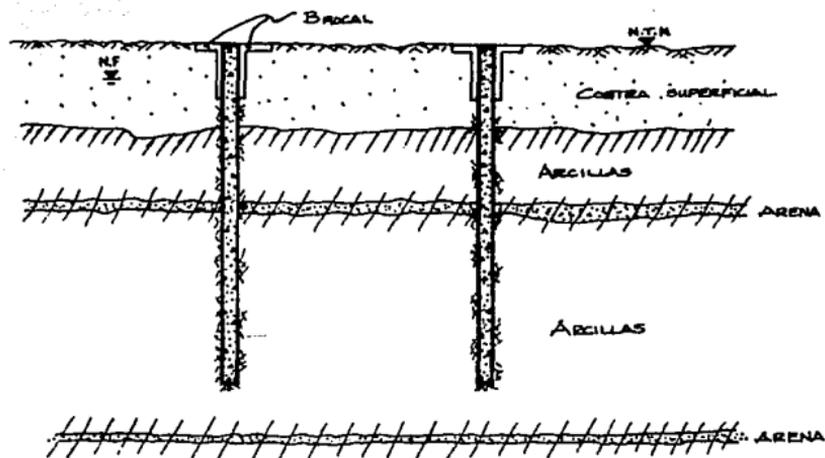


FIG. IV.1 MURO TABLESTACA IN SITU

Terminada la excavación y previamente armada la estructura de acero ("parrilla") del muro, se procede a introducir la zanja para realizar el colado in situ del muro, que formará la frontera que delimitará el cajón del Metro.

Es importante verificar que el armado de la estructura de refuerzo se realice y se coloque de acuerdo con el diseño de el proyecto estructural, que tome la posición correcta y que quede fija con sujetadores durante el colado.

Colocar las juntas metálicas separadoras, perfectamente bien engrasadas y verticales.

Controlar que la tubería tremie o de colado se opere con valvula (balón latex), y se maneje con cuidado para que el concreto no se contamine.

El tiempo de vaciado de concreto entre una y otra revolvedora no deberá exceder de 15 minutos, para evitar que se formen juntas con el lodo bentonítico acentado; así mismo, se evitarán en buena medida las filtraciones en estos muros.

Una vez terminado el colado del muro tablestaca este permanece

cera en su sitio hasta que el concreto alcance su resistencia de proyecto. Para examinar la calidad aparente del muro y detectar zonas de calidad pobre (concreto contaminado), se debera esperar hasta que se realice la excavación del núcleo para lo cual pasaran varias semanas, por lo tanto, es muy importante resaltar que en la forma de realizar un buen colado se tendra una buena calidad del muro.

II.- Abatimiento del Nivel Freático.

Antes de iniciar cualquier etapa de excavación, será necesario abatir el nivel de aguas freáticas con el fin de mantenerla estanca, controlar las fuerzas de filtración y reducir las expansiones inmediatas del fondo de la excavación. Para llevara cabo dicho abatimiento, se instalaran pozos de bombeo de acuerdo con la especificación correspondiente.

El sistema de pozos de abatimiento esta formado por una serie de pozos profundos, que deberán atravesar el posible estrato de arena que subyace al fondo de la excavación, penetrando - 1.5 m por debajo del estrato. (figura IV.2).

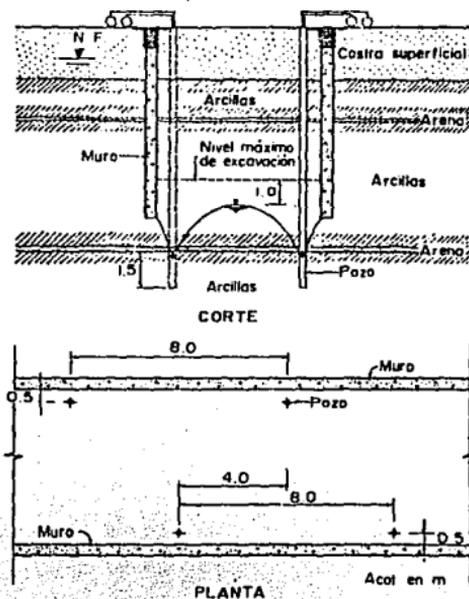


FIG. IV.2 LOCALIZACION DE POZOS DE BOMBEO

Los pozos se perforan con máquina rotatoria, equipado con una broca del tipo de aletas, inyectando agua como fluido de perforación; el diámetro usual es de 25 cm. Una vez alcanzada la profundidad especificada se lava el pozo, hasta que el agua de retorno salga limpia (libre de lodo o arena).

