

L-495

501,576 01/49

DES
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
División de Estudios Superiores

33

Comportamiento de Cimentaciones Sobrecompensadas en Suelos con Hundimiento Regional

T e s i s

Que para Obtener el Título de:

Maestro en Ingeniería

(Mecánica de Suelos)

Presenta:

José Luis Díaz Cobo

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. 1977



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

BIBLIOTECA DE LAS DIVISIONES
DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS SUPERIORES
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

A mis padres

I

RECONOCIMIENTO

Al Dr. Daniel Reséndiz,
por su acertada dirección

Al Ing. Américo García Rodríguez

Por lo valioso de las pláticas a cerca
de la interpretación de los planos de
proyecto, datos adicionales que me pro
porcionó y sugerencias para efectuar -
la nivelación

A la Srta. Martha Alicia Díaz Infante

Por su buena disposición y esmero para
revisar el texto

A todas las personas e instituciones
que no han sido nombradas y que de -
alguna forma u otra cooperaron para
que este trabajo se llevara a cabo

I N D I C E

	PAG.
R E C O N O C I M I E N T O	I
1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
2.- DESCRIPCION DE LOS PASOS A DESNIVEL CONSIDERADOS.	5
2.1) Introducción.	5
2.2) Localización.	6
2.3) Descripción de las estructuras.	7
3.- TRABAJOS DE CAMPO Y RECOPIACION DE DATOS.	15
3.1) Nivelación.	15
3.2) Medición de la geometría de los pasos.	17
3.3) Obtención de los planos estructurales y topográficos.	17
3.4) Estudios de mecánica de suelos.	17
4.- DETERMINACION ESTADISTICA DE LOS PARAMETROS DEL SUELO.	19
4.1) Indices de compresibilidad.	19
4.2) Relación de vacíos inicial.	19
4.3) Coeficiente de consolidación.	20
5.- HIPOTESIS Y SU JUSTIFICACION.	21
5.1) La distribución y magnitud de los abatimientos piezométricos con respecto a la profundidad permanecen constantes.	21
5.2) Suelo normalmente consolidado.	32
5.3) Posición del nivel freático constante con respecto al tiempo.	35
5.4) Las expansiones se llevan a cabo con mayor rapidez que las consolidaciones.	37
5.5) El contenido natural de agua en la segunda formación arcillosa se consideró de 200%.	38

	PAG.
5.6) La velocidad de asentamiento para el periodo Agosto 1973 - Mayo 1975, igual al del precedente Marzo 1970 - Agosto 1973.	39
6.- EXPANSIONES - ASENTAMIENTOS.	41
6.1) Cargas.	41
6.2) Descargas.	41
6.3) Descarga neta.	41
6.4) Esfuerzos producidos en la masa del suelo.	42
6.5) Movimientos verticales; teoría aplicada.	42
7.- PROCEDIMIENTO EMPLEADO.	45
7.1) Expansión reducida por efecto del abatimiento piezométrico.	45
7.2) Movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia por efecto del abatimiento piezométrico regional.	46
7.3) Expansión relativa total.	47
7.4) Secuela del cálculo.	48
7.4.1) Expansiones sin considerar el hundimiento regional (δ_e).	48
7.4.2) Corrección a las expansiones por el efecto del abatimiento piezométrico (δa_e).	50
7.4.3) Asentamiento en puntos fuera y dentro del área de influencia, debido al abatimiento piezométrico ----- ($\delta a_f - \delta a_d$).	50
7.4.4) Expansión relativa total (δe_{rt}).	51
7.4.5) Corrección por grado de consolidación alcanzado.	51
7.4.6) Corrección por grado de consolidación, considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	53
7.4.7) Promedio de las expansiones y asentamientos.	60

	PAG.
8.- RESULTADOS.	61
8.1) Perfiles de parapeto.- expansiones medidas en campo.	61
8.2) Expansiones relativas totales obtenidas --- aplicando la teoria.	63
8.3) Comparación de resultados.	63
8.3.1) Xola - Napoleón.	63
8.3.2) Lorenzo Boturini.	73
9.- COMENTARIOS FINALES.	75
9.1) Expansiones relativas totales medidas en pasos a desnivel.	75
9.2) Diferencia en las expansiones relativas totales (δe_{rt}) y locales (δe_{ln}).	77
9.3) Aproximaciones en base a los hundimientos - obtenidos por nivelación y por curvas de la C.A.V.M.	80
9.4) Preconsolidación de la segunda formación arcillosa.	84
9.5) Paso de peatones.	86
10.- CONCLUSIONES.	87
10.1) Aproximaciones.	88
10.2) Evolución de las expansiones con el tiempo.	93
10.3) Efecto de edificios.	100
10.4) Tendencia de las expansiones.	101
10.5) Comentarios sobre los resultados obtenidos empleando los hundimientos de la C.A.V.M. y los de la nivelación efectuada.	102
10.6) Comentarios sobre suelos con hundimiento regional.	103
10.7) Preconsolidación de la segunda formación arcillosa.	104
10.8) Confirmaciones de preconsolidación.	105
10.9) Nivelaciones no referidas al nivel del mar.	105
10.10) Comentario a hipótesis.	106
10.11) Contribución en el hundimiento regional, -- de la primera y segunda formación arcillosa.	106

A N E X O S

	PAG.
11.- ANEXO I - CALCULOS.	109
A.- XOLA - NAPOLEON.	
11.A.1.- CARGAS - DESCARGAS - DESCARGAS NETAS.	
11.A.1.1.- Cargas.	111
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	
a) Zona de muros y losa. b) Zona de muros sobre zapatas corridas.	123
b.1) Carga en zona fuera de muros.	
b.2) Carga en zona de muros. ----	
c) Zona del túnel.	125
2.- Paso a desnivel para peatones.	128
11.A.1.2.- Descargas.	128
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	
2.- Paso a desnivel para peatones.	132
11.A.1.3.- Descargas Netas.	133
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	
2.- Paso a desnivel para peatones.	
11.A.2.- ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO.	134
11.A.2.1.- Obtención de los esfuerzos mediante la carta de Newmark.	134
11.A.3.- DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS DEBIDOS A PESO PROPIO, DESCARGA Y ABATIMIENTO.	139
11.A.3.1.- Esfuerzos efectivos por peso propio con respecto a la profundidad.	139
11.A.3.2.- Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad.	140
11.A.3.3.- Variación de los abatimientos con respecto a la profundidad.	140
11.A.4.- EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.	144
11.A.4.1.- Construcción de las curvas de compatibilidad.	144

	PAG.
11.A.4.2.- Obtención de las expansiones y -- asentamientos.	155
11.A.5.- GRADO DE CONSOLIDACION.	155
a) Según datos de la Comisión de ---- Aguas del Valle de México (CAVM).	155
b) Según la nivelación corrida.	161
11.A.6.- VERIFICACION DE LA CONDICION QUE DEBE SATISFACER EL PROBLEMA.	162
Se obtiene el grado de consolidación teórico y la aproximación con respec- to al obtenido a partir de la nivela- ción y el obtenido por medio de las - curvas de la Comisión de Aguas del Va lle de México, (CAVM).	
11.A.7.- EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES.	169
11.A.7.1.- Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. for- mación arcillosa.	169
11.A.7.2.- Considerando los diferentes tiem- pos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	172
11.A.8.- APROXIMACIONES.	175
11.A.8.1.- Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. for- mación arcillosa.	175
11.A.8.2.- Considerando los diferentes tiem- pos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	176
11.A.9.- VARIACION DE LAS CURVAS $\Delta\delta_e$, $\Delta\delta_a$ y - $\delta_{e_{rt}}$ CON RESPECTO AL TIEMPO.	176
11.A.10.- PORCENTAJE DE $\delta_{e_{rt}}$ CON RESPECTO AL TIEMPO.	180
11.A.11.- DIFERENTES GRADOS DE CONSOLIDACION -- (PRECONSOLIDACION) DE LA 2a. FORMA--- CION ARCILLOSA.	182

	PAG.
11.A.11.1.- Grados de consolidación resultantes.	184
a) Para el caso de normalmente - consolidada.	
b) Suponiendo una consolidación del 25%.	
c) Suponiendo una consolidación del 50%.	
11.A.11.2.- Expansiones relativas totales resultantes.	185
11.A.11.3.- Aproximaciones.	186
 B.- LORENZO BOTURINI.	
11.B.1.- CARGAS - DESCARGAS - DESCARGAS NETAS.	191
11.B.1.1.- Cargas.	
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	
a) Zona de muros y losa.	191
b) Zona del túnel.	202
11.B.1.2.- Descargas.	
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	203
11.B.1.3.- Descargas netas.	
1.- Paso a desnivel para vehiculos.	207
11.B.2.- ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO.	208
11.B.2.1.- Obtención de los esfuerzos mediante la carta de Newmark.	208
11.B.3.- DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS DEBIDOS A PESO -- PROPIO, DESCARGA Y ABATIMIENTO.	213
11.B.3.1.- Esfuerzos efectivos por peso propio con respecto a la profundidad.	213
11.B.3.2.- Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad.	214

	PAG.
11.B.3.3.- Variación de los abatimientos con respecto a la profundidad.	214
11.B.4.- EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.	214
11.B.4.1.- Construcción de las curvas de <u>com</u> presibilidad.	214
11.B.4.2.- Obtención de las expansiones y -- asentamientos.	229
11.B.5.- GRADO DE CONSOLIDACION.	
a) Mediante los datos de la C.A.V.M.	229
b) Según la nivelación corrida.	235
11.B.6.- VERIFICACION DE LA CONDICION QUE DEBE SATISFACER EL PROBLEMA.	235
<p>Se obtiene el grado de consolidación teórico y la aproximación con respecto al obtenido a partir de la nivelación y el obtenido por medio de las - curvas de la Comisión de Aguas del <u>Va</u>lle de México, (CAVM).</p>	
11.B.7.- EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES.	245
11.B.7.1.- Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. <u>for</u> mación arcillosa.	245
11.B.7.2.- Considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	248
11.B.8.- APROXIMACIONES EN LAS EXPANSIONES.	252
11.B.8.1.- Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. <u>for</u> mación arcillosa.	253
11.B.8.2.- Considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	253
11.B.8.3.- Promedios.	254

	PAG.
12.- ANEXO II - DETERMINACION ESTADISTICA DE LOS PARAMETROS DEL SUELO.	255
LINEAS DE REGRESION.	257
12.1.- Relación de vacíos inicial vs contenido natural de agua.	260
12.2.- Índice de compresibilidad en la curva de recompresión - descarga vs contenido natural de agua.	261
12.3.- Índice de compresibilidad en la rama virgen vs contenido natural de agua.	263
13.- ANEXO III - NIVELACION.	267
13.1.- Registro de la nivelación corrida desde el Banco No. 43-A, de la Dirección General de Obras Hidráulicas (en el Bosque de Chapultepec), al Banco IMAN (en Rfo de Churubusco y Tlalpan).	269
13.2.- Registro de la nivelación corrida desde el Banco No. 98, de la Dirección General de Obras Hidráulicas, (en Mixcoac) hasta el Banco IMAN (en Rfo de Churubusco y Tlalpan).	276
Se incluye de la Fig. 13.1.1 a la 13.1.10; localización en planta de los puntos nivelados en cada paso a desnivel.	279
14.- ANEXO IV - EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES MEDIDAS EN CAMPO.	299
Perfiles de los parapetos (de proyecto y en la fecha que se hizo la nivelación) de los pasos a desnivel nivelados; de la Fig. 14.IV.1 a 14.IV.10.	301
RELACION DE FIGURAS.	311
RELACION DE TABLAS.	317
REFERENCIAS.	319

1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No existen en la literatura referencias que tomen en cuenta en el comportamiento de una cimentación sobrecompensada en arcillas el efecto de consolidación regional. Por tal razón el Dr. D. Reséndiz me propuso como tema de tesis ese problema, que me planteó como sigue:

"Toda cimentación sobrecompensada en un suelo arcilloso tiende a emerger progresivamente a causa de la expansión del suelo provocada por la disminución de esfuerzos. Cuando en el subsuelo no actúan solicitaciones adicionales a las de la propia cimentación, la emersión -- tiende asintóticamente a un límite cuya magnitud puede estimarse con razonable precisión, mediante métodos bien conocidos de la mecánica de suelos.

Sin embargo, en ciertas zonas de las que la ciudad de México es un ejemplo conspicuo, el estado de esfuerzos en el suelo cambia con el tiempo por causa de la consolidación regional, inducida por la extracción de agua subterránea. Estos cambios regionales de esfuerzos, se superponen a los inducidos por cualquier cimentación y afectan el comportamiento de ésta.

En el caso de cimentaciones sobrecompensadas, el problema se puede expresar como sigue:

En un subsuelo cuya única perturbación sea la cimentación sobrecompensada en cuestión, el cambio de esfuerzos verticales y el correspondiente incremento de relación de vacíos que sufren ciertos elementos típicos del suelo bajo la cimentación, como los indicados en la Fig. 1.1, pueden analizarse mediante la Fig. 1.2, en que se ha supues

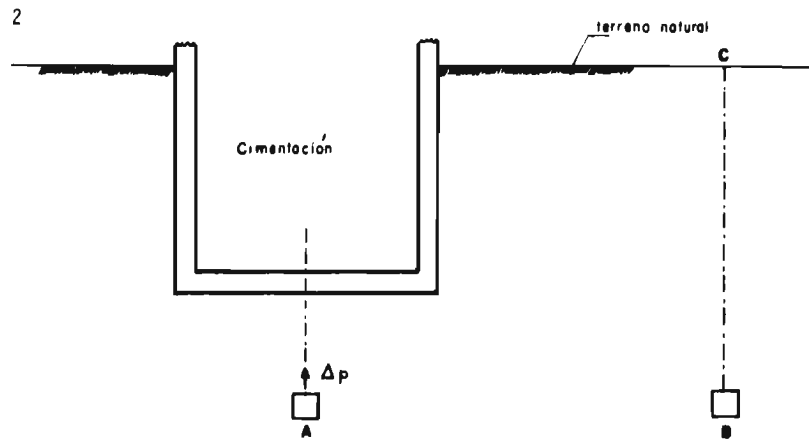


FIG. 1.1. REPRESENTACION DE ELEMENTOS DE SUELO, DENTRO Y FUERA DEL AREA DE INFLUENCIA DE LA CIMENTACION.

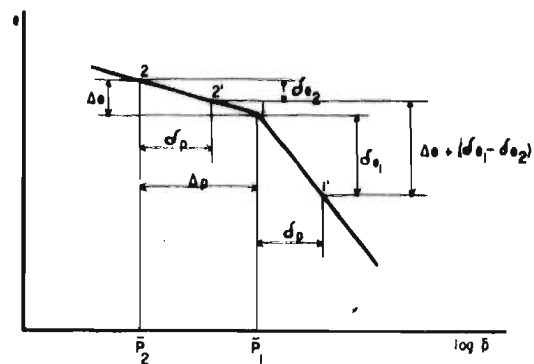


FIG. 1.2. CURVA DE COMPRESIBILIDAD. ESTADO DE ESFUERZOS INICIAL Y FINAL (DESCARGA MAS ABATIMIENTO) DE LOS ELEMENTOS DE SUELO DE LA FIGURA 1.1.

to que el estado inicial del suelo es normalmente consolidado.

En la Fig. 1.2, el punto 1 representa el estado inicial del elemento A de la Fig. 1.1, representativo del suelo de cimentación y el punto 2 el estado final del mismo elemento, en que el esfuerzo vertical efectivo se habrá reducido Δp con respecto al estado inicial y la relación de vacíos habrá aumentado Δe .

Un elemento de suelo B, como el de la Fig. 1.1 fuera del área de influencia de la cimentación y cuyo estado inicial fuera igual al del elemento A, no sufriría perturbación alguna y por lo tanto seguiría estando representado por el punto 1 de la Fig. 1.2, en todo momento después de construida la cimentación.

Consecuentemente, en ausencia de otras perturbaciones del suelo, la emersión a largo plazo de la cimentación con respecto al punto C próximo a ella, pero fuera de su área de influencia, sería la correspondiente al incremento de relación de vacíos Δe entre los puntos 1 y 2 de la Fig. 1.2. Ahora bien, cuando a las perturbaciones inducidas por la cimentación, se agregan las debidas a la consolidación regional (equivalente a un incremento progresivo de esfuerzos efectivos, cuya magnitud varía sólo con la profundidad), habrá movimientos relativos adicionales de la cimentación y el punto C. Así, el estado $e - \bar{p}$ correspondiente al elemento B, representativo de las condiciones bajo el punto C, que en ausencia de consolidación regional se estabilizaría en la posición 1 de la Fig. 1.2, bajo un incremento δp de esfuerzos efectivos debido a consolidación regional, seguirá la trayectoria 1-1' a lo largo de la curva de compresión virgen; por su parte el elemento A, representativo de las condiciones bajo la cimentación, ante el mismo incremento de esfuerzos efectivos δp seguirá la trayectoria 2-2', que según la magnitud de δp estará contenida parcial o totalmente en la curva de recompresión de la Fig. 1.2. Consecuentemente, cualquiera que sea el valor de δp , la consolidación regional incrementará la emersión de la cimentación sobrepensada con respecto a un punto C, en una cantidad proporcional a $(\delta e_1 - \delta e_2)$ y la emersión total pasará a ser proporcional a -----

$\Delta e + (\delta e_1 - \delta e_2)$ en vez de serlo a Δe como ocurriría en ausencia de consolidación regional.

El objeto de la tesis sería aportar información que permita evaluar cualitativa y cuantitativamente la anterior concepción del problema, mediante la comparación de predicciones basadas en ella y observaciones a escala natural en varias cimentaciones sobrecompensadas de suficiente edad, para garantizar que ha concluido en ellas el proceso de expansión local del suelo".

Se eligieron para este análisis pasos a desnivel en la Calzada de Tlalpan y San Antonio Abad. Se consideraron éstos y no edificios porque la sobrecompensación en los pasos es muy grande (6 ton/m^2), comparada con la que se busca en la mayoría de los edificios. Además una buena parte de ellos tiene construcciones ligeras en las zonas aledañas, lo cual interfiere poco con el fenómeno por analizar. Por último, estos pasos tienen bastante tiempo de contruidos, lo que permite percibir con mayor claridad la contribución que en la expansión está teniendo el hundimiento regional.

A continuación se describe en detalle todo el trabajo realizado para cumplir con el propósito del estudio.

2. DESCRIPCION DE LOS PASOS A DESNIVEL CONSIDERADOS

2.1) Introducción

Al observar las expansiones en estos pasos a desnivel, se puede uno -
percatar de que la expansión máxima en la actualidad es aproximadamente -
de 85cm. y de que sigue creciendo con el tiempo.

Por otro lado una cimentación con las mismas características pero en
suelos sin hundimiento regional, tendría una expansión máxima de 45 cm. -
aproximadamente, además de que, después de determinado tiempo ésta se man-
tendría constante. Es de suponerse entonces que ese comportamiento fuera
de lo usual es debido al efecto que el hundimiento regional tiene en la -
zona cubierta por los pasos y en zonas fuera de éstos.

Se consideró entonces que estas estructuras se podían estudiar para -
así llegar a ciertas conclusiones cualitativas o cuantitativas; además pa-
ra un análisis más preciso, se debían cumplir los siguientes requisitos:

- 1.- Que se conozca la historia de los niveles piezométricos.
- 2.- Que en la zona aledaña no existan construcciones excesivamente -
próximas o que de existir sean ligeras, de tal modo que no inter-
fieran fuertemente con el fenómeno por analizar.
- 3.- Que haya transcurrido suficiente tiempo desde su construcción pa-
ra garantizar que las expansiones por descarga se han desarrolla-
do totalmente.
- 4.- Que exista información estructural, geométrica y topográfica y -
que las elevaciones de construcción sean conocidas.

5.- Que se conozcan las propiedades de los suelos en el sitio de interés.

La primera condición no fue posible satisfacerla para cada paso debido a la escasez de estaciones piezométricas. Sin embargo, considerando -- los datos de la tabla 5.1.1 y las distribuciones de las estaciones piezométricas más cercanas así como las que tuvieran una distribución lo más -- uniforme con respecto a la profundidad, fue posible determinar una ley de abatimientos piezométricos común para todos los pasos (véase inciso 5.1).

La segunda condición se cumple satisfactoriamente en algunos casos y en otros no, como se discutirá posteriormente.

La tercera condición se cumple satisfactoriamente (ver inciso 5.4, -- más adelante).

La información de la cuarta condición fue satisfecha en la mayor parte de los casos.

Por lo que respecta a la quinta condición, no fue posible obtener los estudios de mecánica de suelos; en este caso como se verá más adelante, -- se consiguieron sondeos de estudios cercanos. En general se puede decir -- que se consiguieron bastantes; sin embargo, éstos no cubrieron todos los pasos, pues en algunos se localizaron varios sondeos cerca de un paso, -- mientras que en otros los sondeos obtenidos son relativamente distantes.

Combinando los cinco puntos anteriores se concluyó, que los pasos que llenaban mejor estos requisitos eran: Xola-Napoleón, Lorenzo Boturini y -- Correspondencia-Santiago. Los dos primeros casos son los que aquí se analizan.

2.2) Localización

2.2.1) Xola - Napoleón

Se localiza en el cruce de la Calzada de Tlalpan y la Av. Xola (al -- Oriente cambia a Av. Napoleón). La distancia del cruce de Tlalpan y Vía-- ducto Miguel Alemán es aproximadamente 1 km. hacia el Sur.

2.2.2) Lorenzo Boturini

Se encuentra en el cruce de la calle L. Boturini y San Antonio Abad. Este dista aproximadamente 1 1/2 km. hacia el Norte del cruce arriba cita do; ambos se pueden observar en la Fig. 2.2.1.

2.2.3) Correspondencia - Santiago

Este está aproximadamente a 250 m. al Sur de Xola-Napoleón. Al Oriente se llama Santiago; al Poniente se llama Correspondencia.

2.3) Descripción de las estructuras

Los pasos a desnivel consisten en una estructura de concreto armado - con dos zonas bien definidas: la del túnel y la de rampas, Fig. 2.3.1.

Dependiendo del ancho de los pasos, hay dos carriles separados bien - definidos (Xola y Boturini) o un solo ancho que se utiliza como doble carril (Correspondencia). Cuando hay dos carriles la estructura es un doble cajón cuyo ancho total medio es de 17.15 m. y la altura 5.75. Cada carril tiene un ancho libre de 8 m. y una altura libre media de 4.60 m. En el ca so de un solo carril lo único que cambia es el ancho medio, 8.90 m. y el ancho libre 7.95 m., (Fig. 2.3.2.).

Sobre la losa de piso existe una capa de piedra basáltica triturada - (1 1/2" a 2"), con una pendiente de 0.5% para conducir el agua infiltrada hacia unos drenes ubicados en la parte externa, por debajo de la banqueteta; ver Fig. 2.3.3. Sobre esta capa va una de 10 cms. de concreto hidráulico con una malla LAC 66H al centro. Por último la capa de rodamiento de 5 -- cms. de espesor, de concreto asfáltico.

Este cajón se desarrolla precisamente a todo lo largo de la Calzada - de Tlalpan, en el sentido perpendicular. Su longitud depende del ancho -- que tenga la Calzada en la zona de los pasos; en Xola - Napoleón es de 57 m., en L. Boturini es de 45 m. y en Correspondencia es de 56 m.