Posteriormente, en la perforación se coloca el ademe ranurado formado por FoFo de 7.5 o 10 cm de diámetro interior, con ranuras de 1 mm, espaciadas 10 mm entre sí; el tubo puede estar ranurado únicamente en los 6 m inferiores.

El espacio anular entre el ademe y la pared del pozo se rellena con gravilla de tamanos variables entre 5 y 10 mm, en toda la longitud del pozo.

Dentro del ademe se instalan bombas de eyector a una profundidad no menor de 3 m por debajo del nivel del fondo de la excavación, a fin de garantizar el nivel piezométrico abatido mínimo 1 m por debajo del fondo; las bombas eyectoras deben tener tubo de eyección de 13 mm de diámetro y salida de 19 mm. En la figura IV.3 se presentan las características de la instalación de un pozo de bombeo.

Instalación de un pozo

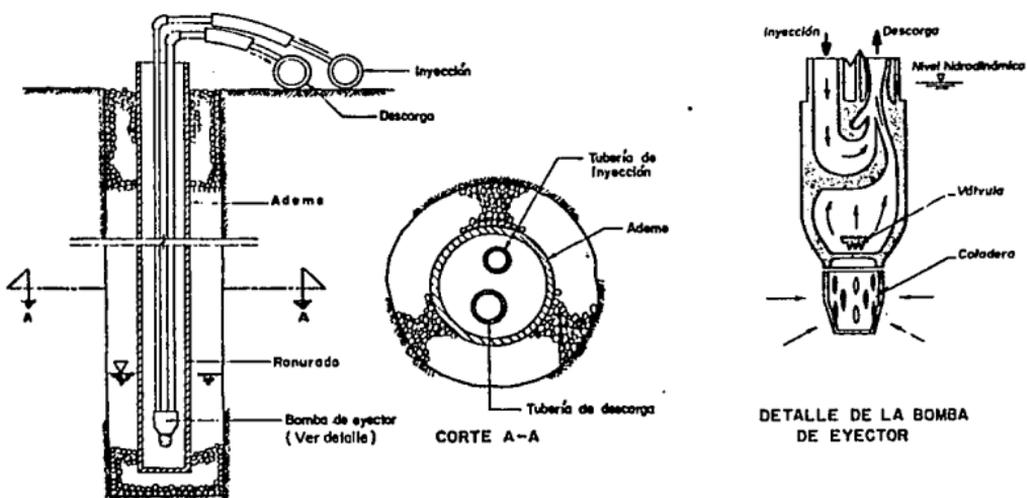


FIG. IV.3 INSTALACION DE UN POZO DE BOMBEO

El abatimiento de presión hidráulica se vigila con los piezómetros implantados en el Sistema de Instrumentación, cuyos bulbos se instalan a la mitad del espesor de cada estrato de arena; la excavación podrá iniciarse únicamente cuando se haya alcanzado el abatimiento especificado.

Debido a que en esta zona de lago no se cumpla con la condición de estabilidad del fondo de la excavación se necesita realizar un bombeo previo antes de iniciar cualquier etapa, para abatir las presiones de poro en la masa de arcilla como una forma de evitar la pérdida parcial de su resistencia al corte por efecto de la expansión acompañada con la absorción de agua.

El bombeo solo podrá iniciarse cuando se encuentren construidos los muros milán, correspondientes a las etapas de excavación en una longitud mínima de 50 m medidos a partir del primer pozo de bombeo.

El bombeo se suspenderá en cada pozo después del colado de la losa de fondo de la etapa de excavación realizada, excepto en aquellos pozos que tengan influencia en etapas posteriores por atacar.

Se empezará a bombear en todos los pozos comprendidos en cada etapa de excavación por realizar durante un período de 10 días previos al inicio de la etapa, y se suspenderá este, una vez colada la losa de fondo correspondiente.