La zona de rampas está estructurada desde la salida del túnel hasta - una distancia de 85 m. aproximadamente (hasta donde termina el dren) por

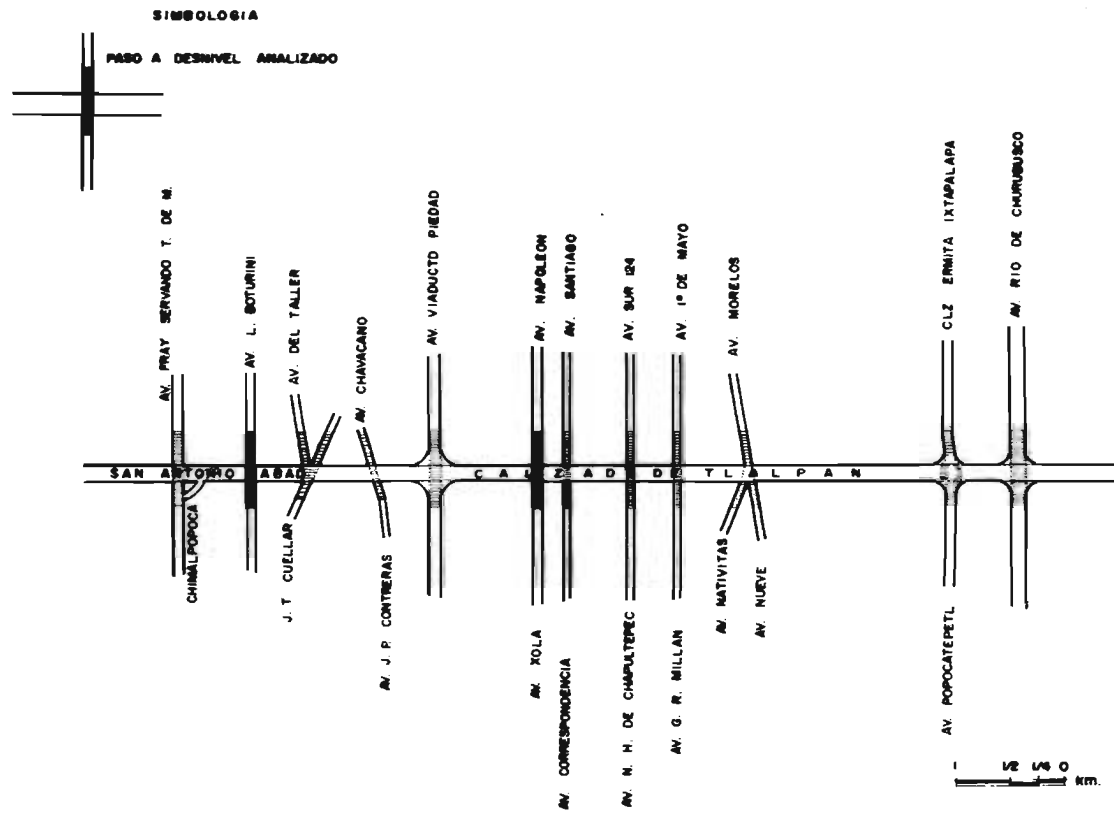


Fig. 2. 2. 1 LOCALIZACION DE PASOS A DESNIVEL NIVELADOS

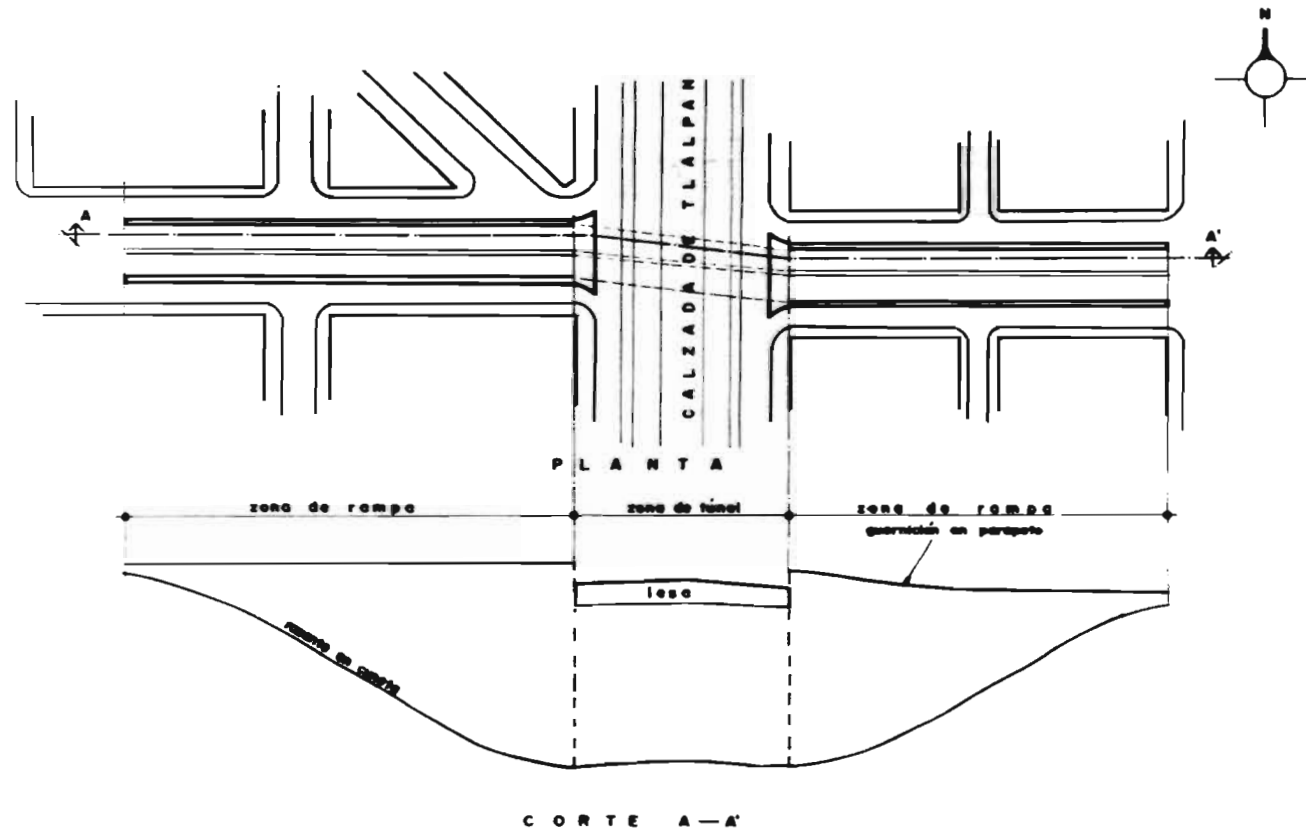


Figura : 2 . 3 . 1 . PASO A DESNIVEL . ZONA DE TUNEL Y RAMPA .

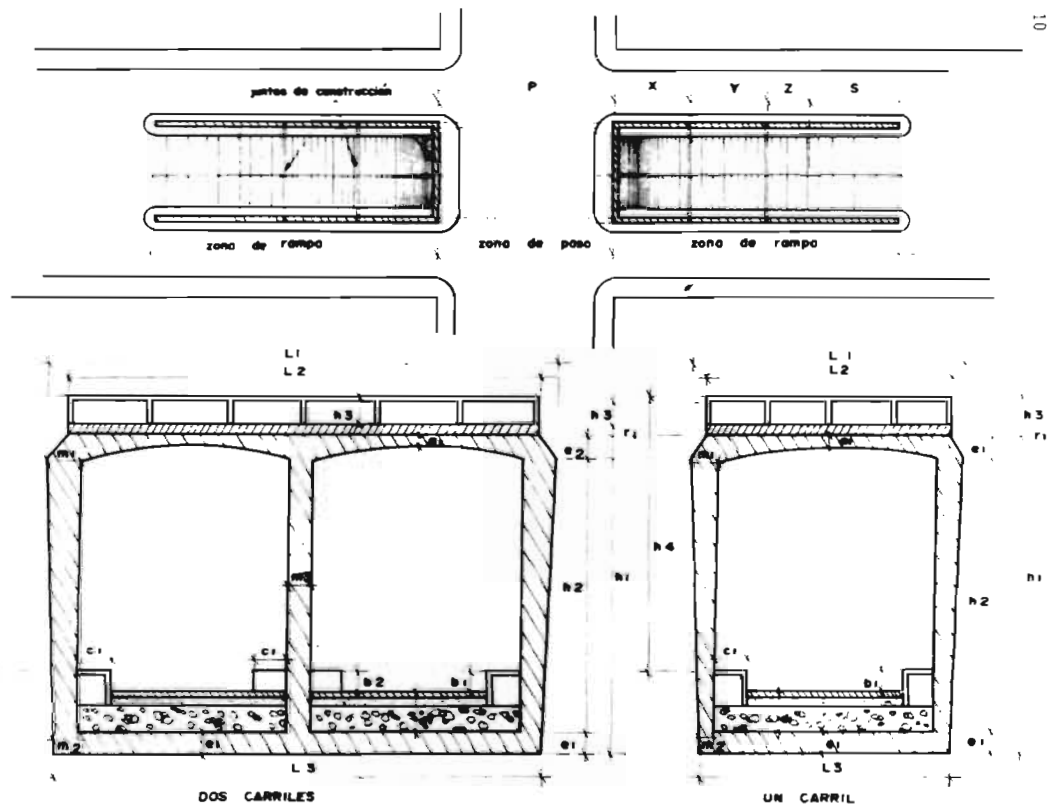


Figura 2. 3. 2 . SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PISOS A DESNIVEL.

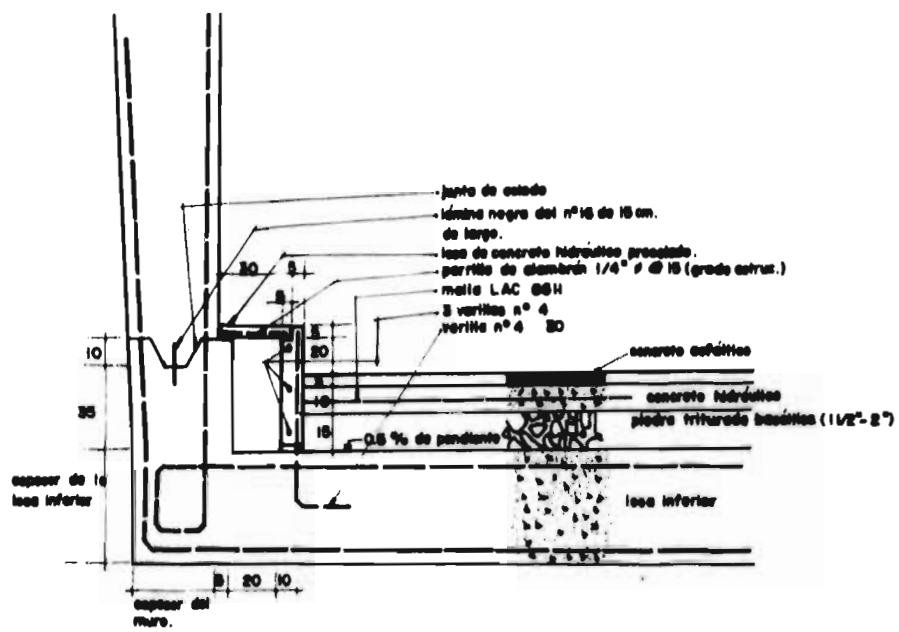


Figura 2. 3. 3. DETALLE DE DRENES EN PASOS A DEBIVEL .

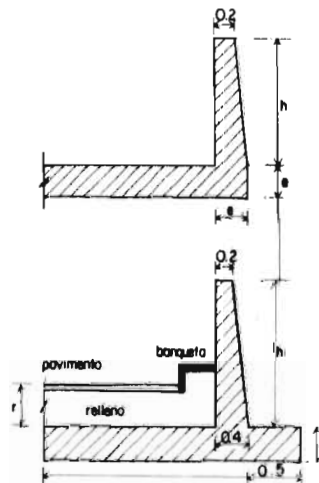
medio de una losa de piso de espesor variable, colada monolíticamente con los muros de retención, también de sección y altura variable. De aquí en adelante y hasta donde termina el paso, los muros de retención ya no están unidos a la losa sino están cimentados en zapatas corridas de dimensión variable; en esta zona no existe losa sino únicamente pavimento. En la unión del túnel con la rampa hay una junta constructiva, otra está localizada aproximadamente a 30 m., la siguiente a 65 m. y la última que es donde termina el dren, a 85 m. aproximadamente; todas están medidas a partir de la unión túnel - rampa. En la Tabla 2.3.1, se dan las características geométricas de los muros, losas y zapatas corridas de sección variable.

En la zona del túnel no existen juntas de construcción.

CON LOSA CORRIDA			
h	e		
m	m		
6.5-5.5	0.6		
5.5-4.5	0.55		
4.5-3.5	0.40		
3.5-2.5	0.30		
CON ZAPATAS CORRIDAS			
h	e	l	r
m	m	m	m
2.0	0.30	1.75	0.90
1.0	0.25	1.00	0.80

TABLA 2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS DE RETENCIÓN.

Las rampas tienen una pendiente de 6% en la mayor parte de su desarrollo (entre 60 y 70 m.). Desde la salida del cajón hasta una longitud de 25 m. aproximadamente, hay una curva de transición para unir la pendiente de 6% con la horizontal en el túnel. Entre 85 y 95 m., empieza otra curva de transición de longitud variable que une la pendiente de 6% con la horizontal de la calle. La zona total de rampas tiene un desarrollo --



por lado de 100 a 120 m. aproximadamente.

La división de carriles en esta zona es por medio de un murito de con
creto armado de sección 0.10 x 0.20 m. y 1.0 m. de altura.

3. TRABAJOS DE CAMPO Y REGOPILACION DE DATOS

3.1) Nivelación

Se nivelaron los pasos que se encuentran en San Antonio Abad y Calzada de Tlalpan, desde Fray Servando Teresa de Mier hasta Rfo de Churubusco.

La nivelación se hizo con un aparato Wild, N 2, con una aproximación de 10" y 2 mm. por km. nivelado. Para conocer su estado, se hicieron pequeñas nivelaciones siguiendo diferente trayecto, encontrándose éstas dentro de tolerancia. Además se eligieron dos puntos separados aproximadamente 100 m.; se colocó el aparato en medio y se obtuvo la cota de uno habiéndole dado una cota arbitraria al otro. Enseguida se colocó el aparato a 1 m. de distancia de uno de los puntos y se hizo la misma operación, habiéndose encontrado las cotas de los puntos iguales.

Para corroborar la nivelación, se hizo con doble altura de aparato. - La ventaja de este procedimiento es que se puede ir verificando paso a paso la nivelación.

Para nivelar los pasos a desnivel, se colocaba el aparato en el paso. Con la cota del punto de enlace o de liga de la nivelación anterior al paso, se obtenía la cota del siguiente punto de enlace localizado adelante del paso. Una vez verificada la cota de este punto por medio de la doble nivelación, se estableaban todos los puntos de interés en el paso; - en el Anexo III, se muestran estos puntos. Cabe hacer notar que siempre que se nivelaron las guarniciones de banquetas o los parapetos del paso, - se hizo en la parte superior e inferior de éstos.

El registro de esta doble nivelación se muestra en el anexo III.

Para referir las cotas de esta nivelación al nivel del mar, se partió del banco de nivel No. 43-A, de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal. Se localiza sobre la placa de la - S.R.H., en el macizo de roca al S.W. del Monumento a los Niños Héroe, en el Bosque de Chapultepec. Este banco así como el de Atzacualco, se consideran fijos.

Se supuso este banco como muy confiable ya que tanto la cota obtenida por Obras Hidráulicas como la de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México son muy parecidas.

Dependencia	Banco No.	Cota m.s.n.m.	Año
D.G.O.H.	43 - A	2248.949	1973
CHCVM	D.1 - 360	2248.961	1968

Con anterioridad se había referido la nivelación por ausencia de los bancos arriba citados, a uno que por las nivelaciones en los últimos años también se puede suponer fijo. El banco es el No. 98 de la Dirección General de Obras Hidráulicas, que está localizado en la esquina de la Lumbre-ra No. 16, del Interceptor del Poniente (casi esquina de las calles Los - Echave y Leonardo de Vinci; en Mixcoac).

Los registros del banco son los siguientes:

Fecha	Cota m.s.n.m.
Octubre 1964	2273.844
Diciembre 1968	2273.847
Junio 1971	2273.847

Las dos nivelaciones se confirmaron en el banco de partida establecido frente al IMAN en Calzada de Tlalpan y Rfo Churubusco. Las diferentes cotas referidas a los distintos bancos son las siguientes:

B-IMAN (Nivelación corrida desde Mixcoac)	= 2240.087
B-IMAN (Nivelación corrida desde Chapultepec)	= 2239.889

La diferencia entre ellas es de 0.198 m. (19.8 cm.). Ya que el banco en Chapultepec oficialmente se supone fijo, la nivelación se consideró referida a éste.

3.2) Medición de la Geometría de los pasos

Para cerciorarse de que las medidas que vienen consignadas en los planos estructurales y topográficos son correctas, se midieron en el campo - los pasos a desnivel. Los resultados vienen consignados en el Anexo I y - se refieren a la Fig. 2.3.2.

3.3) Obtención de planos estructurales y topográficos

Para poder hacer el análisis de los pasos a desnivel, se necesitaba - conocer la geometría de éstos, así como los pesos de las diferentes es-- estructuras, profundidad de excavación y cotas de proyecto referidas al nivel del mar. Todo esto fue posible gracias a que la Oficina de Proyectos y Construcción de Estructuras y Viaductos del Departamento del Distrito - Federal proporcionó los planos estructurales y topográficos respectivos - (Véase Anexo I).

3.4) Estudios de Mecánica de Suelos

Debido a que en la anterior dependencia gubernamental no fue posible obtener los estudios de mecánica de suelos, se pensó en la conveniencia - de obtener estos datos por medio de estudios hechos en sitios cercanos -- por diferentes compañías.

Las compañías que los proporcionaron fueron SOLUM, S.A. y GHI, S.C.

También se recurrió a los sondeos consignados en la V Reunión Nacio-- nal de Mecánica de Suelos, en el área del Distrito Federal.

Se puede decir que la información obtenida se reduce a sondeos en los cuales aparece la estratigrafía, profundidad, contenido de agua, peso volumétrico, límites de consistencia y posición del nivel freático.

Debido a que el análisis de estos pasos a desnivel requiere además de

18

La información arriba citada, de índices de compresibilidad, relación de vacíos inicial y coeficientes de consolidación, se pensó en obtener estos parámetros de una forma estadística, aprovechando que las propiedades en las arcillas del Valle de México (para una determinada zona; del lago en este caso) no varían apreciablemente. En el punto que sigue se verá con detalle esta obtención.

4. DETERMINACION ESTADISTICA DE LOS PARAMETROS DEL SUELO

4.1) Indices de Compresibilidad

Para poder trazar las curvas de compresibilidad es necesario conocer los índices de compresibilidad en la rama de recompresión - descarga y en la rama virgen.

Para esto se analizaron cerca de cien curvas de compresibilidad, obtenidas en estudios hechos en la zona del lago, en la cual se encuentran estos pasos. Se eligieron aquellas donde estaban bien definidas estas ramas y se procedió a obtener los diferentes valores en función del contenido de agua natural; Figs. 12.2.1 y 12.3.1. Una vez hecho esto se graficaron los pares de valores; contenido de agua - índice de compresibilidad.

Para obtener un valor medio se determinó la línea de regresión, la cual se muestra en las mismas figuras (véase anexo II).

4.2) Relación de Vacfos Inicial

Este parámetro también se obtuvo de un análisis estadístico, en función del contenido de agua natural. En este caso, dado que la variación de la relación de vacfos con respecto al contenido de agua es muy pequeña, bastó analizar cuarenta pares de valores ($e - w$) de estudios en la misma zona del lago.

Para obtener un valor medio, se graficaron estos pares de valores y se obtuvo la línea de regresión, Fig. 12.1.1 (véase Anexo II).

Los valores así determinados, se compararon con los que vienen consignados en la referencia 1, Fig. X-3 (grupo 2, zona del lago) y son prácti-

camente los mismos. El grupo 2 corresponde a zonas donde las construcciones son ligeras y las pérdidas de presión por bombeo en los acuíferos del subsuelo son importantes debidas al bombeo. El caso en estudio se considera representativo de este grupo.

4.3) Coeficiente de Consolidación (C_v)

Para determinar los tiempos de consolidación de los diferentes estratos es necesario conocer el coeficiente de consolidación. Ya que éste no se pudo obtener por medio de los estudios de mecánica de suelos en los sitios de interés, se optó por obtenerlo de un estudio estadístico hecho en las arcillas del Valle de México; Referencia 1, Fig. X - 20. En ella vienen consignados los valores medios de este parámetro en función del contenido natural de agua; vienen por zonas grupos y formaciones.

5. HIPOTESIS Y SU JUSTIFICACION

5.1) La distribución y magnitud de los abatimientos piezométricos con respecto a la profundidad permanecen constantes

Para poder elegir una ley de distribución y magnitud de abatimientos piezométricos con la profundidad, se estudiaron los Boletines de Mecánica de Suelos que edita la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.), referencia de 2 a 8. En ellos vienen los registros de los abatimientos -- piezométricos a diferentes profundidades en las diferentes estaciones piezométricas localizadas en el Valle de México, así como planos con curvas de igual pérdida de carga, tanto a-33 m. como a-50 m.

En el tramo en estudio, existen únicamente dos estaciones de las cuales sólo una tiene mediciones completas. Es la Pc-188, la cual está ubicada en el jardín Vista Alegre, muy cerca del cruce de Viaducto y Tlalpan. Los registros en ésta se remontan hasta 1952. La última medición se efectuó en 1973; Fig. 5.1.1. La otra estación está ubicada en Rfo Churubusco y Tlalpan; es la Pc-303. Aun cuando la instalación se hizo en Julio de -- 1954, las mediciones se hicieron a partir de 1963; Fig. 5.1.2.

En vista de la escasez de estaciones en el tramo en estudio, se analizaron las más cercanas, las cuales fluctúan entre 1.5 y 2 km. de distancia.

Estación	Localización
Pc - 66	1 1/2 km. al Oriente de Tlalpan y Municipio Libre (Unidad Modelo).

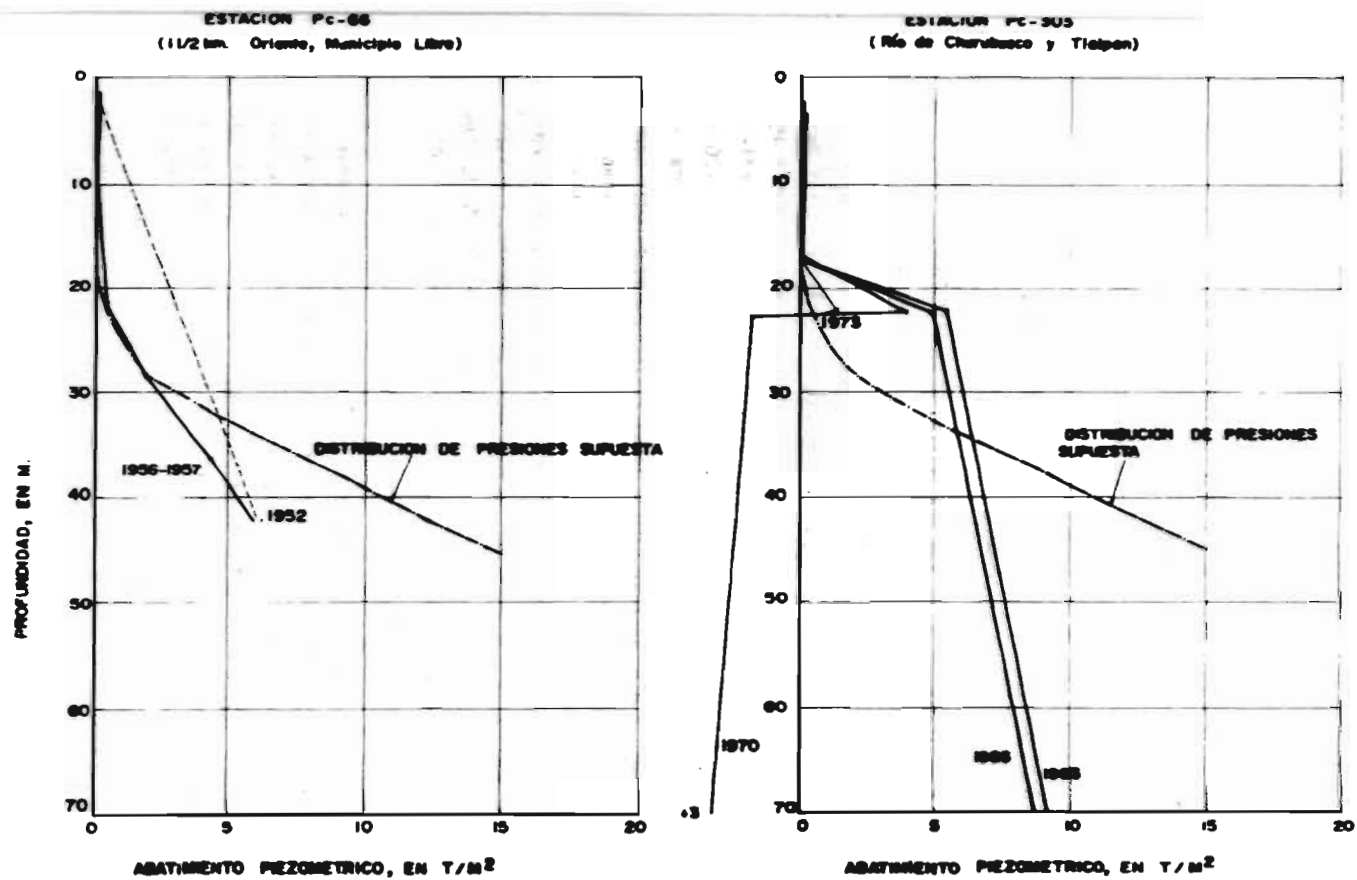


Figura 5.1.2. REGISTRO DE LAS ESTACIONES PIEZOMETRICAS Pc-66 Y Pc-303

Pc - 197	2 km. al Poniente de Tlalpan y Morelos (Matfas Romero y División del Norte)
Pc - 218	1/2 km. al Oriente de Palacio - Nacional.
Pc - 247 - 1	1/2 km. al Oriente de Palacio - Nacional.
Pc - 501 - 1	1 3/4 km. al Oriente de Tlalpan y Correspondencia (Calzada de - la Viga).

En las Fig. 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3, se muestran las gráficas de las mediciones hechas en el transcurso del tiempo en estas estaciones. De la anterior información se puede decir que hay una tendencia a que las pérdidas de presión se empiecen a manifestar entre las elevaciones -15 y -20 m. También se consultaron los planos con curvas de igual pérdida de carga -- con cuyos datos se hizo la tabla 5.1.1. De esta tabla se puede decir que las pérdidas de presión a -50 m. de profundidad de 1959 a 1966, varían entre 17 y 20 T/m^2 del Viaducto hacia Fray Servando y alrededor de 15 T/m^2 del Viaducto hacia Rfo de Churubusco. De 1967 a 1969 las pérdidas se redujeron notablemente en todo el tramo, hasta llegar aproximadamente a 3 T/m^2 . De 1970 a 1974 hay una recuperación en la pérdida de carga; de Rfo de Churubusco a N. H. de Chapultepec las mediciones son en promedio de 9 T/m^2 y de 5 T/m^2 de este paso a Fray Servando.

Para ampliar la información, respecto a la pérdida máxima a emplear, se hizo la tabla 5.1.2. En ella se muestran las diferentes velocidades de hundimiento en el tramo en estudio; esta información se obtuvo de los Boletines de la C.A.V.M. Analizando la tabla se puede decir que si bien hay diferencias considerables de velocidad de asentamiento entre el primero y segundo periodo, son pequeños entre éste y los siguientes. Se puede suponer entonces que aun cuando hubo variación de pérdidas de presión en el lapso considerado (entre 1959 y 1975) de acuerdo con los asentamientos ob

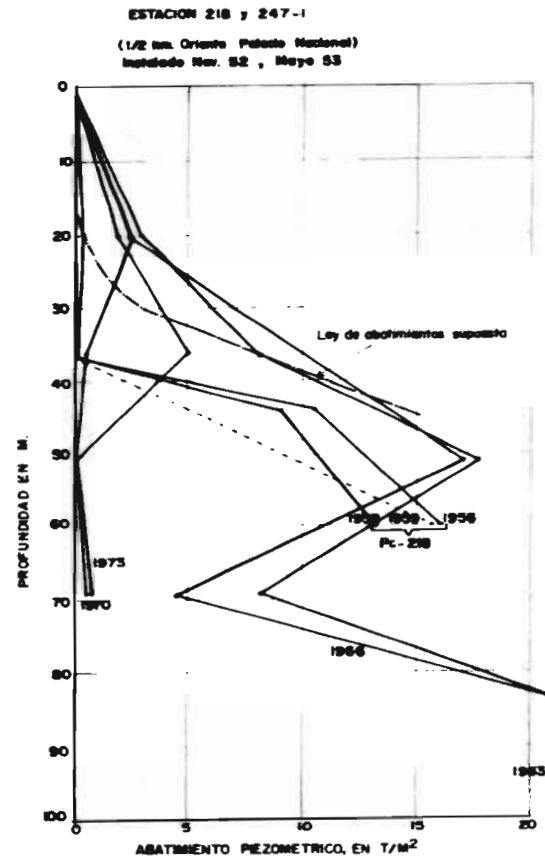
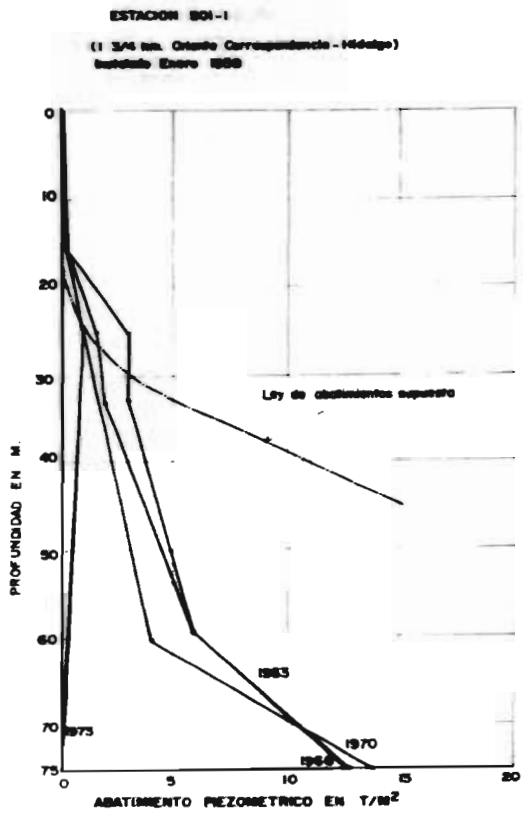


Fig. 5 I. 3. REGISTRO DE ESTACIONES PIEZOMETRICAS Pc-501-1, Pc-218 y Pc-247-1

PASO A DESNIVEL	PROFUN- DIDAD M.	PERDIDAS DE CARGA POR ABATIMIENTO T/M ² .																	
		T I E M P O (AÑOS)																	
		1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
R. CHURUBUSCO	33	10			10	10	8		10	8	5	13	-	-	-	9	-	-	1.5
	50	11			10	10	10		10	10	12	12	0	0	0	7	10	10	12
POPOCATEPETL	33	10		9	10	8		10	8	7	12	-	-	-	8	-	-	1	
	50	<u>12</u>		<u>12</u>	<u>11</u>	<u>11</u>		<u>13</u>	<u>15</u>	<u>11</u>	<u>13</u>	<u>1</u>	0	2	<u>7</u>	<u>9</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	
MORELOS	33	10		8	10	9		10	9	7	12	-	-	-	7	-	-	1	
	50	<u>13</u>		<u>13</u>	<u>13</u>	<u>12</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>11</u>	<u>13</u>	<u>2</u>	2	4	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>10</u>	
1º DE MAYO	33	10		7	10	10		10	10	7	10	-	-	-	6	-	-	2	
	50	<u>14</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>14</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	<u>3</u>	3	5	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	
N.H. DE CHAPULT.	33	10		7	10	9		10	8	7	10	-	-	-	6	-	-	5	
	50	15		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>14</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>11</u>	<u>14</u>	<u>3</u>	10	4	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>6</u>	<u>9</u>	
CORRESPONDENCIA	33	7		6	10	7		10	8	7	10	-	-	-	6	-	-	5	
	50	<u>16</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>15</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>13</u>	<u>15</u>	<u>3</u>	10	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>8</u>	
XOLA	33	5		5	8	6		7	7	7	10	-	-	-	5	-	-	5	
	50	<u>17</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>17</u>		<u>15</u>	<u>15</u>	<u>14</u>	<u>18</u>	<u>3</u>	5	3.5	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	
VIADUCTO	33	3.5		5	6	5		5	7	5	10	-	-	-	5	-	-	5	
	50	17.5		18	17	18		15	17	15	20	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3.5</u>	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>6</u>	
CHAVACANO	33	4		5	6	5		5	6	4	7	-	-	-	5	-	-	5	
	50	<u>17.5</u>		18	<u>17</u>	<u>18</u>		<u>16</u>	<u>17</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	
J. T. CUELLAR	33	4		5	6	5		5	5	4	5	-	-	-	5	-	-	3	
	50	<u>17</u>		18	<u>17</u>	<u>18</u>		<u>16</u>	<u>17</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	
L. BOTURINI	33	5		5	5	4		4	4	4	4	-	-	-	4	-	-	3	
	50	<u>17</u>		18	<u>18</u>	<u>18</u>		<u>17</u>	<u>18</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	
CHIMALPOPOCA	33	6		5	5	4		4	3	3	3	-	-	-	4	-	-	2	
	50	<u>16.5</u>		18	<u>18</u>	<u>18</u>		<u>18</u>	<u>18</u>	<u>17</u>	<u>20</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	
FRAY SERVANDO	33	6.5		5	5	4		4	3	3	3	-	-	-	3	-	-	2	
	50	16.5		18	18	18		18	18	17	20	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	

Observación: Las cantidades que están subrayadas se obtuvieron por interpolación.

TABLA 5.1.1 PERDIDAS DE CARGA POR ABATIMIENTO EN LOS PASOS A DESNIVEL A - 33 y - 50 M. DE PROFUNDIDAD.

VELOCIDAD DE HUNDIMIENTO (cm./año)					
PASO A DESNIVEL	PERIODO				
	Junio 59 - Junio 63	Junio 63 - Junio 66	Junio 66 - Marzo 70	Marzo 70 - Agosto 73	Agosto 73 - Mayo 75
					(1)
RIO CHURUBUSCO	0.0	6.67	10.67	2.92	2.92
POPOCATEPETL - IXTAPALAPA	2.5	5.67	12.80	4.39	4.39
NATIVITAS - AV. NUEVE - MORELOS	5.75	12.33	7.73	4.68	4.68
1º MAYO - RAMOS MILLAN	5.75	9.67	10.40	5.56	5.56
NIÑOS HEROES DE CH. - SUR 124	8.77	8.00	11.67	5.85	5.85
CORRESPONDENCIA - SANTIAGO	8.77	8.00	11.67	7.31	7.31
XOLA - NAPOLEON	8.77	8.00	11.67	6.25	6.25
VIADUCTO MIGUEL ALEMAN	11.25	6.67	7.73	7.60	7.60
J. P. CONTRERAS - CHAVACANO	12.50	6.67	6.67	7.31	7.31
J. T. CUELLAR - AV. DEL TALLER	16.25	7.50	6.67	7.31	7.31
LORENZO BOTURINI	22.50	6.67	5.33	7.31	7.31
CHIMALPOPOCA	19.25	7.67	4.53	6.73	6.73
FRAY SERVANDO TERESA DE MIER	18.25	7.33	4.80	6.43	6.43
PERIODO EN AÑOS	4.00	3.00	3.75	3.42	1.75

(1) Valores Supuestos.

TABLA 5.1.2 VELOCIDADES DE HUNDIMIENTO EN LOS PASOS A DESNIVEL.

servados en la superficie, no fue muy grande. Un hecho que si bien no puede generalizarse sí puede ser significativo, es que en la referencia 9, - se habla de que los registros en una estación piezométrica en la Alameda Central, muestran que desde 1957 a 1970 los niveles piezométricos del agua han permanecido sin cambio.

Para poder definir con mejores bases tanto la profundidad a la cual se empieza a manifestar la pérdida de presión, como la forma de la distribución, se estudiaron varias distribuciones piezométricas obtenidas en diferentes estaciones. Se observó en una buena parte de ellas que efectivamente las pérdidas se empiezan a manifestar entre -15 y -20 m. Se eligieron para presentarlas aquí la Pc - 215, Pc - 74 y Pc - 235, ubicados en la plaza de la Ciudadela, en la Tenencia United (como a 1 km. al NE de Palacio Nacional) y en el jardín San Fernando respectivamente. Se eligieron éstas por considerar que la curva de pérdida de presión es bastante uniforme hasta la profundidad que nos interesa (45 m. aproximadamente) y por tener una pérdida máxima que está dentro del rango que nos interesa (15 - 20 T/m²). Además dos de ellas están en terrenos donde no hay carga superficial debido a edificaciones. Estas gráficas se muestran en las Figs. -- 5.1.4 y 5.1.5.

Tomando como base toda la información que precede, se procedió a elegir la ley de variación de pérdida de carga con respecto a la profundidad. En vista de que considerar variable en el tiempo los abatimientos piezométricos complicaría enormemente el problema y de que no hay suficiente información confiable para establecer su ley de variación con el tiempo, dichos abatimientos piezométricos se supusieron variables sólo con la profundidad.

Se supuso una ley que fuera representativa de las condiciones piezométricas que han prevalecido desde la construcción de los pasos hasta la fecha del estudio. Para ello se eligió una pérdida máxima de presión en los estratos profundos de 15 T/m². Esto se hizo tomando como base las pérdidas que se reportan a -50 m. de profundidad en la tabla 5.1.1., en el tramo comprendido entre Xola y Fray Servando, entre los años de 1956 y 1966. Se supuso asimismo, que la profundidad donde se inicia el abatimiento es-

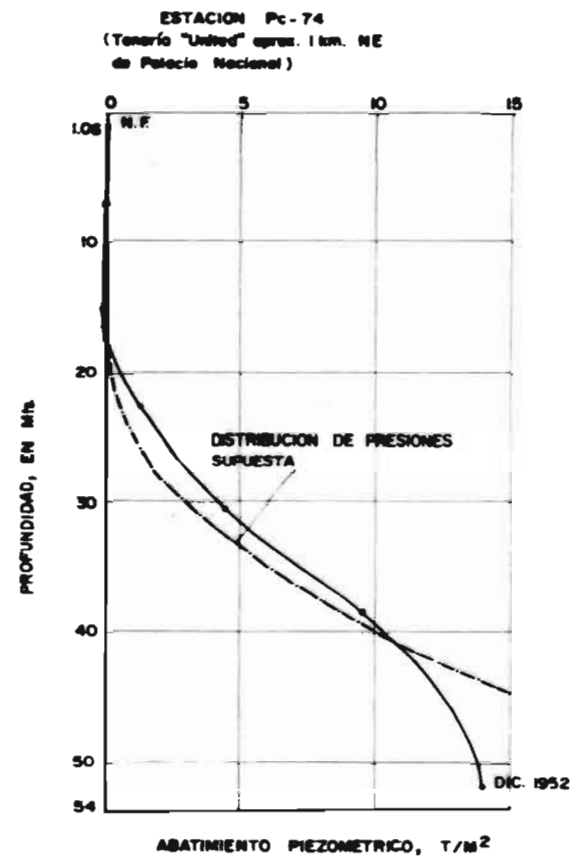
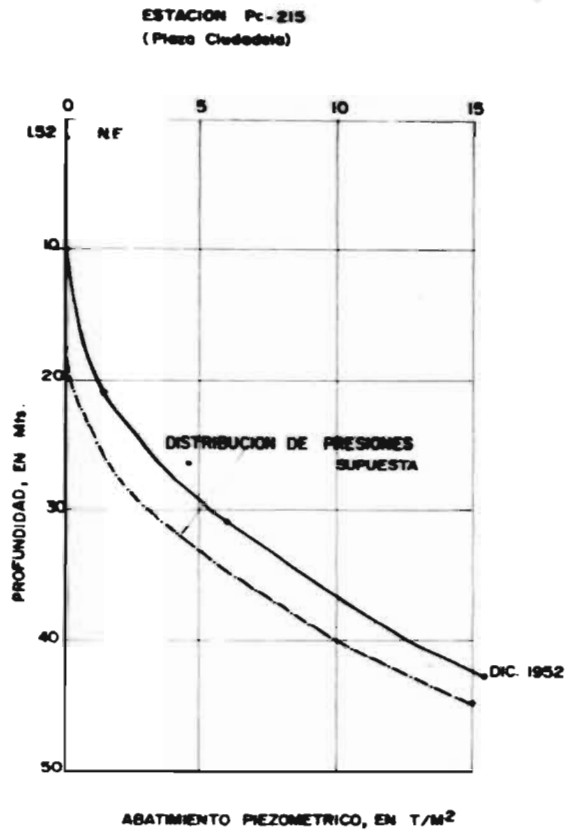


Figura 5.1.4. REGISTRO DE LAS ESTACIONES PIEZOMETRICOS Pc-215 Y Pc-74

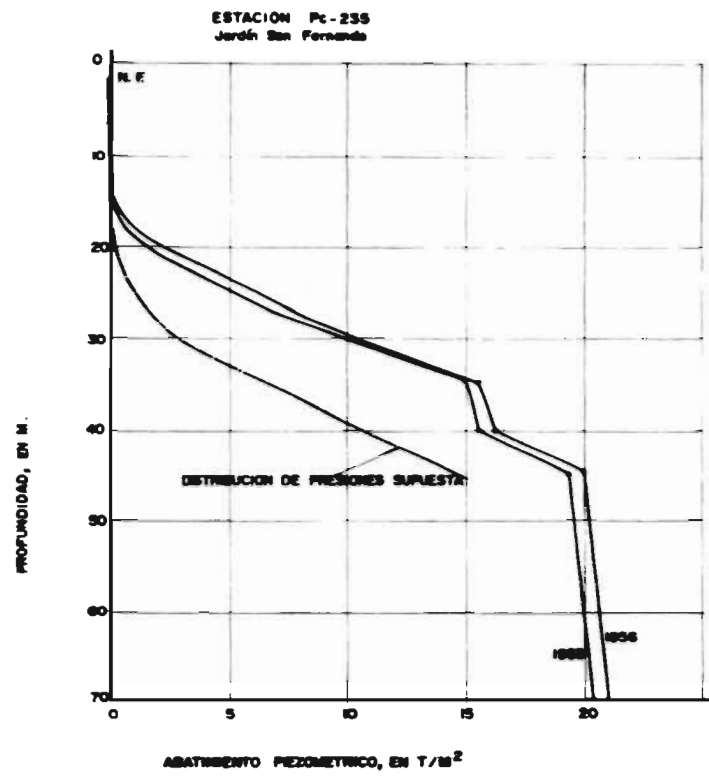


Fig. 5.1.5. REGISTRO DE LA ESTACION PIEZOMETRICA Pc-235

tá comprendida entre -15 y -20 m. de profundidad.

Esta ley se traza de la siguiente forma: donde termina la segunda formación arcillosa (aproximadamente a - 45 m.) la intensidad del abatimiento se supone de 15 t/m^2 . A una profundidad comprendida entre -15 y -20 m. el abatimiento vale cero (se confunde la pendiente de la curva con la hidrostática), véase Fig. 5.1.6.; basta entonces unir estos dos puntos me--

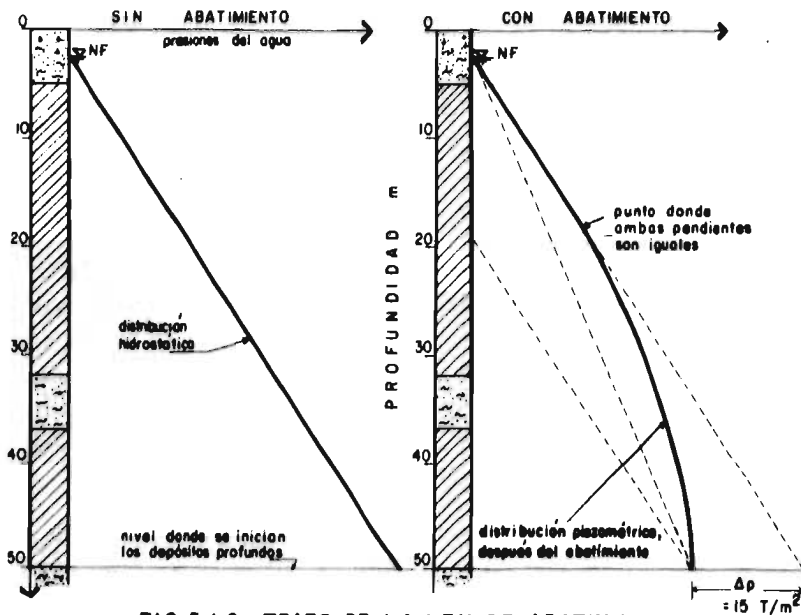


FIG. 5.1.6 TRAZO DE LA LEY DE ABATIMIENTO

dante una curva. Esta curva no puede trazarse arbitrariamente ya que --- existe la condición de que para la profundidad en que la pérdida de carga es cero, la pendiente se confunde con la hidrostática.

Esta distribución se muestra en todas las figuras donde vienen los -- registros de las estaciones piezométricas. Comparando esta ley con las ob tenidas en la realidad (Figs. 5.1.1 a 5.1.5), se puede decir que si bien

hay discrepancia en algunas, es muy parecida en otras. Considerando lo limitado de la información se supondrá esta ley como válida.

5.2) Suelo normalmente consolidado

En este inciso se tratará de determinar las condiciones piezométricas prevalecientes en los pasos a desnivel, anteriores a su construcción, para así poder conocer si se trataba de un suelo preconsolidado o no.