Si durante la construcción de cualquier etapa se presentan filtraciones o escurrimientos pluviales, deberán controlarse mediante la construcción de zanjas de 30 x 30 cm, rellenas de grava limpia, ubicadas en la orilla de la excavación, las cuales deberán reconocer hacia carcamos de bombeo construidos en las esquinas opuestas de la etapa de excavación, desde donde se extraera el agua por medio de bombas autocebantes de manera que el fondo de la excavación permanezca siempre lo más estanca posible.

Antes de iniciar la excavación para la construcción del cajón del Metro, deberán efectuarse los desvíos correspondientes de las instalaciones municipales que interfieran con dicha excavación, tal es el caso de las redes de agua potable y drenaje, líneas telefónicas y eléctricas, etc, coordinados por las dependencias correspondientes.

Es importante mencionar, que si antes o durante la excavación de cualquier etapa, no se cumple con las condiciones de estabilidad o se presentan incidencias de inestabilidad, se suspenderá para evitar riesgos mayores y se procederá a realizar un análisis de la mecánica de suelos ya planteada para su solución y así reiniciar la excavación.

III.- Excavación, apuntalamiento y estructuración.

(Construcción)

La excavación y construcción del cajón del Metro se llevará a cabo, mediante muros tablestaca o muros milán de acompañamiento.

Deberá de respetarse el orden de las etapas de excavación - indicadas en el plano correspondiente a la mecánica de suelos

Antes de iniciar cualquier etapa de excavación se deberá -- realizar el bombeo previo, para evitar en lo posible condiciones de inestabilidad en la masa del suelo; así mismo, se deberá de abatir la presión de poro según indique el proyecto para ambos casos se recurrirá a la residencia geotécnica con el fin de que se confirme la excavación del núcleo en algún frente.

Una vez iniciada la excavación de cualquier etapa, no es conveniente interrumpirla antes de alcanzar el nivel máximo de excavación de proyecto, por lo tanto, no se permitira suspender la excavación por motivos de fin de semana o días festivos, ya esto repercutira en las condiciones mecánicas de la masa de suelo.

En el caso en que no se cumpla con la excavación por los motivos ya expuestos, se recurrirá a la colocación de lastres temporales que induzcan la presión especificada por la empresa proyectista.

El avance máximo de las etapas de excavación sera de 8.00 m (figura IV.4), por ningún motivo debiera de realizarse etapas de mayor longitud, a menos de que la proyectista indique lo contrario.

En el sentido de la excavación deberá llevarse un talud cuya inclinación sera 1:1 (vertical a horizontal); construyendo -- bermas, una ubicada a 3 m de profundidad medidas a partir de el nivel de terreno natural con una longitud de 10 m, la -- otra de 3 m de profundidad con 5 m de longitud, de esta última se llevará el talud hasta el nivel máximo de excavación.

Toda la maquinaria utilizada en la construcción del cajón -- del Metro deberá circular lateralmente y fuera del mismo.

Inmediatamente después de terminada la excavación, se procedera a colar una plantilla de concreto pobre, tal y como lo indique el proyecto. Cuando haya fraguado el concreto, se -- iniciara el armado de la losa de fondo que posteriormente se colorá.

Las etapas de excavación subsecuentes se realizarán cumpliendo con la devolución de las caragas oportunamente, es decir, la penúltima etapa deberá contar con la losa de fondo y los muros estructurales de acompañamiento y la última etapa debe contar con la losa de fondo. En relación a la losa tapa, se colocará un lastre en las etapas que no la tengan mientras se suministran para su colocación.

Los puntales o troqueles de apuntalamiento se irán colocando conforme la excavación se profundice y se descubran los puntos o niveles de colocación; en el momento en que suceda esto se suspenderá momentáneamente la excavación, para reiniciarla después.

Los niveles, la longitud y el tipo de troqueles se consultarán en el plano de apuntalamiento y de cortes generales del tramo deprimido. Los puntales o troqueles de acero contrarrestarán los empujes activos y pasivos del suelo mediante la aplicación de una precarga inicial en la celda hidráulica de carga que tiene el troquel y de acuerdo al nivel correspondiente.