Como se mencionó en el inciso anterior, la información piezométrica - en el tramo en estudio es muy escasa. Además en los Boletines de la C.A.V.M., no viene la información de hundimiento regional antes de la construcción.

La información más confiable que sin embargo, no podemos generalizar, puede obtenerse de la estación piezométrica Pc - 188, cerca del cruce de Viaducto y Tlalpan; Fig. 5.1.1.

En esta figura podemos observar que desde su instalación (1952) hasta la fecha de la construcción de los pasos, (1959) la pérdida de presión a - 60 m. de profundidad varió de 18 a 20 T/m^2 aproximadamente. También se consigna que desde la superficie hasta 30 m. de profundidad, el abatimiento piezométrico no se manifestó (a partir de esta fecha se manifiesta --- arriba de - 30 m., pero no queda definido).

En el Boletín No. 2, vienen reportadas las curvas de igual elevación del nivel freático, así como las curvas de igual elevación del nivel piezométrico a - 33 y - 50 m. de profundidad.

De la diferencia entre éstas se obtuvo la pérdida de presión hidrostática en Junio de 1956 (es la más antigua reportada).

En la siguiente tabla se muestran los resultados.

Profundidad	Churubusco	N. H. de Cha pultepec	Viaducto	Fray Servando
m	Pérdida de presión hidrostática en T/m^2 .			
- 33	10	10	3.5	6.5
- 50	11	15	17.5	16.5

De lo hasta aquí expuesto, sabemos que si existía bombeo en la zona anterior a la construcción y que es muy probable que el efecto del abatimiento no se hubiera manifestado en la primera formación arcillosa, por lo tanto considerándola como normalmente consolidada.

Ahora, respecto a la segunda formación arcillosa, se puede decir que estaba sujeta a un determinado abatimiento que parece ser pequeño.

En vista de la pobre información de que se dispone, se recurrirá a -- ver que fue lo que ocurrió en la zona céntrica de la ciudad en las mismas fechas y obtener conclusiones aunque sea de una forma cualitativa.

Para ello se recurrió a las estaciones piezométricas Pc - 235 y 252; referencia 1. Los resultados se muestran a continuación.

Estación	Ubicación	Profundidad	Abatimiento Piezométrico en Junio de 1956
		m	T/m^2 .
Pc - 235	Jardín Sn. Fernando	34.3 44.6	19 24
Pc - 252	Alameda Central	35.4 59.0	20 22.5

Comparando estas pérdidas con las habidas en el tramo en estudio para la misma fecha, se concluye que a la profundidad de - 33 m., la pérdida de presión en la zona de estudio era aproximadamente el 35%, (6.5/19) y de 70% (16/23) a una profundidad de - 50 m.

La segunda formación arcillosa se encuentra aproximadamente entre las elevaciones - 37 y - 42 m.

Por otro lado, analizando la Fig. 12.V.3 (pág. 270) de la referencia 9, se obtuvieron los siguientes resultados en bancos localizados en la Alameda Central, a diferentes profundidades.

P e r f o d o	ASENTAMIENTO EN CM.			
	1a. Formación arcillosa	2a. Formación arcillosa	Total	Contribución, 2a. Formación arcillosa
	cm.	cm.	cm.	%
Jun. 49 - Dic. 52	50	55	105	52
Dic. 52 - Dic. 56	46	24	70	34
Dic. 56 - Dic. 59	29	10	39	26
Dic. 59 - Dic. 62	14	5	19	26
Dic. 62 - Ene. 70	38.5	4.5	43	10

Tabla 5.2.1 Contribución en el hundimiento regional de la 1a. y 2a. - formación arcillosa.

Del análisis de esta tabla se concluye que para Junio de 1962 la segunda formación arcillosa había alcanzado un grado de consolidación cercano al máximo, para la presión media en el lapso de Junio 1949 a Diciembre de 1962.

Se estima como el inicio del bombeo intenso en la parte céntrica de la Ciudad de México, el año de 1949 ya que en éste se observaron los mayores hundimientos; 35 cm./año en la Alameda Central. Además las observacio

nes piezométricas muestran que de Junio de 1949 a Noviembre de 1950, se tuvo una caída de presión promedio de 1.9 m./año, a las profundidades de - 34 y - 49 m. (misma referencia 9).

De la anterior información se puede concluir que en la zona donde están los pasos la 2a. formación arcillosa, alcanzará el 100% de consolidación, un tiempo después de 1962.

De hecho, esta formación había tenido una cierta carga de preconsolidación antes de la construcción, sin embargo, se supone por lo arriba expuesto que fue pequeña, comparada con la que se fijó en este análisis. -- (15 T/m² en el límite inferior de la segunda formación arcillosa).

Por lo tanto, se estima que se comete un error tolerable si se supone normalmente consolidado como fue la hipótesis de partida.

5.3) Posición del nivel freático constante con respecto al tiempo

Para determinar la variación del nivel freático con el tiempo, se consultaron las curvas de igual evolución de este nivel en los diferentes Boletines de la C.A.V.M. El registro se obtuvo desde 1956. En la Tabla ---- 5.3.1., se muestran los resultados.

Es notorio que a pesar de que el nivel en 1956 es aproximadamente el mismo que en 1970 (en este lapso se registraron aumentos y disminuciones), de este año a 1974 se registra un aumento de aproximadamente 0.5 m. Analizando de una forma más particular estas variaciones, veamos los registros de la estación piezométrica Pr. - 188, que se encuentra cerca del cruce de Tlalpan y Viaducto.

Año	1952	1956	1959	1963	1966	1970	1973
Profundidad NF (m)	2.8	2.5	2.5	3.3	3.0	2.7	2.5

La otra estación que se localiza en el tramo en estudio, la Pc - 303 - (en R. de Churubusco y Tlalpan) no reporta profundidad del nivel piezométrico cuando se instaló en 1954. El registro es el siguiente:

PASO A DESNIVEL	EVOLUCION DEL NIVEL FREATICO, EN M.																		
	T I E M P O (AÑOS)																		
	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
R. CHURUBUSCO	k	k	-	k	k	k	-	+0.5	k	k	-0.5	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
POPOCATEPETL	k	k	-	k	k	k	-	+0.5	k	k	-0.5	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
MORELOS	k	k	-	k	k	k	-	+0.5	k	k	-0.5	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
1º DE MAYO	k	k	-	k	k	k	-	+0.5-0.15	k			k	k	k	k	-	-	-	+0.5
N. H. DE CHAPULTEPEC	k	k	-	k	k	k	k	-0.15	k	+0.5	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
CORRESPONDENCIA	k	k	-	k	k	k	k	-0.15	k	+0.1	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
XOLA	k	k	-	k	k	k	k	-0.15	k	+0.15	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
VIADUCTO	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
CHAVACANO	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
J. T. CUELLAR	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
L. BOTURINI	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
CHIMALPOPOCA	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5
FRAY SERVANDO	k	k	-	k	k	k	k	k	k	+0.25	k	k	k	k	k	-	-	-	+0.5

k = Se mantuvo constante.

TABLA 5.3.1. EVOLUCION DEL NIVEL FREATICO CON RESPECTO AL TIEMPO.

Año	1959	1963	1966	1970	1973
Profundidad NF (m.)	3.0	3.0	3.5	3.0	2.0

De lo arriba expuesto, se confirma que aun cuando el nivel freático - experimentó variaciones desde la construcción de los pasos hasta 1970, éste se puede considerar constante pues los aumentos fueron prácticamente - iguales a las disminuciones. De 1970 a 1974 se observó una recuperación - que en promedio podría estimarse en 0.5 m.

De haber considerado la recuperación del nivel freático en función -- del tiempo en el problema, éste habría resultado muy complejo.

Se supone que el hecho de haber permanecido el nivel freático constante en aproximadamente dos terceras partes del lapso de estudio y de que, en el último tercio se haya recuperado en promedio 0.5 m., hace que no se introduzca un error considerable si se acepta la hipótesis de que se mantuvo constante todo el tiempo.

5.4) Las expansiones se llevan a cabo con mayor rapidez que las consolidaciones

Es un hecho bien conocido que cuando se efectúan las pruebas de consolidación, el tiempo para que cese el movimiento vertical cuando se aplica un incremento de carga, es bastante mayor que el que se requiere cuando - se aplican los decrementos. En la práctica ha dado muy buen resultado --- asignar a los incrementos 24 hrs. y a los decrementos 4 hrs.; Referencia 10.

Por medio de observaciones en la evolución con respecto al tiempo en los asentamientos y expansiones en dos casos reales, se tratará de justificar esta hipótesis.

En la Referencia 1, en el capítulo de cimentaciones de losa, se menciona el caso del Palacio de Bellas Artes el cual trasmite al terreno una presión en exceso de 7.35 T/m^2 . En la misma referencia se menciona que se hizo el análisis de asentamientos y se encontró que el máximo sería del -

orden de 237 cms. Después de 45 años de haber sido construido, se reportan asentamientos del orden del máximo obtenido y con una clara tendencia a estabilizarse.

En ese mismo capítulo (pág. 284), se menciona el caso de una estructura con una sobrecompensación de 0.58 T/m^2 ; se trata de un edificio de 10 pisos y planta rectangular de $23 \times 30 \text{ m.}$; la profundidad de desplante (6.5 m.) quedó condicionada por la existencia de un estacionamiento para coches. En la Fig. XVI-II, se grafican los movimientos verticales que ha sufrido la estructura, desde que se terminó de colar la cimentación. En el primer año de observación el edificio tendió a hundirse un promedio de 2 cm. Durante los tres siguientes años tendió a levantarse. Durante el quinto año parece permanecer estacionario el proceso de expansión. La expansión promedio máxima reportada es de 9 cm.

5.5) El contenido natural de agua en la segunda formación arcillosa se supuso de 200%

En los sondeos está definida la profundidad de la primera capa dura; sin embargo, no en todos se define la profundidad de la segunda formación arcillosa.

En los estudios de mecánica de suelos donde no venía definida la profundidad de la 2a. formación arcillosa y por lo tanto el contenido natural de agua, éste se supuso de 200%. Esto se hizo considerando la Fig. X-I, de la Referencia 1. Para la formación arcillosa inferior, zona del lago, grupo 2, que es el que se aplica a nuestro caso (ver inciso 4.2), se observa que el valor entre 200 y 225% es el que se repite con mayor frecuencia. La única limitación es que la mayor parte de los estudios para la elaboración de esta referencia se efectuaron entre 1945 y 1955, y los pasos se construyeron en 1959.

Por otra parte se analizaron cerca de 25 sondeos efectuados en 1975 en una zona perteneciente a la del lago, con construcciones ligeras y sujeta a importantes pérdidas de carga en los depósitos profundos. En ellos el contenido de agua en la 2a. formación arcillosa fluctúa entre 150 y --

190%, siendo el promedio de 180%. Estos resultados, están acordes con la realidad, pues a medida que el tiempo pasa, el efecto del bombeo va consolidando la segunda formación arcillosa, decreciendo ésta en contenido natural de agua. Tomando en consideración todo lo que precede, se estima -- que si bien el suponer un contenido natural de agua para la 2a. formación arcillosa de 200% no es exacto, tampoco es una fuente de error considerable. Suponiendo el límite superior ($w = 225\%$), el grado de consolidación del conjunto la. más 2a. formación arcillosa se modifica en - 5%.

Para determinar el espesor de la segunda formación arcillosa en los casos en que no se pudo definir por medio de los sondeos, se recurrió a las curvas de igual profundidad de los depósitos profundos que vienen consignadas en la Referencia 11. Así, conociendo por medio de los sondeos la profundidad del límite superior de la 2a. formación y por las curvas el límite inferior, se obtuvo el espesor de ésta.

5.6) La velocidad de asentamiento para el período Agosto 1973 - Mayo 1975, igual a la del precedente Marzo 1970 - Agosto 1973

Esta hipótesis se hizo debido a que el último Boletín de Mecánica de Suelos que edita la C.A.V.M., abarca hasta Agosto de 1973.

En la Tabla 5.1.1, se observa una reducción notable en la pérdida de presión por bombeo a partir de 1967; sin embargo, las velocidades de hundimiento tienen un comportamiento extraño; ver Tabla 5.1.2. Mientras de Xola hacia R. de Churubusco disminuyen, hacia Fray Servando aumentan; en vista de esto, no se puede definir aunque sea tentativamente una ley de asentamientos.

Se supone que de Agosto de 1973 a Mayo de 1975 la velocidad de hundimiento debe disminuir un poco, sin embargo, aceptando que se puede cometer un error, se eligió la misma que la del período precedente; Marzo 1970 - Agosto 1973. Se supone que este error debe ser pequeño dado que el período considerado también lo es (1.75 años).

6. EXPANSIONES - ASENTAMIENTOS

6.1) Cargas

Como se vio en el inciso 2.3, los pasos están estructurados mediante un cajón en la zona del túnel y cambiando la geometría de la losa de piso y muros de retención en la zona de rampas. La zona del túnel por ser de sección constante se supuso como una sola área de carga. En la zona de rampas se aprovecharon los cambios de sección para definir estas áreas, (véase Fig. 11.A.1.1; Anexo I).

De acuerdo a la geometría de proyecto y corroboradas con las mediciones que se hicieron en el campo, se cubicaron estas secciones con el respectivo peso volumétrico, obteniéndose las cargas y las presiones correspondientes. Se consideró también el peso de la vía, balasto etc.

6.2 Descargas

Tomando en cuenta las divisiones que se hicieron en el inciso anterior, se obtuvo la profundidad media de excavación en cada zona, considerando el nivel del terreno que se detalla en los planos topográficos. Con esta profundidad y con los diferentes pesos volumétricos, se encontró el peso del material excavado y por lo tanto la presión de descarga .

6.3 Descarga neta

Para encontrar ésta, bastó sustraer de la presión de excavación la presión ejercida por la estructura según las diferentes áreas elegidas; todo esto se hizo trabajando con esfuerzos totales.

6.4) Esfuerzos producidos en la masa del suelo

a) Debido a la excavación.

Para encontrar la variación de la presión de descarga con respecto a la profundidad en diferentes puntos de la zona del túnel (Fig. 6.4.1), se empleó la carta de Newmark. Los esfuerzos se calcularon hasta la profundidad donde termina la segunda formación arcillosa (aproximadamente 45 m.).

La profundidad de desplante en los casos tratados es aproximadamente de 5.90 m.

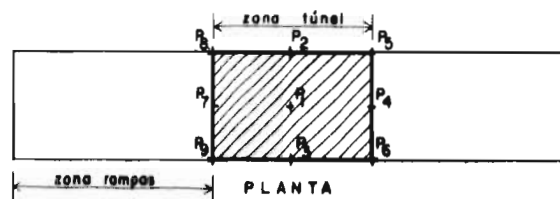


FIG. 6.4.1 PUNTOS EN LA ZONA DEL TUNEL DONDE SE OBTUVIERON LAS EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

b) Debidos al abatimiento piezométrico, por el bombeo en los depósitos profundos.

Esto está tratado en el inciso 5.1.

6.5) Movimientos verticales.- teorfa aplicada

Para conocer la magnitud tanto de las expansiones producidas por la descarga, como los asentamientos producidos por el abatimiento piezométrico

co, se aplicó la teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi.

Como no se pudo contar con los estudios de mecánica de suelos, se procedió a trazar las curvas de compresibilidad considerando lo siguiente:

- a) Índices de compresibilidad en la zona de recompresión - descarga.
- b) Índices de compresibilidad en la rama virgen.
- c) Relación de vacíos inicial.
- d) Variación de los esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad.

Para cada estrato se construyó una curva y se obtuvo la variación de la relación de vacíos para la variación de presión efectiva correspondiente.

El asentamiento o expansión en cada estrato, se calculó por medio de la expresión:

$$\Delta h = \frac{(e_i - e_f)}{(1 + e_i)} H ; \text{ donde}$$

Δh = asentamiento o expansión
 e_i = relación de vacíos inicial
 e_f = relación de vacíos final
 H = espesor del estrato

El asentamiento o expansión total, es la suma de los asentamientos de cada estrato.

Tanto los asentamientos en la zona de influencia de la cimentación, - como las expansiones, se calcularon en cada uno de los puntos marcados en la Fig. 6.4.1.

7. PROCEDIMIENTO EMPLEADO

En una cimentación sobrecompensada sin hundimiento regional, la emersión es producto de un aumento en la relación de vacíos debido a una disminución de esfuerzos efectivos en la masa del suelo.

Cuando esta misma cimentación se construye en un suelo con hundimiento regional, las cosas cambian radicalmente, según se explica a continuación:

En este caso, a la componente de expansión se le agrega una emersión adicional, debida al abatimiento piezométrico regional. Esta se manifiesta como un movimiento relativo producto de la diferencia en asentamientos entre puntos fuera y dentro del área de influencia de la cimentación.

En los incisos 7.1 y 7.2 se tratarán con más detalle estas componentes. En el 7.3, se hablará de la suma de ambas, que llamaremos expansión relativa total.

7.1) Expansión reducida por efecto del abatimiento piezométrico

Por sencillez en el análisis se supondrá que la expansión por descarga y el abatimiento piezométrico ocurren secuencialmente, es decir, que el abatimiento piezométrico se presenta una vez que las expansiones por descarga se han desarrollado totalmente.

Este hecho hace que las expansiones se vean disminuidas en una cierta magnitud. En las Figs. 1.2 y 7.4.1.IV se ve que a cada profundidad hay una disminución de los esfuerzos por descarga y un aumento de éstos por abatimiento piezométrico. Este aumento es nulo donde se inicia el abatimiento y se va haciendo importante a mayor profundidad. A cierta profundidad los

esfuerzos debidos a descarga igualan a los debidos al abatimiento. De esta profundidad hacia abajo, los de abatimiento son mayores.

De acuerdo con lo que se ha expuesto, la componente de expansión reducida por efecto del hundimiento regional será:

$$\Delta\delta_e = \delta_e - \delta\alpha_e ; \text{ en donde:}$$

δ_e = expansión sin considerar hundimiento regional.

$\delta\alpha_e$ = reducción de las expansiones al considerar el abatimiento piezométrico.

En el inciso 7.4 se indican detalles de cálculo de estas cantidades.

7.2) Movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia por efecto del abatimiento piezométrico regional

La misma distribución de presiones de poro por abatimiento piezométrico actúa en cada instante en elementos de suelo bajo la cimentación y alrededor de ésta. Sin embargo, el asentamiento debido al abatimiento piezométrico es mayor alrededor de la cimentación que bajo ella, ya que la descarga sufrida precisamente por estos últimos los ha hecho menos compresibles, bajo incrementos de esfuerzos (véase Fig. 1.2). Esto produce una aparente emersión adicional de la cimentación.

En el caso de los asentamientos dentro del área de influencia de la cimentación, se requiere también una reducción. Esta se debe a que una parte del incremento de esfuerzos por abatimiento piezométrico de hecho no produce asentamientos, sino que, sólo sirve para recuperar el nivel de esfuerzos original del suelo, que había disminuido por la excavación (véase Fig. 7.4.1.IV). En el inciso 7.4 se presenta la secuela de cálculo de estas cantidades.

Tomando en consideración lo que precede, el movimiento relativo por diferencia en asentamientos entre puntos dentro y fuera del área de influencia de la cimentación, se expresa como sigue:

$$\Delta\delta a = [\delta a_f - (\delta a'_d - \delta a_e)] ; \text{ en donde:}$$

δa_f = asentamiento por abatimiento en puntos fuera del área de influencia de la cimentación.

$\delta a'_d$ = asentamiento por abatimiento sin corregir, en puntos dentro del área de influencia.

δa_e = asentamiento desarrollado al variar los esfuerzos efectivos del máximo por descarga al correspondiente por peso propio.

Sabemos que el asentamiento por abatimiento en puntos dentro del área de influencia es:

$$\delta a_d = \delta a'_d - \delta a_e$$

Substituyendo esta igualdad en la expresión de arriba, se puede expresar el movimiento relativo de una forma más general:

$$\Delta\delta a = \delta a_f - \delta a_d$$

7.3) Expansión relativa total

Esta es la suma de las dos componentes que se han analizado en los incisos que preceden (de expansión y asentamiento); por lo tanto se expresa de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \delta e_{rt} &= \Delta\delta e + \Delta\delta a \\ &= (\delta e - \delta a_e) + [\delta a_f - (\delta a'_d - \delta a_e)] \\ &= (\delta e - \delta a_e) + (\delta a_f - \delta a_d) \end{aligned}$$

A continuación, en la secuela de cálculo, se ve esto con más claridad.

Comparando la expansión relativa total máxima, con la máxima para el caso de que no exista hundimiento regional, se ve que la primera es mayor en:

$$\delta\alpha_f = (\delta\alpha_d + \delta\alpha_e)$$

Las expansiones están referidas a puntos fuera de la zona de influencia de la cimentación.

7.4) Secuela de cálculo

Para encontrar los términos definidos en los incisos que preceden se recurrirá a la Fig. 7.4.1, la cual corresponde al paso Xola - Napoleón. - En ella se muestran con los números I, II y III, la distribución con respecto a la profundidad de los esfuerzos efectivos por peso propio, los debidos a la excavación⁽¹⁾ y los debidos al abatimiento piezométrico respectivamente. En la número IV, se han superpuesto todas éstas y además se -- presenta la resultante de todas, la curva 4, la cual representa las condi-- ciones para $t = \infty$ (en puntos dentro de la zona de influencia de la cimen-- tación). Estrictamente hablando la curva 1 representa la condición para $t = 0$; sin embargo, dado que las expansiones ocurren con bastante mayor -- rapidez que las consolidaciones (véase inciso 5.4), se puede suponer que para $t = 0$ (compresión), los esfuerzos en el subsuelo quedan representa-- dos por la curva 2 (una vez que las expansiones por descarga se han desa-- rrollado totalmente).

Tomando en consideración lo que precede, se procederá a explicar en -- base a la Fig. 7.4.1.IV, como se encontraron los diferentes términos para obtener la expansión relativa total.

7.4.1) Expansión sin considerar el hundimiento regional; δe .

Esta expansión se obtiene al disminuir los esfuerzos efectivos de la distribución 1 (contorno A - H - I - C) a la distribución 2 (contorno B - G - J - D). La distribución 1 corresponde a los esfuerzos efectivos por --

(1) Por sencillez se eligió el punto P_1 , central del túnel; ver inciso 6.4.