Se iniciará la excavación partiendo del nivel de terreno y se suspenderá momentáneamente 30 cm abajo del primer nivel de troqueles, procediendo de inmediato a su colocación.

Se continuará con la excavación y se suspenderá momentáneamente 30 cm abajo del segundo nivel de troqueles, colocando este en su posición de inmediato.

De la misma manera descrita se excavará y colocará el tercer y cuarto nivel de troqueles.

Se procederá al retiro de cada uno de los puntales, de acuerdo a la estructuración del cajón.

En la figura IV.5, se muestra la distribución y colocación de los puntales; así mismo, se muestra la forma de la devolución de cargas oportunamente durante el procedimiento constructivo.

El tiempo máximo a emplear en la excavación y colocación de los puntales no deberá exceder de 24 hrs por cada etapa.

El colado de la plantilla deberá realizarse en un tiempo máximo de 4 hrs contados a partir del momento en que se haya alcanzado el nivel máximo de excavación.

En el armado de la losa de fondo se deberá dejar las preparaciones para la liga estructural de los muros de acompañamiento y de la losa de fondo de la siguiente etapa.

El tiempo máximo para el armado y colado de la losa de fondo sera de 8 hrs contadas a partir del momento de haber fraguado el concreto de la plantilla.

Veinticuatro horas después de haber colado la losa de fondo, se procederá a retirar el cuarto y último nivel de troqueles iniciándose el armado de los muros estructurales, después de tener las preparaciones de los muros se retirarán los troqueles del tercer y segundo nivel para terminar con el armado de estos, y así cimbrarlos y colarlos. El nivel de tope de colado sera según el indicado en proyecto.

Setenta y dos horas después de haber colado los muros estructurales de acompañamiento, se colocarán las tabletas prefabricadas, según el tipo correspondiente a su distribución en el tramo y se colará el firme de compresión (colocando un acero de refuerzo en la tableta y colando sobre esta misma teniendo así la losa tapa del cajón.

Veinticuatro horas después de colado el firme de compresión, se podrá retirar el primer nivel de troqueles.

Se debiera tener en cuenta que conforme la estructuración progrese, no se permitiran retrazos que puedan originar una posible falla de fondo o una condición de inestabilidad que ponga en riesgo la obra; además, el control del Sistema de Instrumentación aportará oportunamente las condiciones para la excavación y construcción del cajón del Metro.

IV.- Relleno superficial.

Terminada la estructuración del cajón, se procederá a realizar el relleno superficial de acuerdo con las especificaciones correspondientes (proyecto de terracerías "caliza").

Se podrán reestablecer los servicios de las instalaciones municipales, así como la construcción de nuevas redes de drenaje, agua potable, líneas telefónicas, de alumbrado, etc.

C A P I T U L O V

MEDIDAS CORRECTIVAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

MEDIDAS CORRECTIVAS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

En virtud del irregular comportamiento encontrado en algunas zonas de los tramos deprímidos, fundamentalmente en las construcciones cercanas al cajón del Metro, fue necesario plan-tear algunas modificaciones al proceso constructivo para la construcción del cajón; las modificaciones realizadas para cada uno de los frentes en su caso fue determinante en la prevención de riesgos por condiciones de inestabilidad, así como de la corrección del comportamiento inusitado del sub-suelo.

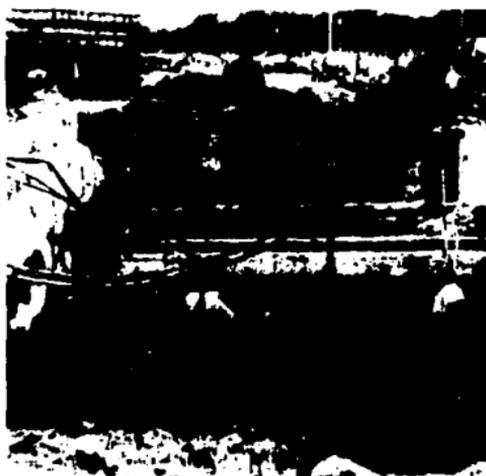
Los planteamientos que se realizaron durante el proceso cons-tractivo fueron las medidas correctivas y preventivas a se-guir para la solución de los problemas reales en obra debido a que en esta zona de lago virgón se tenía muchas espectati-vas de sus condiciones estratigráficas para la construcción de la Línea A.

En este capítulo se citan las medidas correctivas y preven-tivas (modificaciones) más relevantes y ejecutadas durante la construcción del cajón del Metro en los tramos deprímidos en la zona del lago virgón.

1. Reducción de los tiempos de bombeo previo al inicio de la excavación

Mediante la evaluación de las características físicas y mecánicas del subsuelo, así como de la evolución del aba-timiento de la presión de poro y del nivel freático en la zona de Los Reyes (Santa Martha - Los Reyes - La Paz), - se tuvieron condiciones para realizar la reducción del período de bombeo previo al inicio de la excavación sien-do de 10 días especificados en un principio paso a ser de 6, porque de seguir realizando el primer período se hubiesen suscitado problemas por la aparición de grietas por tensión en la superficie del suelo adyacente a la excavación provocando desplazamiento verticales y afecta-ciones a las construcciones vecinas.

En la gráfica V.1 se puede apreciar como a los 3.0 m de profundidad de la excavación sobre el nivel de terreno - natural no se tiene presencia del nivel freático en un estrato limo-arenoso de color gris a verde.



Gráfica 1 Excavación de núcleo en el tramo deprimido Los Reyes - La Paz en una franja de 15.0 m, se apreciaba que no hay presencia del agua freática

Esta medida a la que nos referimos, fue exclusivamente para los tramos deprimidos de Acatitla - Sta Martha, Sta Martha - Los Reyes y Los Reyes - La Paz.

Para el primero, se presentaron estratos de arcillas blandas con lentes de arena intercalados; además de esto, se encontró dentro de los cadenamientos 20+481.5 al 20+497.50 una formación basáltica perteneciente a la zona de transición en el sur-oriente de este tramo.

Esta formación basáltica se encontró a los 0.90 m por debajo del N.T.N. tal como lo muestra la gráfica 2, en esta zona no se colocaron los pozos de bombeo.

En el segundo y tercer tramo, los lentes de arena son más potentes que en el primer tramo; por lo que la permeabilidad en este terreno es más eficiente permitiendo así la reducción del período de bombeo previo al inicio de la excavación.

El objetivo primordial por lo cual se redujo el tiempo de bombeo antes estas características del subsuelo en estos tramos, fue por evitar excedentes en los gastos de extraídos provocando condiciones de inestabilidad que repercutirán a corto plazo.



Gráfica 2 Hacia el fondo se puede apreciar la formación basáltica encontrada en el tramo deprimido de Acatitla - Sta. Martha; así también, se puede ver parte del cajón.

2. Disminución del número de pozos de bombeo en los frentes de excavación así como de sus niveles hidrodinámicos de operación.

La operación del bombeo indujo una importante influencia en las estructuras vecinas colindantes con el cajón del Metro, para reducir el radio de influencia de éstos fue necesario escalonar la operación de los pozos de bombeo tal y como lo muestra la figura de la especi-

ficación respectiva; el ajuste de los niveles hidrodinámicos de cada pozo en operación careció de un control regular.

Los lineamientos de la especificación de bombeo estipulaban que para garantizar su eficiencia, debería determinar la presión de trabajo en la red principal de los sistemas (4Kg/cm^2), en realidad en el mayor número de los equipos no se contó con el dispositivo de medición (manómetro) para verificar dicha presión.