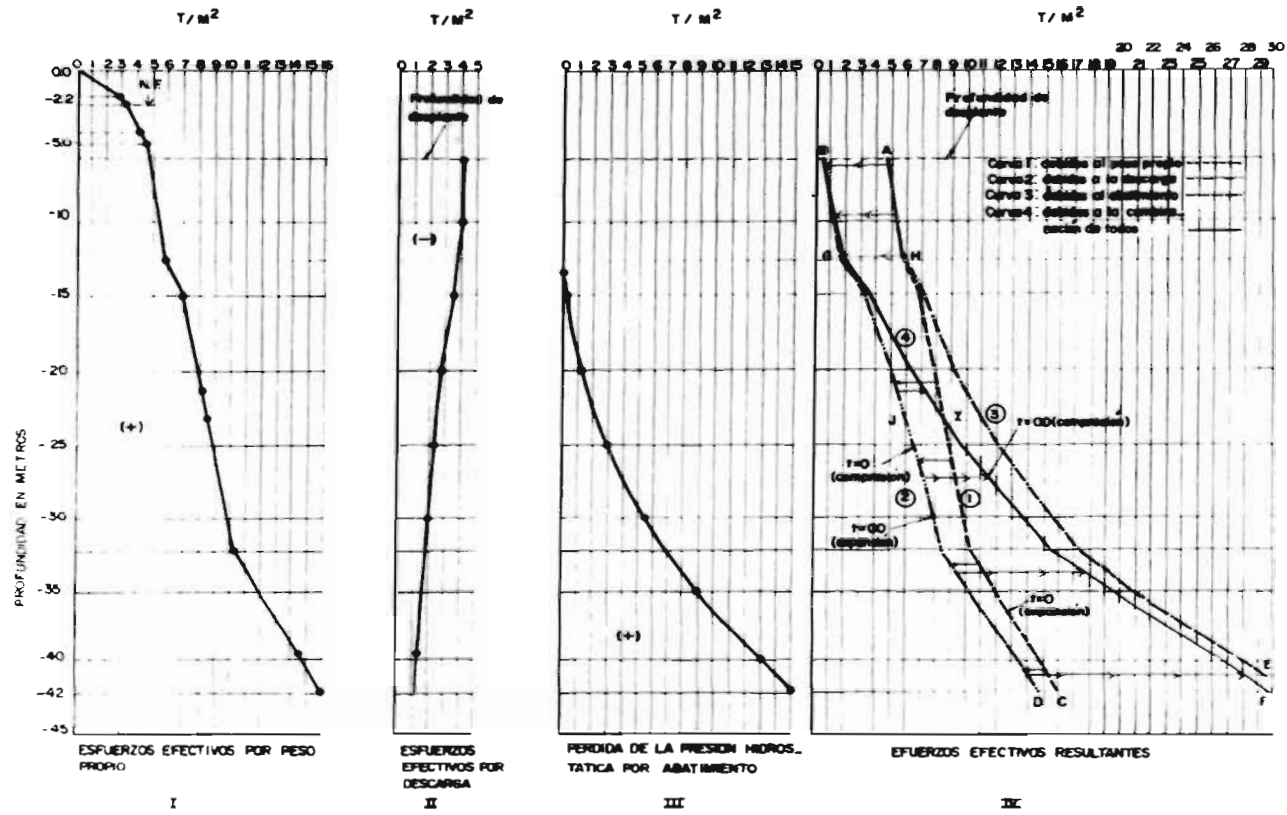


Fig. 7 4. 1. ESFUERZOS EFECTIVOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD, POR PESO PROPIO, POR DESCARGA Y POR ABATIMIENTO. COMBINACION DE TODOS.

peso propio; la 2, a la terminación de las expansiones por descarga.

7.4.2) Corrección a las expansiones por el efecto del abatimiento piezo
métrico; δa_e .

Esta corrección (asentamientos) es producto del aumento en esfuerzos efectivos, desde la distribución 2 (contorno G - J - D), hasta parte de la 1 y de la 4 (contorno G - I - C). La distribución 2 corresponde al estado de esfuerzos cuando la expansión por descarga se ha completado; la 1, corresponde a las condiciones iniciales (esfuerzos por peso propio) y la 4 a la condición final (peso propio menos descarga más abatimiento).

De la misma figura se desprende que esta corrección se va llevando a cabo conforme se alcanzan diferentes grados de consolidación ($U = 0\%$ en la curva 2 y $U = 100\%$ en la 4). Para este análisis se supone, que de la profundidad G a la I - J, la corrección es proporcional a los diferentes grados de consolidación alcanzados; le llamaremos C_1 . El punto I es donde los esfuerzos de compresión debidos al abatimiento son iguales a los debidos a la descarga. De la profundidad I - J, hacia abajo la corrección sólo es proporcional al principio del proceso; esto se ve claro, pues una vez que la distribución de esfuerzos efectivos es mayor que la representada por la curva 1 (entre I y C), la corrección ya se ha llevado a cabo; - ésta la llamaremos C_2 .

7.4.3) Asentamiento por abatimiento piezométrico en puntos fuera y dentro del área de influencia; δa_f y δa_d .

El aumento de esfuerzos efectivos desde los correspondientes a peso propio (distribución 1; contorno H - I - C), hasta los de peso propio más abatimiento (distribución 3; contorno H - E), generan el asentamiento total δa_f de puntos fuera del área de influencia de la cimentación. Estas curvas representan las condiciones anteriores al abatimiento y una vez -- que se ha llevado a cabo el 100% de consolidación debido al mismo fenómeno.

El asentamiento en puntos dentro del área de influencia (δa_d), se desarrolla al incrementarse los esfuerzos efectivos desde la distribución 1

(por peso propio; contorno I - C), hasta la distribución 4 (resultante de peso propio, descarga y abatimiento; contorno I - F). Para encontrar éste, se procede de la siguiente forma: se obtiene primero el generado al incrementarse los esfuerzos efectivos desde la distribución 2, (estado de esfuerzos en el suelo, después de haberse llevado a cabo la totalidad de las expansiones por descarga; contorno G - J - D) hasta la distribución 4 (contorno G - I - F). Enseguida se substraen el asentamiento generado al incrementarse los esfuerzos de la distribución 2 (contorno G - J - D), a la distribución 1 - 4 (contorno G - I - C). Esta substracción (δa_e) como se ve, es la misma que cuando se habló de las expansiones en el anterior inciso; la única diferencia es que en aquel caso corregía a las expansiones y en éste a los asentamientos.

7.4.4) Expansión relativa total.

Ya habiendo visto en detalle las correcciones tanto en las expansiones como en los asentamientos, la expansión relativa total para la condición de 100% de consolidación se expresa de la siguiente forma:

$$\delta e_{rt} = \left[\delta e - (\delta a_e) \right] + \left[\delta a_f - (\delta a'_d - \delta a_e) \right] \quad - - - - - A$$

$$\delta a_d = \delta a'_d - \delta a_e$$

$$\delta a_e = C_1 + C_2$$

7.4.5) Corrección por grado de consolidación alcanzado.

Se admite en este estudio la condición de que las deformaciones de un determinado estrato son proporcionales a los grados de consolidación del mismo. Así, si $(\Delta h)_t$ representa el asentamiento ocurrido en un tiempo t , podrá afirmarse que el grado de consolidación será $U(\%) = \frac{(\Delta h)_t}{\Delta h} 100$; donde Δh = asentamiento total primario (Referencia 12).

Para conocer el grado de consolidación que se ha llevado a cabo en los pasos, se recurrió a la condición anteriormente descrita, de la siguiente forma:

Conocemos por medio de los datos de hundimiento de la C.A.V.M., el -- hundimiento regional total desde Diciembre 1959 a Mayo 1975. Esta diferencia de niveles también se determinó de la nivelación efectuada, resultando un poco diferente, hecho por el cual se tienen dos valores de grado de consolidación.

Por otro lado se ha obtenido (curva 3) el máximo hundimiento (δa_f) para la distribución y magnitud de abatimientos supuesta (fuera del área de influencia de la cimentación).

Entonces el grado de consolidación alcanzado se obtiene de la siguiente forma:

$$U\% = \frac{\text{Hundimiento regional desde que se construyeron los pasos hasta Mayo de 1975.}}{\text{Asentamiento total } (\delta a_f) \text{ por abatimiento, - en puntos fuera del área de influencia.}}$$

Para el caso de Xola - Napoleón que estamos ejemplificando, éste resultó de 56 y 65%.

El siguiente paso será corregir la expansión obtenida para un grado de consolidación de 100% a los correspondientes grados alcanzados en Mayo de 1975 (56, 65%).

La expresión A, (inciso 7.4.4) se modificará de la siguiente forma:

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [(\delta e - \delta a_e)] + U\% [\delta a_f - \delta a_d]$$

$$\text{substituyendo } \delta a_d = \delta a'_d - \delta a_e \text{ y } \delta a_e = C_1 + C_2$$

y simplificando, se obtiene:

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (C_1 + C_2)] + [U\% (\delta a_f - \delta a'_d + C_1 + C_2)] \quad \text{--- B}$$

U% = Grado de consolidación alcanzado.

δe = Expansión sin considerar hundimiento regional.

C_1, C_2 = correcciones a las expansiones y a los asentamientos.

δa_f = asentamiento fuera del área de influencia.

δa_d = asentamiento sin corregir en puntos dentro del área de influencia.

En esta expresión se supuso que las correcciones eran independientes del grado de consolidación; esto se hizo porque son pequeñas, además de que como se verá más adelante, esta expresión está bastante simplificada ya que no toma en consideración los diferentes tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa, sino que considera a ambas como un todo.

7.4.6) Corrección por grado de consolidación, considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa.

En este inciso se tratará de encontrar una solución más racional al problema, obteniendo los tiempos de consolidación de la 1a. y 2a. formación arcillosa. Se partirá de la condición que debe llenar el problema: - "La magnitud y distribución de los abatimientos piezométricos, así como los parámetros del suelo deberán ser tales, que en el lapso desde la construcción hasta el tiempo en que se hizo el estudio (15.5 años aproximadamente), ha habido un hundimiento regional (o grado de consolidación) ---- igual al reportado por la C.A.V.M. o al obtenido por la nivelación que se efectuó".

Para ello se localizaron las capas más permeables por donde se pudieran drenar los estratos de arcilla afectados por el abatimiento, Fig. --- 11.A.6.1. Entre estos drenes generalmente se encuentran estratos arcillosos con diferentes contenidos de agua; en este caso, se obtuvo el contenido de agua promedio y el coeficiente de consolidación correspondiente (inciso 11.A.6).

Se calculó el tiempo en que estos estratos alcanzarían el 95, 65, 56% de la consolidación, aplicando la expresión $t = \frac{H^2}{C_v} T$, derivada de la teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi; en donde:

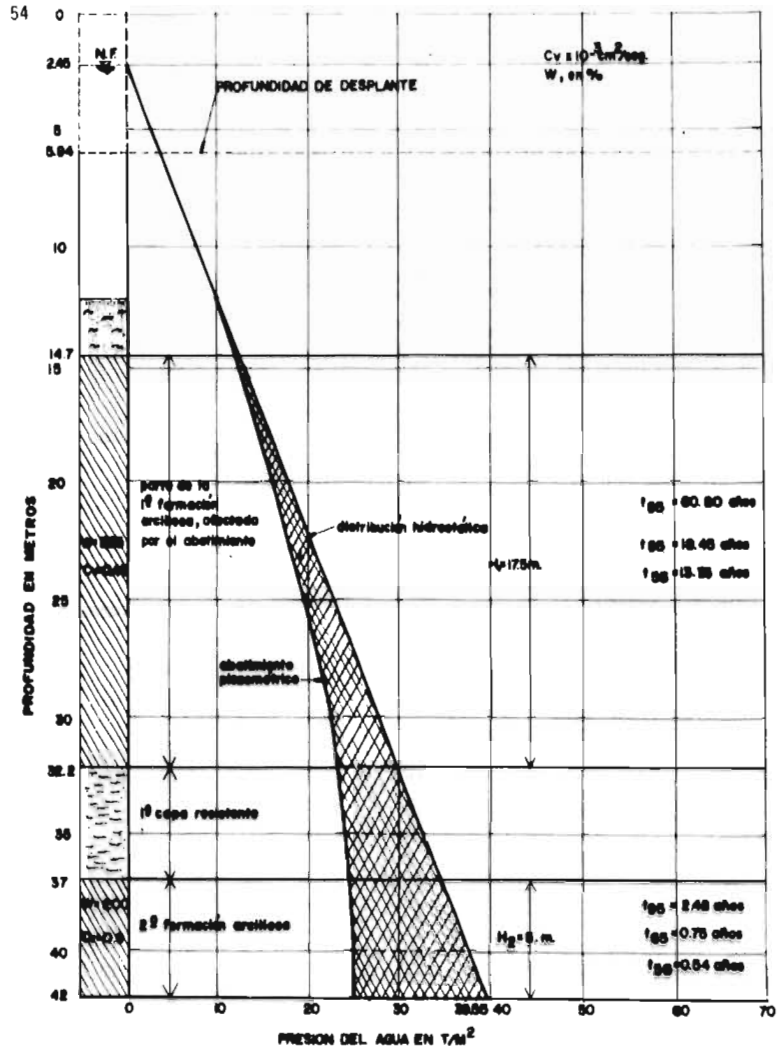


Figura II. A. 6. I. TIEMPOS DE CONSOLIDACION. LOCALIZACION DE DRENES LEY DE ABATIMIENTOS.

t = tiempo para alcanzar un determinado grado de -- consolidación.

H = espesor efectivo del estrato considerado.

T = factor tiempo para el grado de consolidación -- considerado.

C_v = coeficiente de consolidación.

El tiempo para los diferentes grados de consolidación en los diferentes estratos, se muestra en la misma figura. Del análisis de estos tiempos se deduce lo siguiente:

- a) Que en la actualidad el espesor de la 1a. formación arcillosa afectado por el abatimiento es el que está sufriendo consolidación.
- b) Que la 2a. formación arcillosa alcanzó su total consolidación en un tiempo relativamente pequeño (2.48 años).

En base a estas deducciones y a las contribuciones que en el asentamiento (hundimiento regional) tienen la 1a. ($\delta a'_f$) y 2a. formación arcillosa ($\delta a''_f$), (véase Tabla 11.A.4.2.1), se puede construir la Fig. 11.A.6.2; en ella se muestran las contribuciones con el tiempo de la 1a. y 2a. formación arcillosa en el hundimiento regional y la suma de ambas. Se hace notar que la escala de tiempos es común para las tres curvas y la de consolidación solamente para la curva marcada con el número 1. En esta figura se ha supuesto que para el tiempo cero la ley de abatimientos es la misma que para un tiempo infinito; sin embargo, en la realidad del abatimiento se manifiesta primero en la cara inferior de la 1a. formación arcillosa y va progresando hacia arriba, hasta llegar a una profundidad que varía entre - 15 y - 20 m. (véase inciso 5.1).

De la figura arriba mencionada se desprende, que la contribución de la segunda formación arcillosa en el hundimiento regional (y por ende en el grado de consolidación) se lleva a cabo al principio; después permanece constante.

Sabemos que para el caso Xola - Napoleón (Anexo 11-A, inciso 11.A.4.2), el valor máximo (para $U = 100\%$) del factor ($\delta a_f - \delta a_d$) es de 69.93 cm.; de éstos, únicamente 5.58 cm. son contribución de la segunda formación.

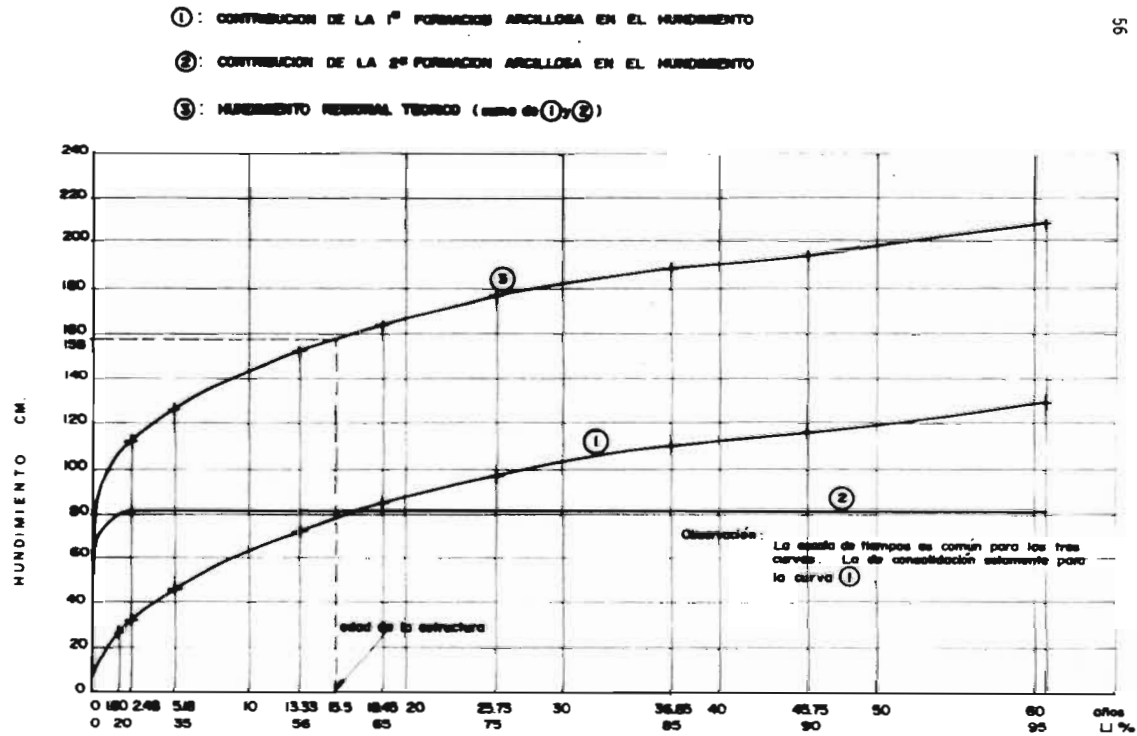


Figura : 11. A. 6. 2. CONTRIBUCIONES TEÓRICAS EN EL HUNDIMIENTO REGIONAL, DE LA 1ª Y 2ª FORMACIÓN ARCILLOSA.

De lo que precede se deduce que el movimiento relativo como consecuencia de la diferencia en asentamientos entre puntos fuera y dentro de la zona afectada por la cimentación, $(\delta a_f - \delta a_d)$ es debido principalmente a la primera formación arcillosa.

Como es sabido, este movimiento relativo se va llevando a cabo conforme se alcanzan los diferentes grados de consolidación (ver inciso 7.4.5 y fórmula B).

Tomando como base el hecho de que la segunda formación prácticamente no contribuye en $(\delta a_f - \delta a_d)$ y considerando también que cuando la segunda formación se ha consolidado totalmente (2.48 años), la primera prácticamente no lo ha hecho (alcanza el 95% de U al cabo de 60.80 años), se hará la siguiente suposición:

- a) Entre $U = 0$ y $U = 38\%$, no se genera movimiento relativo.
- b) A partir de $U = 38\%$, se empieza a desarrollar este movimiento (con variación lineal) y llega al máximo para $U = 100\%$ (69.93 cm.).

El 38% resulta de lo siguiente: para la condición de $U = 100\%$ en puntos fuera de la zona afectada por la cimentación, la contribución en el asentamiento de la segunda formación arcillosa es del 38% (el restante -- 62% corresponde a la primera formación).

Tomando como base todo lo que precede, el grado de consolidación $U\%$, que afecta al término $(\delta a_f - \delta a_d)$, se substituirá por $\mu\%$:

$$\mu\% = \left(\frac{U - 0.38}{1 - 0.38} \right) \times 100 \quad \begin{array}{l} \text{para } U = 38\% ; \mu = 0 \\ \text{para } U = 100\% ; \mu = 100\% \end{array}$$

Para valores de $U\%$ menores de 38%, $\mu\%$ sigue valiendo cero.

Por otro lado, según se vio en el inciso 7.4.2 y 7.4.3, la corrección C_1 se puede suponer proporcional al grado de consolidación, mientras que C_2 no. Tomando en consideración todo lo que precede, la expansión relativa total toma la siguiente forma:

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (U\%C_1 + C_2)] + [(\mu\% \delta a'_f + \delta a''_f) - (\mu\%[\delta a'_d - (C_1 + C_2)] + (1 - U\%)C_1 + \delta a''_d)]$$

donde:

- δe = expansión sin considerar hundimiento regional.
- $\delta a'_f$ = asentamiento en la 1a. formación arcillosa en puntos fuera del área de influencia.
- $\delta a''_f$ = igual, únicamente que se refiere a la 2a. formación.
- $\delta a'_d$ = asentamiento sin corregir en la 1a. formación en puntos dentro del área de influencia.
- $\delta a''_d$ = igual, sólo que se refiere a la 2a. formación.
- C_1, C_2 = correcciones a las expansiones y a los asentamientos.
- $U\%$ = porcentaje de consolidación alcanzado.
- $\mu\%$ = porcentaje de la contribución (asentamiento) en la 1a. formación arcillosa, para el grado de consolidación ($U\%$) considerado.

De la figura 11.A.6.2, también se obtuvo el grado de consolidación teórico para $t = 15.5$ años (edad de la estructura) y se comparó con el obtenido por medio de la nivelación y las curvas de igual hundimiento de la C.A.V.M. Esto se ve en detalle en el anexo 11.A, inciso 11.A.6.

Para conocer directamente la evolución teórica del hundimiento regional (o grado de consolidación) con el tiempo, se construyó la Fig. 11.A.6.3; se tomó como base la curva 3 de la Fig. 11.A.6.2. Las abscisas (tiempo) son iguales en ambas figuras; las ordenadas se obtuvieron encontrando el hundimiento regional para un determinado tiempo t y expresándolo como porcentaje del total posible (δa_f).

En el caso de L. Boturini, se tuvo que hacer una pequeña corrección ya que a los 4 mts. de donde se inicia el abatimiento existe un dren, Fig. 11.B.6.1; esto hace que esos 4 mts. se consoliden mucho antes que el resto de la primera formación arcillosa afectada por el abatimiento. En la misma figura se muestran los diferentes tiempos de consolidación (ver Anexo 1-B).