En el mes de Junio de 1990, en las estructuras vecinas colindantes con la rejilla de ventilación localizada entre los encadenamientos 10+019.950 al 10+070.950, del tramo: Nave depósito-Pantitlán, se detectó la evolución de un insipiente mecanismo de falla de fondo, repentino en los daños a las estructuras de las casas-habitación. Las modificaciones al procedimiento constructivo planeado por el Departamento de Mecánica de Suelos a los cuales se les dio un estricto seguimiento por parte de la Residencia Geotécnica para evitar el desarrollo total del mecanismo de falla fueron las siguientes:

- a) Suspensión del frente de excavación para regularizar el sistema de bombeo reduciendo el radio de influencia debido a las anomalías presentadas en su operación; para tal fin en los pozos localizados sobre el corte de excavación operarían a 2.0m. por abajo del nivel excavado, excepto el pozo localizado en la proximidad con la losa de fondo última.
- b) Acelerar el proceso para la devolución de cargas -- (estructuración del cajón), como alternativa surgió la posibilidad de que una vez fraguado el colado de la losa de fondo última se realizará la colocación de un lastre con una carga equivalente al peso de los muros estructurales de acompañamiento. (2.80 ton/m^2)
- c) Los avances de excavación en la zona de la rejilla de ventilación se redujeron de 4.00m a 2.50m, existiendo la restricción de no poder abrir un nuevo frente sino se contaba con el colado de los muros de acompañamiento o en su defecto la colocación del lastre.

- d) Seguimiento del proceso constructivo, mediante el sistema de instrumentación instalado dentro y fuera del cajón del Metro (3 nivelaciones diarias), para estudiar el desarrollo de la condición de inestabilidad detectada.

Finalmente se pudo controlar y normalizar la situación presentada en este tramo, mediante el uso de estas medidas.

3. Reducción de los avances de excavación por las condiciones desfavorables del subsuelo de la zona del tramo: Pantitlán-Agrícola Oriental y la cercanía de las estructuras colindantes con el cajón, gracias al sistema de instrumentación implementado ahí, se detectó una condición de inestabilidad del comportamiento del terreno, como fue el caso particular de la 2a y 3a. cerrada de Río Churubusco y los condominios de Laurel No. 10. Para conservar los frentes de excavación dentro de los factores de seguridad estimadas, fue necesario plantear una serie de modificaciones al procedimiento constructivo, entre los principales podemos mencionar:
- a) Ajuste de los niveles hidrodinámicos en los pozos de bombeo en operación; apagándose a los lineamientos definidos en el Boletín ML-90-MS-10001-00-II-42-4108, para reducir el radio de influencia y por ende de las deformaciones en el suelo adyacente al cajón del Metro por la pérdida de la presión de poro del subsuelo.
- b) A partir del día 16 de agosto de 1990, se dio la instrucción general en los tramos de Pantitlán, de ejecutar los avances de excavación a 2.50m de longitud, para el caso de contar con colindaciones en una distancia no mayor de 8.00m.
- c) Durante el desarrollo de los trabajos de excavación se requirió un estricto control para la colocación en número y posición del sistema de apuntalamiento, así como una revisión regular cada 24 horas de las precargas en los troqueles colocados.
- d) Para el ciclo de excavación colado de losa de fondo, se restringió a un tiempo máximo de 48 horas, y el tiempo entre el afine y el colado de la losa de fondo a un tiempo no máximo de 12 horas.

Para enereumentar los factores de seguridad contra -- la facilidad de una falla de fondo se redujo la longitud de los avances de excavación, de 4.0 m. plan-- teados originalmente a 2.50m.

De no haberse tomado estas medidas los riesgos de -- provocar colapsos en las estructuras vecinas, hubiera sido catastróficas, ya que la colindancia era muy cercada (de).40cm. en el caso más desfavorable).

En uno de los casos más favorables por la condicio-- nes del terreno, se pudo ralizar la ampliación de -- los avances de excavación como fue el tramo de Sta. Martha-Los Resyes que inicialmente eran de una longi tud de 3.00 y que se prolongarón hasta 5.0m.

Además, entre los cadenamientos 22+824.000 al --- 22+872.00 se realizo una excavación de 1/3 de la altura de intrados de cajón por una longitud de 25.0m, sin ocurrir algún efecto que repercutiera a las es-- tructuras vecinas.

4. Empleo de lastre para los casos en los cuales la devolu-- ción o restitución de cargas quedaba atrazada por e-- fectos del proceso constructivo, se determinó utilizar - un lastre (carga muerta) mediante bloques de concreto y troqueles de acero que dueran igual al peso de los muros estructurales; y hasta el de la losa tapa en el caso más crítico.