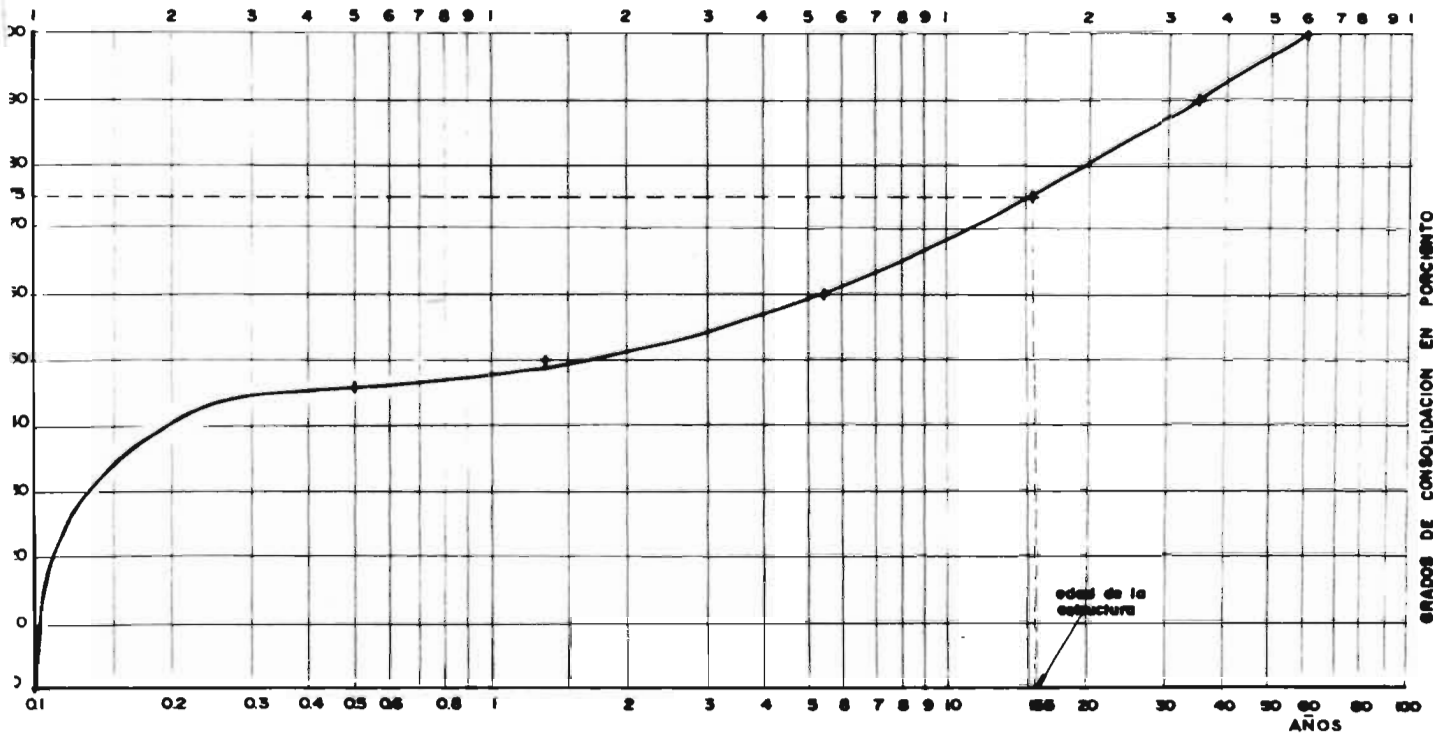


Fig. 11. A. 6. 3. PORCENTAJE DE CONSOLIDACION ALCANZADA (1^a más 2^a formación arcillosa) CON RESPECTO AL TIEMPO.

Las expansiones obtenidas de la expresión B y C, se compararon con las obtenidas en el campo por medio de la nivelación; véase tabla 8.3.1.

7.4.7) Promedio de las expansiones y asentamientos.

Se hace notar que dada la alta rigidez del cajón del túnel, todas las expansiones o asentamientos, excepto los obtenidos para puntos fuera del área de influencia, son el promedio de todos los obtenidos en la zona del túnel (ver Fig. 6.4.1, inciso 6.4), según se indica:

$$\delta h = \left[\left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_2} + \delta_{p_4} + \delta_{p_5}}{4} \right) + \left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_3} + \delta_{p_4} + \delta_{p_6}}{4} \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_2} + \delta_{p_7} + \delta_{p_8}}{4} \right) + \left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_3} + \delta_{p_7} + \delta_{p_9}}{4} \right) \right] \frac{1}{4}$$

Dada la simetría (en descargas netas) de los puntos 2 - 3, 5 - 6 y --- 8 - 9, la expresión anterior se puede expresar como:

$$\delta h = \left[\left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_2} + \delta_{p_4} + \delta_{p_5}}{4} \right) + \left(\frac{\delta_{p_1} + \delta_{p_2} + \delta_{p_7} + \delta_{p_9}}{4} \right) \right] \frac{1}{2}$$

8. RESULTADOS

8.1) Perfiles de parapeto.- expansiones medidas en campo

Para conocer de una forma directa la expansión relativa total, se consideraron los perfiles de proyecto del parapeto en 1959 y los obtenidos en la nivelación hecha en 1975.

Se supuso que un punto sobre el parapeto lo suficientemente alejado (entre 100 y 120 m.) de la salida del túnel, no sería afectado por la descarga; por lo tanto este punto lo único que sufrió fue un movimiento vertical descendente (hundimiento regional desde 1959 hasta 1975). Entonces bastó trazar en el perfil obtenido del parapeto en 1975, el perfil del mismo pero en 1959, haciendo coincidir el punto alejado. La diferencia entre estos dos perfiles, nos da la expansión relativa total en cualquier punto del parapeto, con respecto a puntos fuera del área de influencia de la excavación.

Los puntos que se nivelaron sobre el túnel y que fueron los que se compararon con las expansiones relativas totales obtenidas de la teoría, son los siguientes: en cada parapeto, en la unión con la banqueta para peatones sobre el túnel (en la actualidad estos dos niveles coinciden); - los dos puntos extremos que se muestran en cada lado en la Fig. 8.1.1, - son precisamente estos puntos.

Los perfiles de los parapetos nivelados, así como las expansiones relativas totales se muestran en las Figs. 14.IV.1 a 14.IV.10 (ver anexo IV).

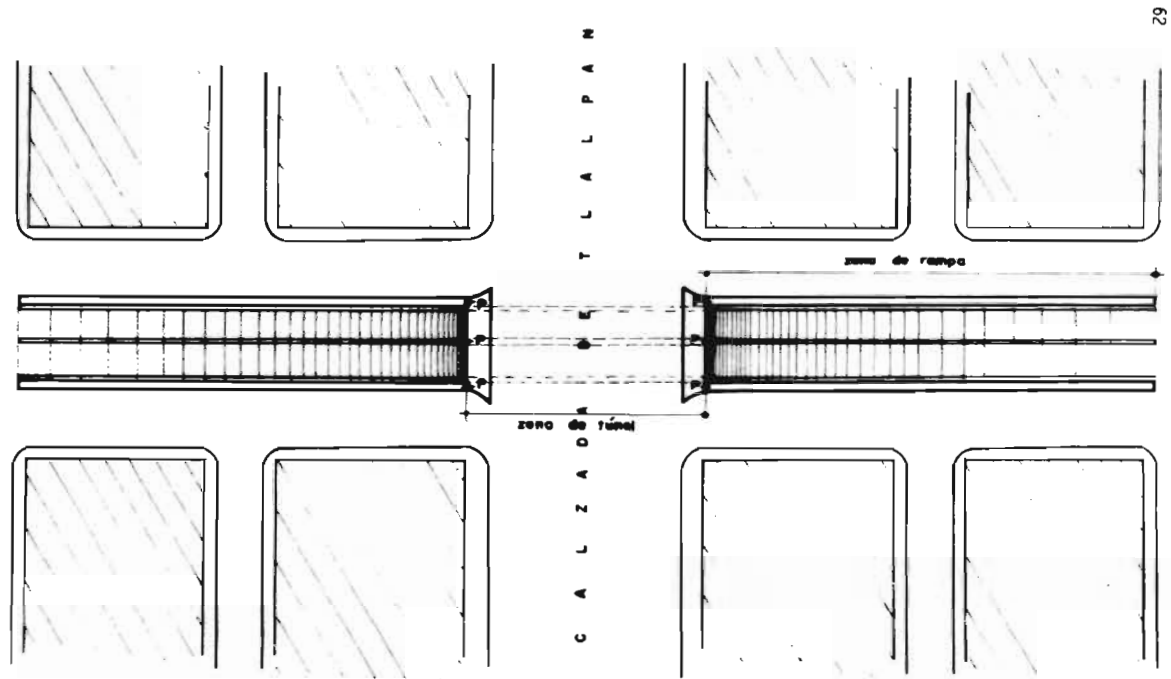


Figura: 8.1.1. PUNTOS NIVELADOS EN ZONA DEL TUNEL, SOBRE BANQUETA.

8.2) Expansiones relativas totales obtenidas aplicando la teoría

En la Tabla 8.2.1, se desglosan los resultados de acuerdo a la secuencia empleada en el análisis.

En el caso de L. Boturini, la 2a. formación arcillosa tiene intercaladas varias lentes de arena y limo, las cuales actúan como drenes; esto hace que se subdivida y se obtengan varios t_{95} . En la Tabla 8.2.1, sólo se consigna el t_{95} mayor (1.14 años); en la Fig. 11.B.6.1 se consignan todos (Anexo I-B; inciso 11.B.6).

También se omite este mismo tiempo por pequeño, para la parte superior de la primera formación arcillosa; desde - 23 m. (existe un estrato arenolimoso), hasta - 19 m., que es hasta donde llega el efecto del abatimiento. Se hace notar que este dren no aparece en todos los sondeos que están cerca de este paso.

8.3) Comparación de resultados

Esta comparación se hace considerando los resultados de la Tabla 8.3.1.

8.3.1) Xola - Napoleón.

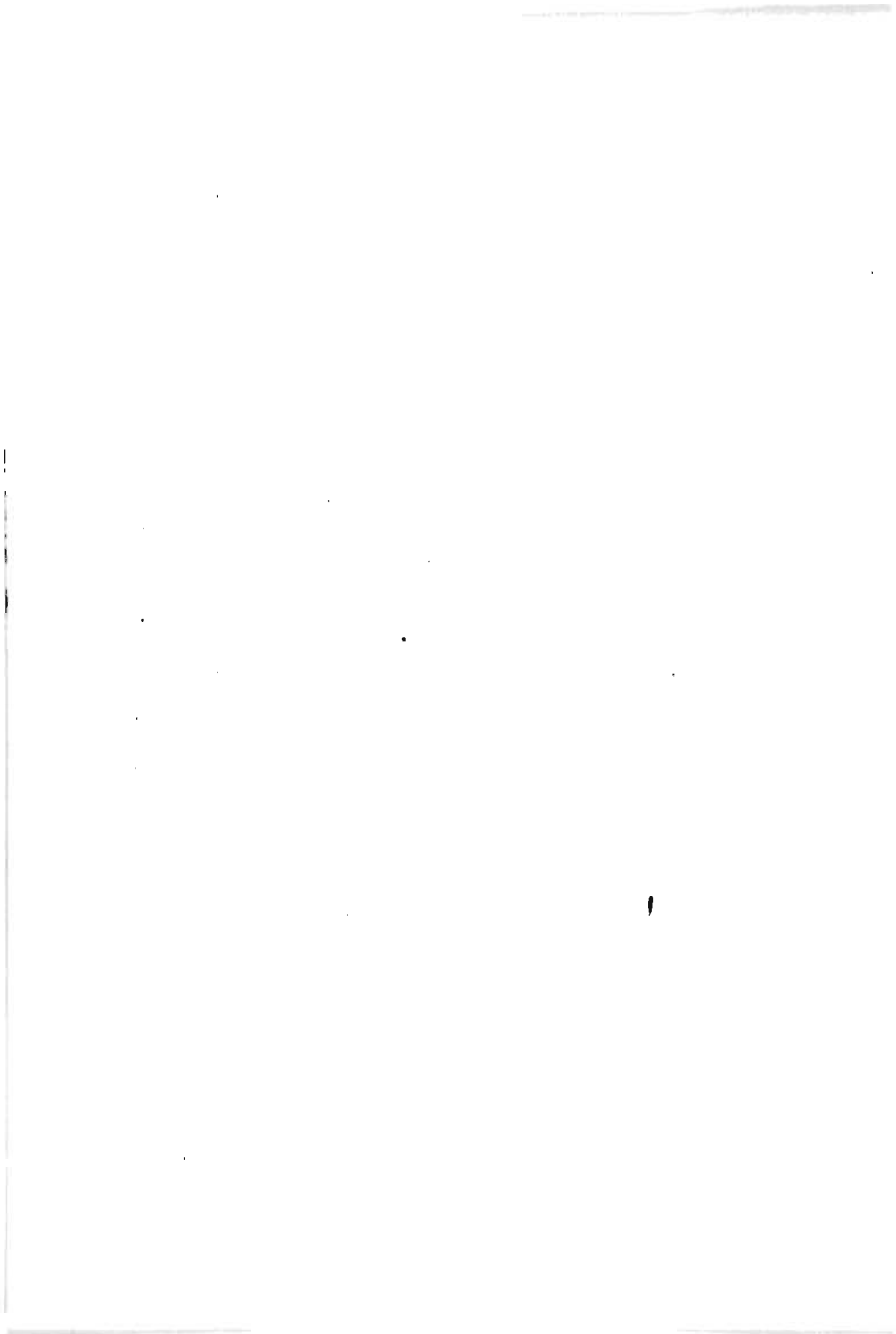
En el lado Oriente las expansiones relativas totales obtenidas de la teoría resultaron ser mayores entre - 9 y 28% que las medidas en el campo (véase Tabla 10.1.1; inciso 10.1).

En el lado Poniente éstas variaron entre 19 y 67%, siendo mayores también las teóricas.

A continuación se mencionan una serie de hechos que hacen suponer que el lado más representativo es el Oriente:

- a) Por lo que respecta a la intensidad de las construcciones.

Lado Oriente (zona de rampas).



CONSIDERANDO LOS DIFERENTES TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1a. y 2a. FORMACION ARCILLOSA							
UBICACION DEL PASO A DESNIVEL	GRADO DE CONSOLIDACION (cm.)		ASENTAMIENTO (cm.)				
	CON ALCANZADO	REDUCCION DEBIDA AL ABATIMIENTO	1a. Formación Arcillosa		2a. Formación Arcillosa		
			AREA DE INFLUENCIA				
	0		Fuera	Dentro	Fuera	Dentro	
XOLA - NAPOLEON	U%	$\delta a_e = U\%C_1 + C_2$	$\mu \delta a'_f$	$\mu\%[\delta a'_d - C_1 + C_2] + (1-U\%)C_1$	$\delta a''_f$	$\delta a'_d$	
	100	2	12	129.63	53.28	80.12	74.54
	65	2	10.70	57.04	24.75	80.12	74.54
	56	2	10.36	37.59	17.09	80.12	74.54
				$)_{U\%} = [\delta e - (U\%C_1 + C_2)] + \{ (\mu\% \delta a'_f + \delta a''_f) - \{ (\mu\% [\delta a'_d - C_1 + C_2] + (1-U\%)C_1) + \delta a'_d \} \}$			
			100	= 33.62 + 81.93 = 115.55 cm.			
			65	= 34.92 + 37.88 = 72.80 cm.			
			56	= 35.26 + 26.44 = 61.70 cm.			
LORENZO BOTURINI	U%	$\delta a_e = C'_1 + (U\%C_1 + C_2)$	$\mu\%(\delta a'_f - b) + b$	$\mu\%[(\delta a'_d - C'_1 - C''_1 + C_2) + (1-U\%)C'_1]$	$\delta a''_f$	$\delta a'_d$	
	100	27	11.67	143.11	70.29	84.42	79.94
	73	27	11.35	80.84	37.57	84.42	79.94
	65	27	11.26	63.61	28.53	84.42	79.94
				$)_{U\%} = [\delta e - (C'_1 + U\%C_1 + C_2)] + \{ [\mu\%(\delta a'_f - b) + b + \delta a''_f] - [(\delta a'_d - C'_1 + C''_1 + C_2)] + (1-U\%)C'_1 + \delta a'_d \}$			
			100	= 41.60 + 77.30 = 118.90 cm.			
			73	= 41.92 + 47.75 = 89.67 cm.			
			65	= 42.01 + 39.56 = 81.57 cm.			

UBICACION DEL PASO A DESNIVEL	GRADO DE CONSOLIDACION - ALCANZADO	SUPONIENDO IGUALES LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1a. Y 2a. FORMACION ARCILLOSA				T I E M P O (años)					CONS
		EXPANSION (cm.)		ASENTAMIENTO (cm.)							EXPAN
		SIN CONSIDERAR HUNDIMIENTO	REDUCCION DEBIDA AL ABATIMIENTO	AREA DE INFLUENCIA		DE CONSOLIDACION			DE CONSTRUIDOS.	SIN CONSIDERAR HUNDIMIENTO REGION	
				Fuera	Dentro	1a. Formación Arcillosa		2a. Formación Arcillosa			
XOLA - NAPOLEON	U%	δ_e	$\delta a_e = C_1 + C_2$	U% δa_f	U% [$\delta a_d - (C_1 + C_2)$]	t_{95}	t_{65}	t_{56}	t_{95}	15.5	δ_e
	100	45.62	12	209.75	127.83	60.80	18.45	13.13	2.48		45.6
	65	45.62	12	136.34	83.09						45.6
	56	45.62	12	117.46	71.58						45.6
		$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (C_1 + C_2)] + (U\% \delta a_f - U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)])$									$(\delta e_{rt} - (C_1 + C_2))$
	100	= 33.62 + 81.93 = 115.55 cm.									
	65	= 33.62 + 53.25 = 86.87 cm.									
	56	= 33.62 + 45.88 = 79.50 cm.									
LORENZO BOTURINI	U%	δ_e	$\delta a_e = (C_1 + C_2)$	U% δa_f	U% [$\delta a_d - (C_1 + C_2)$]	t_{95}	t_{73}	t_{65}	t_{95}	15.84	δ_e
	100	53.27	11.67	227.53	150.23	50.03	20.21	15.16	1.14		53.
	73	53.27	11.67	166.10	109.67						53.
	65	53.27	11.67	147.89	97.65						53.
		$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (C_1 + C_2)] + (U\% \delta a_f - U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)])$									$(\delta e_{rt} - (U\% \delta a_f - U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)]))$
	100	= 41.60 + 77.30 = 118.90 cm.									
	73	= 41.60 + 56.43 = 98.03 cm.									
	65	= 41.60 + 50.25 = 91.85 cm.									

TABLA 8.2.1 EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES OBTENIDAS APLICANDO LA TEORIA (δe_{rt})

IGUALES LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1a. Y 2a. FORMACION ARCILLOSA			T I E M P O (años)				CONSIDERANDO LOS DIFERENTES TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1a. y 2a. FORMACION ARCILLOSA						
ASENTAMIENTO (cm.)							EXPANSION (cm.)		ASENTAMIENTO (cm.)				
CANTIDAD DE ASIENTO	AREA DE INFLUENCIA		DE CONSOLIDACION				DE CONSTRUCCIONES.	SIN CONSIDERAR HUNDIMIENTO REGIONAL	REDUCCION DEBIDA AL ABATIMIENTO	1a. Formación Arcillosa		2a. Formación Arcillosa	
	Fuera	Dentro	1a. Formación Arcillosa			2a. Formación Arcillosa				Fuera	Dentro	Fuera	Dentro
$C_1 + C_2$	$U\% \delta a_f$	$U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)]$	t_{95}	t_{65}	t_{56}	t_{95}	15.5	δe	$\delta a_e = U\% C_1 + C_2$	$U\% \delta a_f$	$U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)] + (1-U\%) C_1$	δa_f^*	δa_d^*
12	209.75	127.83	60.80	18.45	13.13	2.48		45.62	12	129.63	53.28	80.12	74.54
12	136.34	83.09						45.62	10.70	57.04	24.75	80.12	74.54
12	117.46	71.58						45.62	10.36	37.59	17.09	80.12	74.54
$\delta e - (C_1 + C_2) + (U\% \delta a_f - U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)])$							$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (U\% C_1 + C_2)] + \{ (U\% \delta a_f + \delta a_f^*) - (U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)] + (1 - U\%) C_1 + \delta a_d^*) \}$ $= 33.62 + 81.93 = 115.55 \text{ cm.}$ $= 34.92 + 37.88 = 72.80 \text{ cm.}$ $= 35.26 + 26.44 = 61.70 \text{ cm.}$						
$C_1 + C_2$	$U\% \delta a_f$	$U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)]$	t_{95}	t_{73}	t_{65}	t_{95}	15.84	δe	$\delta a_e = C_1' + (U\% C_1' + C_2)$	$U\% (\delta a_f - b) + b$	$U\% [\delta a_d - (C_1' - C_1' + C_2)] + (1-U\%) C_1'$	δa_f^*	δa_d^*
1.67	227.53	150.23	50.03	20.21	15.16	1.14		53.27	11.67	143.11	70.29	84.42	79.94
1.67	166.10	109.67						53.27	11.35	80.84	37.57	84.42	79.94
1.67	147.89	97.65						53.27	11.26	63.61	28.53	84.42	79.94
$\delta e - (C_1 + C_2) + (U\% \delta a_f - U\% [\delta a_d - (C_1 + C_2)])$							$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (C_1' + U\% C_1' + C_2)] + \{ (U\% (\delta a_f - b) + b + \delta a_f^*) - (U\% [\delta a_d - C_1' + C_1' + C_2] + (1-U\%) C_1' + \delta a_d^*) \}$ $= 41.60 + 77.30 = 118.90 \text{ cm.}$ $= 41.92 + 47.75 = 89.67 \text{ cm.}$ $= 42.01 + 39.56 = 81.57 \text{ cm.}$						

TABLA 8.2.1 EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES OBTENIDAS APLICANDO LA TEORIA (δe_{rt})

UBICACION DEL PASO	ANCHO	EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES ($\delta_{e_{rt}}$) CM.						
		DE LA NIVELACION				APLICANDO LA TEORIA		
		LADO ORIENTE		LADO PONIENTE		GRADO DE CONSOLIDACION.	SUPONIENDO IGUALES LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA PRIMERA Y SEGUNDA FORMACION ARCILLOSA.	CONSIDERANDO LOS DIFERENTES TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA PRIMERA Y SEGUNDA FORMACION ARCILLOSA.
		MURO		MURO				
		Norte	Sur	Norte	Sur	%	cm.	cm.
MORELOS - NATIVITAS AVENIDA 9	24.92 18.18 6.6	38	16	--	50 ³			
1 ^o DE MAYO-R. MILLAN	16.90	60	60	--	60			
N.H. CHAPULTEPEC-SUR 124	8.35	43	43	44	37			
CORRESPONDENCIA-SANTIAGO	8.41	0	3	52	42			
XOLA-NAPOLEON	16.64	66	70	54	48	56 ¹ 65 ²	79.50 86.87	61.70 72.80
CHAVACANO-I.P. CONTRERAS	21.77	83	73	70	65			
J.T. CUELLAR	17.55			81	75			
"	8.99	--	72					
AV. DEL TALLER	8.44	72	72					
L. BOTURINI	16.71	40	35	113	91	65 ¹ 73 ²	91.85 98.03	81.57 89.67
CHIMALPOCOCA	13.50	16 ⁴	--	--	--			
FRAY SERVANDO	24.00	25	36	--	--			

(1) con datos de la nivelación (2) con datos de la C. A. V. M. (3) asentamiento (4) lado Este

TAB. 8.3.1. COMPARACION DE RESULTADOS, OBTENIDOS DE LA TEORIA Y LA NIVELACION.

Muro Sur: Las construcciones en este lado corresponden a casas sencillas de uno (planta baja) y dos niveles (planta baja y un nivel); considerando el conjunto de construcciones, se puede suponer este lado cargado con construcciones sencillas.

Muro Norte: Aquí las construcciones son también casas de uno y dos niveles. La única diferencia con respecto al lado Sur, es que las de dos niveles están remediadas entre 3 y 4 m. más que las de un nivel; esto permite suponer que este lado se pueda considerar menos cargado que el anterior.

- Lado Poniente (zona de rampas).

Muro Norte: En este lado, a excepción de una gasolinera bastante grande localizada en la parte media, las construcciones son casas de planta baja y un nivel.

Muro Sur: Al principio de la zona de rampas (donde se inicia el túnel) hay dos casas de dos niveles y una de tres. Es conveniente mencionar que sobre la calzada de Tlalpan a 20 m. del muro exterior del paso, se encuentra un edificio de 18 x 24 m. (18 m. en el sentido de Tlalpan y 24 m. en el sentido de Xola) en planta y 7 niveles. El asentamiento que ha tenido este edificio, parece haberse dejado sentir en la zona del paso; esto se manifiesta en el desnivel mayor entre la banqueta y la banqueta sobre el túnel; en este lado es de 76 cm., mientras que en el lado Norte es de 58 cm. (véase Tabla 9.2.1; inciso 9.2).

A continuación siguen casas de un nivel en la parte media de esta zona de rampas. En la parte final se encuentran dos edificios de cuatro niveles y por último un lavado para automóviles.

Comparando la intensidad de la sobrecarga por construcciones en uno y otro lado, se ve que el lado Oriente es más representativo ya que por tratarse de construcciones ligeras, éstas interfieren poco en el fenómeno -- por analizar.

b) Por lo que respecta a la magnitud de las expansiones relativas -- totales medidas en pasos contiguos.

Se compararon las expansiones medidas en los pasos Correspondencia - Santiago, N. H. de Chapultepec - Sur 124 (los más próximos al Sur) y J. Peón Contreras - Chavacano, el próximo estudiado al Norte con las medidas en Xola - Napoleón. Cabe la aclaración que los dos primeros pasos -- tienen la mitad del ancho que el de Xola, mientras que J. Peón Contreras es aproximadamente 5 m. mayor.

Según se puede apreciar en la tabla 8.3.1, el promedio de las expansiones en N. H. de Chapultepec - Sur 124, es de 43 cm; en el caso de Correspondencia - Santiago es de 47 cm. No se considera el lado Oriente -- pues como se verá en el inciso 9.1, este lado ha tenido un comportamiento fuera de lo usual. En el caso de J. Peón Contreras - Chavacano, es de 73 cm.

En el inciso 10.4, se menciona que las expansiones de pasos con anchos aproximadamente de 16 m., son entre 22 y 35% mayores que las medidas en pasos con un ancho de aproximadamente la mitad.

El paso en Xola tiene un ancho aproximadamente del doble que el de N. H. de Chapultepec y el de Correspondencia, y es 5 m. menor que el de J. Peón Contreras; por lo tanto es de esperarse que la expansión en Xola sea mayor entre un 22 y 35%, que el de los dos arriba mencionados y un poco menor que la encontrada en J. Peón Contreras. A continuación se esquematizan los porcentajes:

J. Peón Contreras	Xola	N. H. de Chapultepec y Correspondencia.
73 cm. 7% >	68 (Oriente) >	34% 45 cm.
73 cm. 40% >	52 (Poniente) >	13% 45 cm.

De los porcentajes obtenidos, los que están más acordes con lo que he postulado son los del lado Oriente: debe ser un poco menor (7%) que

la de J. Peón Contreras y mayor (34%) entre 22 y 35% que N. H. de Chaultepec o Correspondencia; en vez del 40% y 13% respectivamente para el lado Poniente. En resumen se puede decir que basándose en los puntos a y b, parece bastante razonable suponer que el lado Oriente es el más representativo; de hecho esto también se refleja en las aproximaciones que se obtuvieron:

Lado Oriente : entre - 9 y 23%

Lado Poniente : entre 19 y 67%

El signo menos se refiere a que las expansiones teóricas son menores. A continuación se explica de una forma cualitativa el efecto que en las expansiones relativas totales tienen las sobrecargas debidas a construcciones en la zona próxima al paso.

Si en las áreas donde no hay descarga, (como son los puntos donde terminan los pasos) existieran construcciones de cierta consideración, el hundimiento debido al abatimiento se vería incrementado por esta sobrecarga.

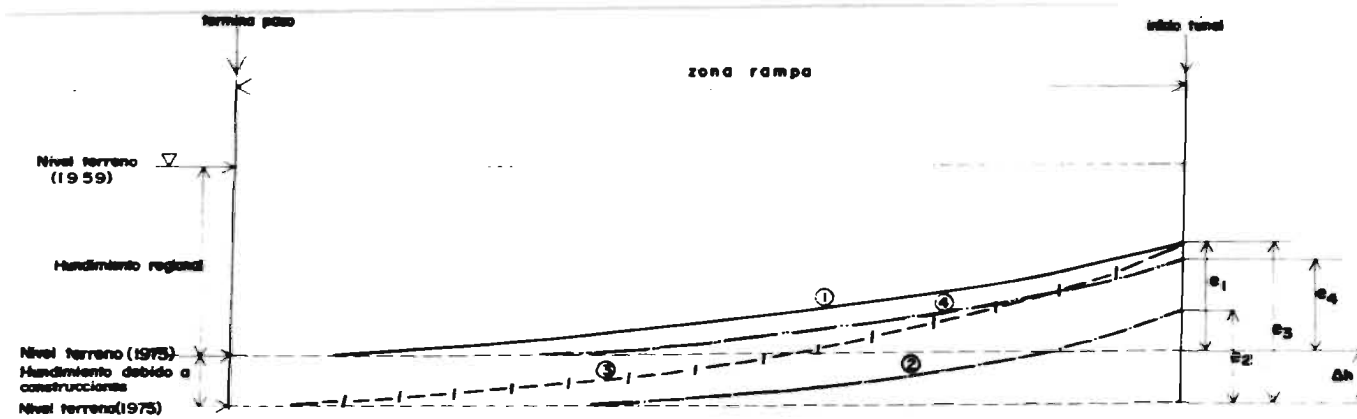
Se recuerda que estos puntos se tomaron como referencia en la nivelación, para obtener por medio de los perfiles de los parapetos la expansión relativa total.

Si esto mismo ocurriese en la zona de influencia de la cimentación, las expansiones ya disminuidas por el efecto del abatimiento, se verían aún más disminuidas por el de la sobrecarga. Por lo que respecta a los asentamientos, éstos serán menores que en el caso anterior, ya que los esfuerzos por descarga los contrarrestan en cierta medida.

Tomando en consideración lo que precede, se pueden construir las gráficas que aparecen en la Fig. 8.3.1.

En ella se puede observar que e_1 representa la expansión relativa total para la condición de que el hundimiento regional sea debido al abatimiento piezométrico únicamente.

La e_2 representa la condición de hundimiento regional por abatimien



Expansión relativa total ($\int e_{11} = e$)

Caso

- e1: únicamente se considera abatimiento
- e2: debido al abatimiento y con igual densidad de construcciones en la zona.
- e3: con construcciones al final del pozo (donde están las partes de referencia, fuera del área de influencia.)
- e4: con construcciones en el inicio del túnel

$$e_1 < e_3$$

$$e_1 > e_2 \approx e_4$$

Fig. 8. 3. 1. EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES DEBIDAS AL ABATIMIENTO PIEZOMETRICO Y A DIFERENTES CONDICIONES DE SOBRECARGA (Edificaciones)

to, más la debida a una cierta sobrecarga en toda la zona por construcciones existentes. Se nota que en este caso, los puntos fuera de la zona de influencia de la excavación, se encuentran una cantidad Δh más abajo -- que para el caso anterior, debido al asentamiento producido por las edificaciones.

La expansión e_2 es menor que e_1 debido a lo que se dijo anteriormente, en el sentido de que los asentamientos producidos por la sobrecarga contrarrestan en cierta medida las expansiones.

La e_3 se refiere al caso de que en la zona donde están los puntos de referencia, se encuentren construcciones que produzcan un asentamiento adicional Δh .

En la e_4 , las construcciones sólo existen en la zona de unión túnel - rampa; en esta unión es donde se miden las expansiones.

Comparando las diferentes expansiones relativas totales se puede concluir de una manera cualitativa lo siguiente:

La mayor de las expansiones es e_3

Las menores son e_2 y e_4

La expansión e_1 , para el caso ideal está entre los valores arriba citados.

Por la diferencia entre los niveles (δe_{in}) de la banquetta sobre el paso y la calle, el comportamiento del lado Poniente se asemeja al caso de construcciones en toda la zona (e_2) o al caso de construcciones en la zona túnel - rampa (e_4). De acuerdo a la distribución de las construcciones más pesadas, se asemeja más el caso e_4 . Como la expansión e_1 para el caso ideal es mayor que e_2 y e_4 , se ve por qué la expansión en el lado Oriente (cercano al ideal) es mayor que la del lado Poniente.

Podría deberse también en parte, a la diferencia en la magnitud del abatimiento piezométrico en uno y otro lado. En el período considerado, los puntos de referencia en el lado Oriente tuvieron un hundimiento regio

nal de 1.22 m., mientras que en el lado Poniente fue de 1.14 m.; Fig. 14. IV.5 (Anexo IV).

Lo que no se puede explicar por ser muy elaborado y estar fuera de -- los alcances de esta tesis es la magnitud de la disminución.

8.3.2) Lorenzo Boturini.

Las expansiones relativas totales obtenidas y medidas se muestran en la Tabla 8.3.1. En promedio las expansiones obtenidas de la teorfa son me-- nores en 10.5% en el lado Poniente y mayores en 126% en el Oriente (véase Tabla 10.1.1; inciso 10.1).

Es notoria la discrepancia entre las expansiones en uno y otro lado: $126 - (-10.5) = 136.5\%$; esto quiere decir que la diferencia entre las ex-- pansiones medidas en campo en uno y otro lado es del 136.5%. Aparentemen-- te el comportamiento que ha tenido el lado Oriente (hundimiento regional) durante la vida del paso, hace que éste no se pueda comparar con las solu-- ciones teóricas obtenidas. La razón es la siguiente: mientras los puntos alejados del área de influencia de la cimentación en el lado Poniente tu-- vieron un hundimiento regional (de Julio de 1959 a Mayo de 1975) entre -- 1.48 m. (muro Sur) y 1.65 m. (muro Norte), los puntos del lado Oriente lo tuvieron de 0.84 m.; Fig. 14.IV.8 (Anexo IV). Esto comparado con los hundimientos reportados en los diferentes boletines de Mecánica de Suelos de la C.A.V.M. para el mismo período (1.66 m.), demuestran que otros facto-- res han intervenido en el hundimiento regional del lado Oriente y que no se puede comparar con las soluciones teóricas. Además si se comparan las expansiones relativas totales con las que han tenido (en lados representa-- tivos; con menos construcciones) pasos que están cerca, como son el de J. T. Cuellar y el de Chavacano, se ve Tabla 8.3.1, que éstas son en prome-- dio como de 80 cm. En vista de que el espesor de la segunda formación arcillosa crece hacia la zona céntrica de la ciudad, las expansiones crecen en el mismo sentido según se trata en el inciso 9.1; por tal razón es de suponerse que las expansiones en Lorenzo Boturini sean mayores de 80 cm. Esto se cumple en el lado Poniente (91-113 cm.) y no en el lado Oriente - (40 cm.).

Se hace notar que al Sur tanto en el lado Oriente como Poniente, se -
afectó una franja de 7.25 m. (véase Fig. 11.B.1.2; inciso 11.B.1.1). Se -
supone que la carga que estas construcciones demolidas habian transmitido
al subsuelo no fueron importantes, ya que las construcciones reinantes en
esa zona son casas de planta baja y un nivel.

9. COMENTARIOS FINALES

9.1) Expansiones relativas totales medidas en los pasos a desnivel

Según se puede apreciar en la Tabla 5.1.1, la intensidad de las pérdidas de carga crece según se va acercando a la zona céntrica de la ciudad. Además el espesor de la primera formación arcillosa crece en la misma dirección; en Xola, Fig. 11.A.1.7, tiene un espesor de 27 m., mientras que en L. Boturini es de 32 m.; Fig. 11.B.1.5. y 11.B.1.6 (véase Anexo I.A y I.B). Esto se corrobora en el plano de curvas de igual profundidad de los depósitos profundos que viene consignado en la V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos; Fig. 13. Esto se visualiza en la magnitud de las expansiones relativas totales que se muestran en la Tabla 8.3.1. Si bien hay discrepancias locales, por ejemplo en el caso de Fray Servando y Chimalpopoca y en los lados Oriente de Correspondencia - Santiago y L. Boturini, la tendencia es a crecer hacia el centro de la ciudad.

El caso de Fray Servando es diferente a todos los demás, pues tiene edificios muy grandes y pesados al lado, los cuales han afectado substancialmente el comportamiento; Fig. 14.IV.10. El caso de Chimalpopoca también es diferente, ya que junto a él y paralelo a Tlalpan está el paso de Lucas Alamán, el cual al desarrollarse las expansiones afectaron los puntos que se vienen utilizando como referencia, dando como consecuencia expansiones relativas totales menores que las que se hubieran presentado -- sin esta interferencia (véase Figs. 13.1.9 y 14.IV.9.; Anexo III y IV).

El caso de Correspondencia - Santiago es por demás extraño, pues en el lado Oriente prácticamente no se observan expansiones, mientras que en el Poniente, éstas son en promedio de 47 cms.; Fig. 14.IV.4 (Anexo IV). -

El hundimiento regional desde 1959 a 1975 es bastante parecido en ambos lados (120 - 125 cms. en el Oriente y 114 cms. en el Poniente; misma figura). La diferencia que sí es marcada en ambos lados es la magnitud de las construcciones. En el lado Oriente muro Sur hay un edificio (25 x 15 m.) de 5 niveles a la salida del túnel, después y hasta el fin de la rampa -- hay cuatro edificios de tres niveles, un terreno baldío la calle y una casa de planta baja y un nivel. En el muro Norte se puede suponer que la magnitud promedio de las construcciones es de un nivel. En el lado Poniente se puede suponer que la densidad promedio es de planta baja y un nivel.

El caso del lado Oriente es muy extraño pues si bien el edificio de 5 niveles afecta el comportamiento, no lo hace de una forma tan radical. Esto se dice tomando en consideración las expansiones del paso Niños H. de Chapultepec - Sur 124, cuyas características geométricas son muy parecidas y las condiciones de carga guardan cierta semejanza; en este caso la diferencia entre expansiones promedio en uno y otro lado es de 12%, siendo menores en el lado con cargas fuertes (5 niveles); Fig. 14.IV.3, Anexo IV. En ambos pasos las expansiones son del mismo orden; Tabla 8.3.1.

Por otra parte, el hundimiento regional de 1959 a 1975 es bastante parecido en ambos lados, no como ocurrió en el caso de L. Boturini; considerando esto, es todavía más difícil la explicación del fenómeno.

A continuación se dan los hundimientos obtenidos por hundimiento regional:

H u n d i m i e n t o s			
	CAVM cm.	Nivelación cm.	Diferencia cm.
Oriente	139.15	125 - 120	14.5 - 19.15
Poniente	139.15	114	25.5

Después de considerar toda la información que precede, se concluye -- que otros factores han intervenido en este comportamiento fuera de lo --- usual; posiblemente sea consecuencia de alguna característica local del - subsuelo, que dada la información disponible no se puede determinar.

Por lo que respecta al paso en L. Boturini, el problema ya fué trata- do en el inciso 8.3.2.

En la Figura 9.1.1, se muestra la magnitud de las expansiones medidas en campo en el sentido R. de Churubusco - Zona Céntrica de la Ciudad, ade más se da el ancho de los pasos ya que es un hecho que las expansiones -- crecen con el ancho de la excavación. En algunos pasos se pusieron las ex pansiones del lado (Oriente o Poniente) que estaban más en concordancia - con las de los otros pasos (esto se logró principalmente donde las cons-- trucciones no son mayores de planta baja y un nivel).

Por último cabe mencionar lo siguiente: sabemos que el espesor de la primera formación arcillosa crece hacia la zona céntrica de la ciudad. Se sabe también que la intensidad de los abatimientos piezométricos crece en la misma dirección; por tal razón, las expansiones relativas totales obte nidas por medio de la teoría, guardan una cierta relación con las medidas en los diferentes pasos siguiendo la misma dirección. Esto es debido a -- que la ley de pérdidas de carga se consideró invariable en todos los pa-- sos; por ejemplo, las expansiones promedio teóricas en Xola - Napoleón -- son mayores que las medidas, mientras que en L. Boturini ocurre lo contra rio, las teóricas son menores. Lorenzo Boturini está aproximadamente 2.5 km. más cerca de la zona céntrica que Xola - Napoleón.

9.2) Diferencia entre las expansiones relativas totales δe_{rt} y loca-- les δe_{in}

Aun cuando en ciertos pasos donde existen edificaciones pesadas la ex pansion relativa total resulta pequeña, la expansión local δe_{in} (con res- pecto a puntos inmediatos en la banquetta) sí es considerable. Para visua- lizar mejor este fenómeno, se ha elaborado la Tabla 9.2.1; en ella se han escogido pasos donde este comportamiento es manifiesto. En la mayoría de ellos existe un lado (Oriente o Poniente) donde hay edificios entre cua--

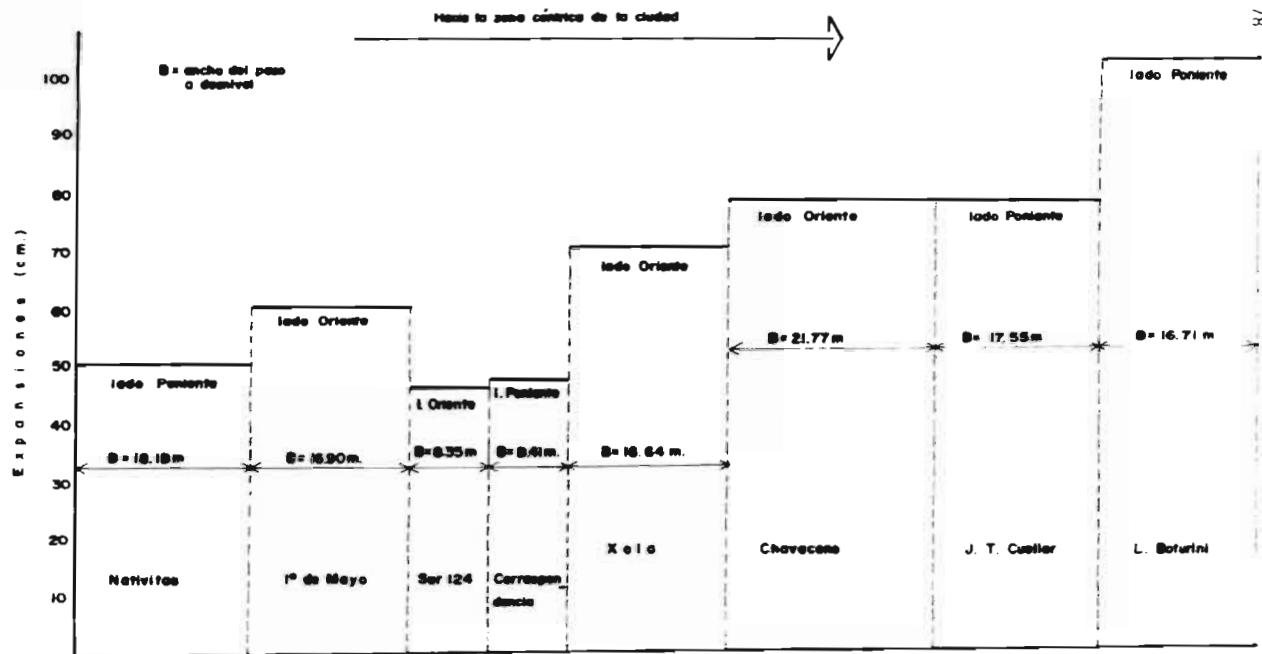


Fig. 9.1.1. EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES DE DIFERENTES PASOS A DESNIVEL, EN EL SENTIDO SUR - NORTE

PASO A DESNIVEL		LADO ORIENTE		LADO PONIENTE	
		Muro Norte	Muro Sur	Muro Norte	Muro Sur
1º DE MAYO - RAMOS MILLAN.	δe_{rt}	60	60	--	60
	δe_{in}	<u>109</u>	<u>73</u>	61	51
CORRESPONDENCIA - SANTIAGO	δe_{rt}	0	3	51	42
	δe_{in}	<u>19</u>	<u>39</u>	31	35
XOLA - NAPOLEON	δe_{rt}	66	70	54	48
	δe_{in}	59	58	58	76
CHAVACANO - J. PEON CONTRERAS	δe_{rt}	73	83	70	65
	δe_{in}	45	28	<u>53</u>	<u>53</u>
LORENZO BOTURINI	δe_{rt}	40	35	113	91
	δe_{in}	45	43	53	46
FRAY SERVANDO	δe_{rt}	25	36	--	--
	δe_{in}		<u>62</u>	<u>74</u>	<u>67</u>

Notas: El lado subrayado tiene edificaciones entre 4 y 6 niveles.

TABLA 9.2.1 EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES δe_{rt} Y LOCALES δe_{in} .

tro y seis niveles en la confluencia de Tlalpan y la calle perpendicular a ésta, la del paso en cuestión.

En el caso de Xola no existe esta condición, (solamente en el lado Poniente - Sur, hay un edificio de 7 niveles a 20 m. de distancia) sin embargo, el lado Poniente está más cargado que el Oriente y esto se refleja en la comparación de expansiones. En esta tabla se puede observar que --- cuando hay edificios pesados la expansión local δe_{in} es mayor que la relativa total δe_{rt} , excepto en el caso del paso Chavacano - J. Peón Contreras que es menor, pero a la vez es mayor que la del lado Oriente que no tiene construcciones pesadas.

En cambio cuando las construcciones son sencillas la δe_{rt} es mayor que la δe_{in} .

En el caso de L. Boturini que ya fue tratado en el inciso 8.3.2, se puede decir que el comportamiento del lado Poniente se parece más al caso de construcciones ligeras, mientras que el Oriente (por la comparación de δe_{rt} y δe_{in}) está entre el caso de construcciones pesadas y ligeras. - Lo extraño en este caso como se había visto antes, es que las expansiones δe_{rt} son pequeñas comparadas con las del lado Poniente.

Algo que parece confirmarse es el hecho de que cuando hay construcciones del tipo descritas, las expansiones relativas totales se ven disminuidas comparándolas con las obtenidas en donde las construcciones son ligeras (en G. R. Millán no se cumple).

9.3) Aproximaciones en base a los hundimientos obtenidos por nivelación y por curvas de la C.A.V.M.

Un punto importante que hay que destacar, es que los hundimientos que se obtuvieron por medio de la nivelación para el período que comprende la edad de la estructura, siempre son menores que los obtenidos por las curvas de la Comisión de Aguas del Valle de México; a continuación se muestran:

P a s o	Hundimiento (cm.)		Diferencia
	CAVM	Nivelación	cm.
Xola - Napoleón	136	114-122(1)	22-14
L. Boturini	166	148-165(2)	18-1

- (1) lado Oriente
(2) lado Poniente

Esto puede ser debido a que en los hundimientos que reporta la ----- C.A.V.M., no sólo se incluyen los debidos al bombeo sino también los de - las construcciones que hay en las zonas de los pasos (los hundimientos se encontraron por interpolación de las curvas de igual hundimiento).

Se supone que los puntos que se eligieron fuera del área de influen-- cia de la cimentación (en el parapeto, al final del paso) y de cuya nive- lación se obtuvieron los hundimientos arriba citados, pueden estar ligera- mente afectados por las construcciones vecinas debido a que la separación es tan sólo de 6 a 8 m.

Como es sabido, los diferentes grados de consolidación que se obtuvie- ron en cada paso, corresponden a los hundimientos obtenidos por medio de la nivelación y por medio de los datos de la C.A.V.M.