En el campo, se le dio un estricto control al escalona-- miento de estructuración, permitiendose solamente una - etapa de desfasamiento en el colado de los diferentes - elementos que conforman la estructura del cajon, comple-- mentando con la colocación de lastres una vez transcurri das tres horas de haberse colado la obra de fondo.

La razón por la cual se utilizó este lastre, fue por evi-- tar una falla de fondo en las siguientes condiciones:

- a) presencia del N.A?F. dentro
- b) abatimiento de la presión de poro irregular
- c) aproximación excesiva de las estructuras ve-- cinas del cajón
- d) atrazo entre los avances programados y real de devolución de cargas

Para la verificación de un buen comportamiento del terreno se realizaron nivelaciones topográficas, obteniéndose buenos resultados en esto; con lo cual indicaba que la medida tomada represento una ayuda confiable.

5. Recubrimiento de taludes ya que la excavación para el cajón del metro se realiza a cielo abierto, para la temporada de lluvias fue necesario proteger los taludes de frentes de excavación para evitar la intemperización de estos, en algunos casos se emplearon pliegos de polietileno, mientras en otros se llegó a utilizar en recubrimiento a base de malla tipo "gallinero" y mortero (arena - cemento) o hasta un concreto pobre ($f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$). Los criterios que determinaron el uso de uno u otro recubrimiento fue el siguiente:

- a) Pliego de polietileno. Cuando el frente de excavación quedará el fin de semana sin trabajarse y los taludes fueron cortos
- b) Tela de gallinero con mortero. Cuando los taludes fueron grandes y el frente de excavación permanecería parado durante algunos días (algun puente), en los cuales estaría expuesto a la intemperización.

Tela de gallinero con concreto pobre

- c) Cuando el frente de excavación llegará a permanecer parado por más de un mes, y que además el hombre de talud recibiera cargas vivas o/o muertas. Todas las medidas adoptadas en la protección constructivo evitando así fallas por pie de talud.

6. Pozos de Inyección. Tomando en consideración la influencia originada por la construcción del cajón del Metro y las repercusiones habidas en las construcciones vecinas, fue necesario programar la implementación de una batería de pozos de inyección, fue la de contrarrestar la influencia del proceso constructivo, influencia que pudiera poner en riesgo el estado límite de servicio de los edificios de los condominios adyacentes al cajón del Metro.

Se consideró que con la instalación del sistema de inyección y con el control de las actividades de estruc-

turación (devolución de cargas) del cajón oportunamente los fines previstos se alcanzarían.

Para la operación de los pozos de inyección, se utilizó el agua proveniente del sistema de bombeo para el abatimiento del N.A.F. en la etapa de excavación, y -- por lo tanto se requirió la instalación de una celda de sedimentación para tratar el agua a utilizar; tratamiento estrictamente necesario para evitar pérdidas -- de eficiencia en el proceso de inyección.

La medida tomada evitó una falla por subpresión en el peor de los casos.

Todas las medidas preventivas y correctivas ya mencionadas, ayudaron en buena medida a evitar condiciones irregulares de comportamiento (detectado por el Sistema de Instrumentación oportunamente), los cuales ocasiona la pérdida de vidas humanas y equipo en muchas ocasiones.

CONCLUSIONES

- 1.- Evidentemente en la zona de Lago Virgen, el subsuelo aún conserva sus propiedades inalteradas, como se constató en las arcillas blandas y saturada que fueron sus traídas durante la excavación para la construcción del cajón del metro.
- 2.- Ante tales condiciones la implementación de un Sistema de instrumentación, fue justificada para realizar el monitoreo de las posibles irregularidades del comportamiento del terreno.
- 3.- La negligencia de hacer caso omiso a las especificaciones del proyecto ejecutivo, ocasiona riesgos que pueden llegar a ser fatales durante el proceso constructivo. Tanto a la seguridad integral de las vidas humanas como de los equipo utilizados, se exponen a riesgos indevidos; es imperativo darle un seguimiento estricto a las especificaciones de proyecto.
- 4.- Aún cuando se programa el sistema de instrumentación con el total de instrumentos a utilizar así como las fechas de las lecturas a realizar de cada instrumento por seguridad se debe escatimar en la implementación extra de algunos instrumentos y sus lecturas con más frecuencia que la programada.
- 5.- En la etapa correspondiente a la instalación del sistema de instrumentación y posteriormente durante el control, se presentó un alto número de casos de destrucción de instrumentos o en situación menos desfavorables fueron obstruidos por materiales de construcción y/o equipo de excavación, estas anomalías motivaron la pérdida de valiosa información para la interpretación de las condiciones de seguridad de la obra, esencialmente en la zona confinada por los muros milán. Para la construcción de futuras obras del Metro, es imperativo con ciliar medidas que permitan cumplir con un control de la instrumentación paralelamente a la ejecución del procedimiento constructivo y hasta su conclusión.

- 6.- Establecidas las posibles causas de los movimientos inadmisibles en la estructura de la Estación Pantitlán Línea 9, las cuales fueron basicamente la conjunción - de los efectos del abatimiento diferencial en el exterior de la excavación como las deformaciones elasto-plásticas producidas por la liberación de esfuerzos - propia de la excavación, se llevó a cabo la implementación de un sistema de pozos de inyección para regular las deformaciones obteniendose resultados favorables a partir de los priemros días de operación.
- 7.- La piezometria implementada para el control de la evolución de la presión de poro, permitió en el tramo de Santa Martha - Los Reyes, realizar un ajuste en las especificaciones para el tiempo de bombeo previo de la excavación de 10 a 6 días. Tal medida se implantó gracias al favorable abatimiento de la presión de poro.
- 8.- A lo largo del proceso constructivo se presentaron incontables pérdidas de instrumentos instalados por la destrucción con el equipo de excavación en cada uno de los frentes.

La falta de conocimiento acerca de los instrumentos - colocados por parte del personal obrero fue la principal causa de los sucedido, de no ser así estos instrumentos se conservarían hasta el termino de su vida-útil dando mejores resultados en el monitoreo.
- 9.- El personal técnico responsable de la obra debe tener - conocimientos básicos de geología o ser capacitado en la materia, además de estos conocimientos debe contar con la experiencia de la obra Metro, para razonar e interpretar los resultados.
- 10.- Se debe mantener una cosntante comunicación entre la - residencia de obre, la supervisión y la residencia geotecnicna para poder conocer y seleccionar los alcances de la obra en general, dando mejores condiciones de -- trabajo.
- 11.- Es muy importante que la residencia geotecnica mantenga un contacto estrecho con el Departamento de Proyectos (Estructural, Mecánica de suelos, etc.), así como con los asesores de las diferentes áreas que estan vinculadas con el proyecto, con el objetivo de atender -- los sucesos ya sean mayores o menores.

Esto además, ayudará a unificar criterios entre todo - el equipo participante en el proyecto ejecutivo.

- 12.- En términos generales, la operación de la implementación del Sistema de Instrumentación para la construcción del cajón del Metro de la Línea "A" fue benéfica y eficiente; dando condiciones de seguridad en el proceso constructivo en el mejor de los casos y abatiendo y solucionando los incidentes menores y mayores que se presentaron en el peor de los casos. De esta manera, esmos seguros de que el Sistema operativo, funcional y eficiente.

- 13.- Basados en un seguimiento estricto realizado dentro de la construcción del cajón de la línea "A" del Metro, - se logró garantizar condiciones de seguridad contra falla de fondo, falla por subpresión y falla de talud. El logro alcanzado nos motiva al mismo tiempo que nos hace reflexionar respecto a la importancia del control - del procedimiento constructivo, evitando de esta manera condiciones irregulares de comportamiento.

B I B L I O G R A F I A

MANUAL DE DISEÑO GEOTECNICO, Vol. 1, Departamento del Distrito Federal, Secretaría General de Obras, Comisión de Vialidad y transporte Urbano, México, 1987.

Marsal R. J. y Mazari M., El subsuelo de la Ciudad de México, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alfonso, Mecánica de Suelos, Tomo I, II, y III, Editorial Limusa, 7a. reimpresión, México 1987.

Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, Departamento de Construcción para el Distrito Federal, México, D.F.

Saad, Miguel Antonio, Redacción, Editorial C.E.C.S.A., 10a. Impresión, México, 1990.