Se sabe que las expansiones medidas en el campo se obtuvieron con res- pecto a los puntos en el parapeto fuera del área de influencia. Por otro lado sabemos que las expansiones relativas totales obtenidas de la teoría, se obtuvieron considerando el hundimiento regional a partir de las curvas de la C.A.V.M. y de la nivelación. El hundimiento obtenido de la nivela- ción fue precisamente el que experimentaron los puntos alejados sobre el parapeto, que se mencionan arriba; por tal razón, la mejor aproximación - en las expansiones obtenidas aplicando la teoría (con respecto a las medi- das en campo), se debería obtener para las calculadas a partir de los da- tos de la nivelación. Lo mismo debería ocurrir en el caso de los grados -

de consolidación obtenidos aplicando la teoría. En la Tab. 9.3.1, se muestran las aproximaciones del grado de consolidación (obtenido de la teoría) para $t =$ edad de la estructura, con respecto a los obtenidos por la nivelación y por las curvas de la C.A.V.M.

P a s o	Grado de Consolidación	Grado de Consolidación teórico	Edad de la estructura	Aproximación
	U %		años	%
XOLA - NAPOLEON	56	75	15.5	34
	65	75	15.5	15
LORENZO BOTURINI	65	81	15.84	25
	73	81	15.84	11

Tabla 9.3-1 Aproximaciones de los grados de consolidación teóricos con respecto a los obtenidos en campo.

En seguida se hace un resumen de las aproximaciones tanto de las expansiones como de los grados de consolidación en los dos pasos analizados.

A P R O X I M A C I O N E S %			
P a s o	Forma de obtener el hundimiento	Expansión ($\delta_{e_{rt}}$)	Grado de Consolidación
XOLA - NAPOLEON	De nivelación (U = 56%)	- 9, + 17	34
	De C.A.V.M. (U = 65%)	+ 7, + 28	15
LORENZO BOTURINI	De nivelación (U = 65%)	- 9, - 19	25
	De C.A.V.M. (U = 73%)	-2.5, - 11	11

Tabla 9.3.2 Aproximaciones en las expansiones y en los grados de consolidación (lados representativos).

De los resultados de esta tabla se concluye los siguientes:

- a) La única aproximación que concuerda con lo que se ha dicho en los párrafos que preceden, es la referente a las expansiones en Xola.
- b) En el caso de Xola, la aproximación para los grados de consolidación no concuerda con lo que se esperaba.
- c) En el caso de L. Boturini, son congruentes entre ellas pero incongruentes con lo que se esperaba (las que se obtienen con datos de la nivelación no son las mejores).

En relación a lo que precede un comentario es pertinente: son más confiables las expansiones relativas totales obtenidas por medio de la teoría, que los grados de consolidación obtenidos aplicando también ésta. La razón es que los parámetros del suelo excepto el coeficiente de consolidación, se obtuvieron para cada estrato en función de su contenido de agua, mientras que, el coeficiente de consolidación se obtuvo para el promedio del contenido de agua de los diferentes estratos comprendidos entre dos drenes consecutivos. Como se sabe, este coeficiente es bastante susceptible al cambio en contenido de agua natural.

Un hecho que hace que se objeten los grados de consolidación obtenidos en L. Boturini es el siguiente: para hacer el estudio en este caso, se recurrió a seis sondeos localizados en la zona contigua y cuya distancia fluctúa entre 1 1/2 y 2 1/2 cuerdas. Entre éstos se eligieron dos que eran representativos de las características medias de todos; de 0 - 25 m., se utilizó uno de la compañía G.H.I. y de - 25 a 45 m., uno de la compañía SOLUM. En uno de ellos se localiza un dren a - 23 m. (se trata de una arena limosa con $w = 30\%$); en el otro sondeo no existe tal dren. De los cuatro sondeos restantes, uno solamente tiene perfil estratigráfico a una profundidad mayor que donde se supone existe el dren; en éste, a - 24 m. existe un limo con arena y materia orgánica con $w = 60\%$.

Lo expuesto arriba no ofrece bases sólidas, sin embargo, por falta de mayor información se analizó considerando que si existía este dren y sabiendo de antemano que puede haber discrepancia con la realidad.

Por otra parte sabemos cuantitativamente por Tabla 5.1.1, que las pérdidas de carga en L. Boturini han sido más importantes y más antiguas (ya que está más cerca de la zona céntrica) que las que han ocurrido en Xola - Napoleón. Por tal razón es de esperarse, que el grado de consolidación alcanzado desde la construcción hasta Mayo de 1975, sea mayor en L. Boturini; los resultados así lo demuestran:

$$\begin{array}{ccc} (56 - 65\%) & < & (65 - 73\%) \\ \text{Xola} & & \text{Boturini} \end{array}$$

Los grados de consolidación obtenidos por medio de la teorfa, también guardan esta relación:

$$75\% (\text{Xola}) \quad < \quad 81\% (\text{Boturini})$$

En Xola - Napoleón los drenes están bien localizados, se infiere entonces por la comparación de las expresiones que preceden, que las condiciones de drenaje que se consideraron el L. Boturini no se apartan mucho de la realidad.

9.4) Preconsolidación en la segunda formación arcillosa

Para conocer el efecto que tiene en las expansiones la carga de preconsolidación en la segunda formación arcillosa, se calcularon éstas para diferentes grados de consolidación de esta segunda formación. Se obtuvo también el grado de consolidación resultante, tanto de la formación arcillosa superior como de la inferior, como se ha venido haciendo. En la siguiente tabla se dan los resultados, considerando para la demostración el caso Xola - Napoleón (véase inciso 11.A.11; Anexo I.A).

GRADO DE CONSOLIDACION		Expansión rela tiva total, -- teórica. $\delta_{e_{rt}}$	Aproximación promedio, -- con respecto a $\delta_{e_{rt}}$ me- dida en cam- po.
(1) En la 2a. forma ción arcillosa.	Considerando los diferentes tiem- pos de consolida ción de la 1a. y 2a. formación ar- cillosa.		
%	%	cm.	%
0 (2)	56 - 65	61.70 - 72.80	- 1
25	65 - 74	72.80 - 83.49	15
50	75 - 84	85.57 - 95.70	33.5

(1) Se refiere a la preconsolidación en esta formación.

(2) Es la condición de normalmente consolidada.

Tabla 11.A.11.1 Aproximaciones en la expansión relativa total para los diferentes grados de consolidación (preconsolidación) supuestos en la 2a. formación arcillosa.

De los resultados de la Tabla se concluye que los siguientes términos son sensibles al grado de consolidación (preconsolidación) que se suponga en la 2a. formación arcillosa (en la fecha en que se construyeron los pasos):

- a) El grado de consolidación del conjunto 1a. más 2a. formación arcillosa.
- b) Las expansiones relativas totales resultantes.

También se concluye que las variaciones menores (con respecto a las expansiones medidas en campo) se logran suponiendo la 2a. formación arcillosa como normalmente consolidada. Esto concuerda con la hipótesis de partida.

De lo que precede se puede decir que el hecho de considerar la segunda formación arcillosa como normalmente consolidada, está bastante apegado a la realidad y que no es fuente de error considerable.

9.5) Pasos de peatones

En la zona estudiada, así como existen pasos a desnivel para vehículos, también existen para peatones. Estos se localizan aproximadamente a 20 m.; esta distancia está medida entre el muro externo del túnel y el muro externo más próximo del paso de peatones. Están compuestos de una zona de túnel y dos zonas de escaleras, ya sea para entrar o salir.

La sección interior del túnel es de aproximadamente 5.90 m. de ancho por 2.50 m. de altura. La profundidad de excavación es aproximadamente 3.50 m.

Para el caso de Xola - Napoleón, se consideró esta descarga en el análisis del paso para vehículos. La descarga neta en la zona del túnel que es la más importante, resultó de 2.6 T/m^2 ; sin embargo, dado que la distancia entre túneles es considerable, el efecto en las expansiones resultó insignificante (véase Fig. 11.A.1.6 e inciso 11.A.2.1). Por tal motivo, en los siguientes pasos para vehículos que se analizaron, no se tomó en cuenta esta descarga.

10. CONCLUSIONES

Si una cimentación sobrecompensada se ve afectada por un abatimiento de presiones piezométricas, se genera un movimiento relativo entre puntos dentro y fuera del área de influencia de la cimentación (aparente expansión). Esto es debido a que los esfuerzos de compresión producidos por el abatimiento se desarrollan en la siguiente forma:

- a) En los puntos fuera del área: en la rama virgen de la curva de - compresibilidad (se supuso el suelo normalmente consolidado).
- b) En los puntos dentro del área: en la rama de recompresión - descarga y en la rama virgen.

La diferencia en asentamientos entre los puntos a y b, es el movimiento relativo. A este movimiento principalmente se debe que la expansión de cimentaciones sobrecompensadas en suelos sin y con hundimiento regional, sea diferente.

Existen tres factores principales que están estrechamente ligados a este movimiento relativo:

- 1) La magnitud de la descarga.
- 2) La magnitud y profundidad hasta la cual actúa el abatimiento piezométrico.
- 3) La compresibilidad de los estratos.

En la medida que estos factores son importantes, en esa misma medida lo será el movimiento relativo. En el caso de estos pasos a desnivel en la ciudad de México (Fig. 2.2.1), los tres factores son muy importantes.

En la Fig. 10.1, se presenta el incremento teórico en porciento de la expansión relativa total, al tomar en cuenta el hundimiento regional.

A continuación se hará una descripción de los resultados y conclusiones a que se llegó en este estudio.

10.1) Aproximaciones

En la Tabla 10.1.1, se muestran las aproximaciones de las expansiones relativas totales y los grados de consolidación obtenidos de la teoría -- (con respecto a las expansiones medidas en campo y los grados de consolidación⁽¹⁾).

Respecto a las expansiones, son representativos el lado Oriente de Xola - Napoleón y el Poniente de Lorenzo Boturini.

En el caso de Xola - Napoleón, se concluyó esto, tomando en cuenta -- dos hechos:

- a) Las construcciones en el lado Oriente son sencillas (casas de -- una y dos plantas).
- b) Las expansiones medidas en este lado son congruentes con las que se midieron en pasos contiguos.

Esto quedó corroborado en la mejor aproximación que se obtuvo en el -- lado Oriente.

El lado Poniente no se consideró representativo, porque en este lado las construcciones son más importantes; además no hay congruencia con las expansiones medidas en los pasos contiguos (esto se ve en detalle en el -- inciso 8.3.1).

(1) Uno a partir del hundimiento regional obtenido por medio de la nivelación y el otro por medio de los datos de la C.A.V.M.

- $d_{e,t}$ = EXPANSION RELATIVA TOTAL.
 $d_{e,0}$ = EXPANSION SIN CONSIDERAR HUNDIMIENTO REGIONAL.
 ①, ①' = SE OBTUVIERON EMPLEANDO LA EXPRESION EN LA QUE SE SUPONEN IGUALES LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA.
 ②, ②' = SE EMPLEO LA EXPRESION QUE CONSIDERA LOS DIFERENTES TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA.

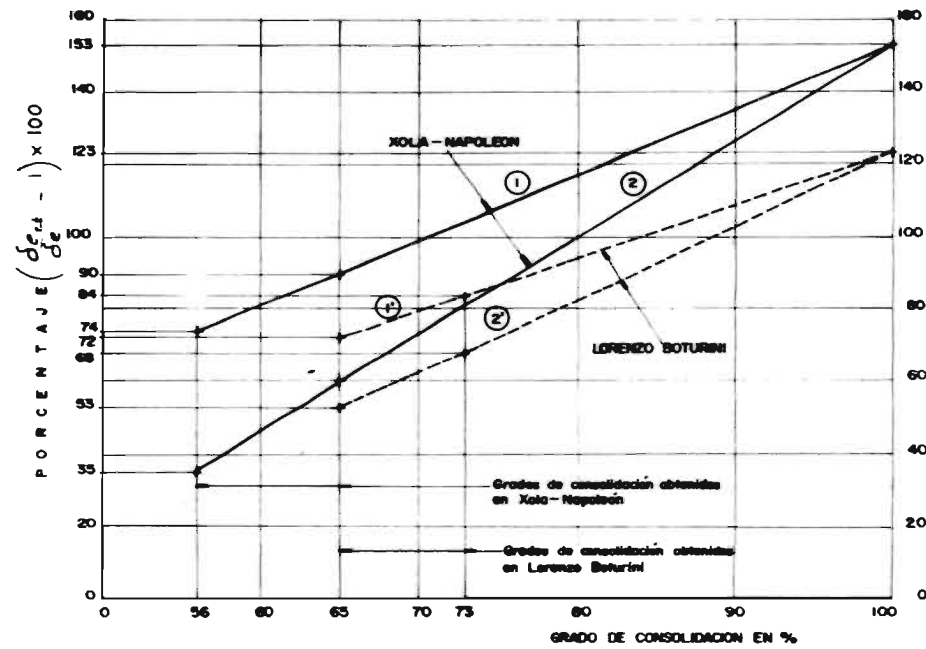


Figura : 10 . 1 . RELACION TEORICA DE GRADOS DE CONSOLIDACION-INCREMEN-
 TO DE EXPANSION RELATIVA TOTAL POR HUNDIMIENTO REGIONAL .

EXPANSIONES					
		APROXIMACIONES EN %			
PASO A DESNIVEL	(1) GRADO DE CONSOLIDACION. (%)	SUPONIENDO IGUAL EL TIEMPO DE CONSOLIDACION EN 1a. y 2a. FORMACION ARCILLOSA.		CONSIDERANDO LOS DIFERENTES TIEMPOS DE CONSOLIDACION EN 1a. y 2a. FORMACION ARCILLOSA.	
		ORIENTE	PONIENTE	ORIENTE	PONIENTE
XOLA - NAPOLEON	56	17	53	-9	19
	65	28	67	7	40
LORENZO BOTURINI	65	130	-9	104	-19
	73	145	-2.5	124	-11

GRADOS DE CONSOLIDACION			
PASO A DESNIVEL	(1) GRADO DE CONSOLIDACION (U%)	GRADO DE CONSOLIDACION TEORICO	APROXIMACION (%)
XOLA - NAPOLEON	56	75	34
	65	75	15
LORENZO BOTURINI	65	81	25
	73	81	11

(1) Obtenidos de la nivelación y de hundimientos de 1a C.A.V.M.

(2) No se consideran representativos.

TABLA 10.1.1 APROXIMACIONES DE LAS EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES Y GRADOS DE CONSOLIDACION.

En el caso de Lorenzo Boturini, se supuso que el lado Poniente era el representativo, al considerar lo siguiente:

- a) Las construcciones no son muy importantes (en promedio casas de planta baja y un nivel).
- b) Hay congruencia con las expansiones medidas en pasos contiguos.
- c) El hundimiento regional obtenido por la nivelación y por las curvas de igual hundimiento de la C.A.V.M., son muy parecidos.

Esto quedó confirmado al lograrse mejor aproximación en este lado.

El lado Oriente, no se consideró representativo ya que el hundimiento regional obtenido por la nivelación y por las curvas de la C.A.V.M. divergen mucho (0.80 m.). Además, no existe congruencia con las expansiones medidas en pasos contiguos. Todo esto se ve con detalle en el inciso 8.3.2. Dada la información disponible y los alcances de este estudio, no se han podido explicar ambos hechos.

En los lados representativos, la aproximación en las expansiones varió entre - 9% y + 28%, en Xola y entre - 2.5% y - 19% en L. Boturini.

Por lo que respecta a los grados de consolidación, ésta varió en Xola, entre 15% y 35% y en L. Boturini entre 11% y 25%.

Se estima que son más confiables las aproximaciones obtenidas para las expansiones, que para los grados de consolidación. Esto se debe a que los parámetros del suelo que se emplearon para obtener las expansiones -- (índices de compresibilidad y relación de vacíos inicial) se obtuvieron -- para cada estrato, en función de su contenido natural de agua. En cambio, para obtener el grado de consolidación, el parámetro (coeficiente de consolidación) se obtuvo para el promedio de contenido de agua de los diferentes estratos comprendidos entre dos drenes consecutivos (estos drenes se refieren, a las caras por donde se drena un estrato sujeto a consolidación). Como es sabido, el coeficiente de consolidación es muy susceptible al cambio en contenido de agua natural.

Además de la limitación en el coeficiente de consolidación que se menciona en el párrafo anterior, existe otra en el caso de Lorenzo Boturini. No en todos los sondeos localizados cerca de este paso a desnivel (entre $1\frac{1}{2}$ y $2\frac{1}{2}$ cuerdas) se encuentra una arena limosa (a - 23 m.). Este pequeño estrato se consideró como dren, para calcular el tiempo de consolidación de la parte de la primera formación arcillosa afectada por el abatimiento (véase inciso 9.3 y 11.B.6). Estas dos limitaciones hacen que en general y particularmente el grado de consolidación teórico obtenido en Lorenzo Boturini sea objetable.

Por otra parte, sabemos cuantitativamente por Tab. 5.1.1, que las pérdidas de carga en L. Boturini han sido más importantes y más antiguas (está más cerca de la zona céntrica) que las que han ocurrido en Xola - Napoleón; por tal razón es de esperarse, que el grado de consolidación alcanzado desde la construcción (1959) hasta la fecha en que se hizo el estudio (1975) sea mayor en Lorenzo Boturini; los resultados así lo demuestran:

$$\begin{array}{ccc} (56\% - 65\%) & < & (65\% - 73\%) \\ \text{Xola} & & \text{Boturini} \end{array}$$

Los grados de consolidación obtenidos por medio de la teorfa, también guardan esta relación:

$$75\% (\text{Xola}) \quad < \quad 81\% (\text{Boturini})$$

En Xola - Napoleón, los drenes están bien localizados, se infiere por la comparación de las dos expresiones que preceden, que las condiciones de drenaje que se consideraron en L. Boturini, no se apartan mucho de la realidad.

El haber encontrado el grado de consolidación teórico (para $t =$ edad de la estructura) y compararlo con los obtenidos por medio de la nivelación y las curvas de la C.A.V.M., obedeció a que se quería tener una doble corroboración (la primera fue, el comparar las expansiones relativas totales teóricas y las medidas en el campo). Sin embargo, conociendo las limitaciones del coeficiente de consolidación y de los drenes en el caso

de L. Boturini, lo que se perseguía era encontrar una aproximación, que - si bien fuera tosca, diera la seguridad que lo que se estaba haciendo tenía sentido. De acuerdo a las aproximaciones obtenidas (entre 11 y 34%) - se estima que se cumplió el cometido.

Respecto a la obtención de la expansión relativa total, es prudente - apuntar lo siguiente: siempre se pensó que la expresión que toma en cuenta los diferentes tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa, daría mejores resultados por ser más racional. Sin embargo, esto sólo se cumple en Xola - Napoleón; en Lorenzo Boturini, la mejor aproximación se logra con la expresión que supone iguales los tiempos de consolidación de ambas formaciones arcillosas (véase Tabla 10.1.1).

10.2) Evolución de las expansiones con el tiempo

Sabemos que la expansión relativa total (δe_{rt}), es la suma de los siguientes términos: ($\delta e_{rt} = \Delta \delta e + \Delta \delta a$).

- a) La expansión sin considerar hundimiento regional, modificada por el abatimiento piezométrico ($\Delta \delta e$).

$$\Delta \delta e = (\delta e - \delta a_e)$$

δe = expansión sin considerar hundimiento regional.

δa_e = corrección a las expansiones al considerar el abatimiento piezométrico.

- b) El movimiento relativo (aparente expansión) entre puntos fuera y dentro del área de influencia debido al abatimiento piezométrico

$$\Delta \delta a = (\delta a_f - \delta a_d).$$

δa_f = asentamiento en puntos fuera del área de influencia de la cimentación debidos al abatimiento.

δa_d = lo mismo, solamente que se refiere a puntos dentro del área de influencia.

A continuación se muestran las Figs. 10.A.9.1 y 10.A.9.2; en ambas se

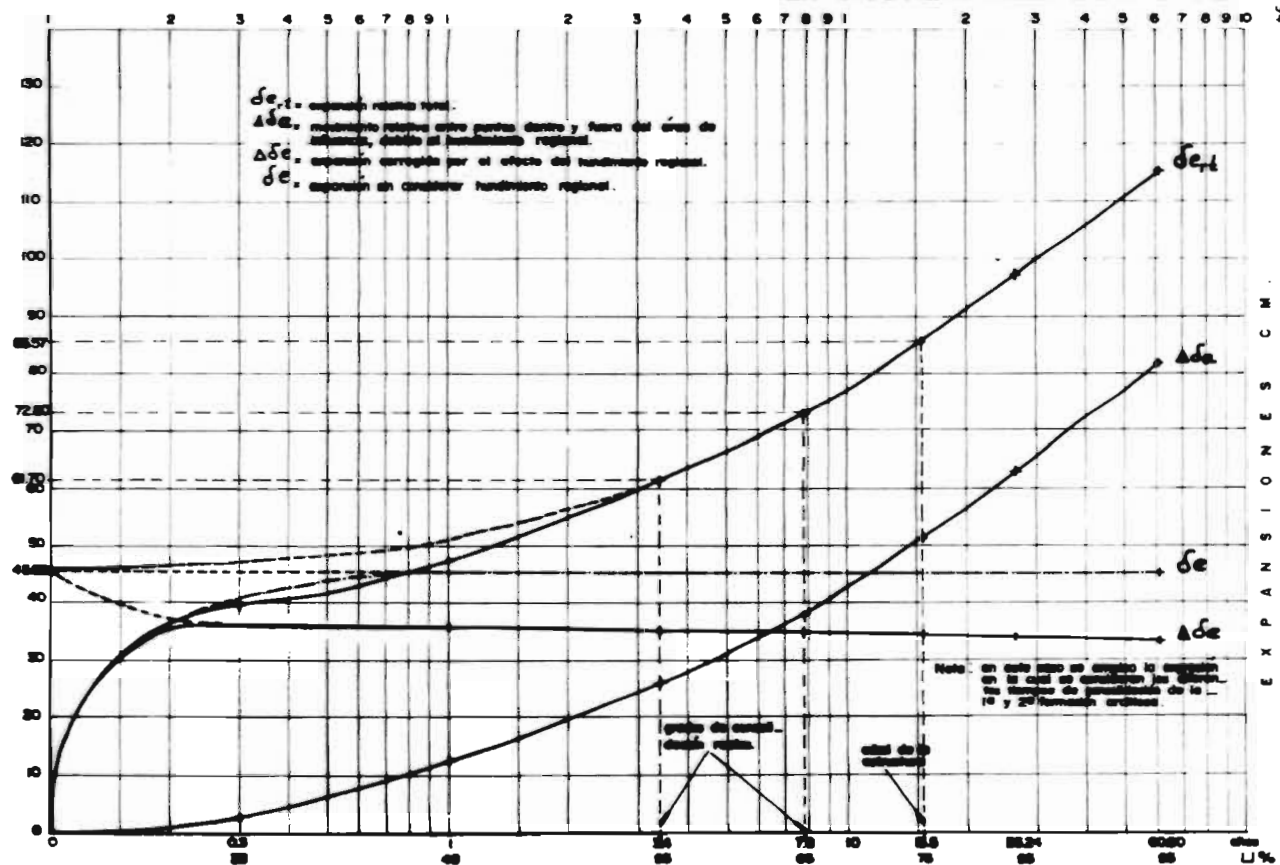


Fig.: 11. A. 9. 1. VARIACION DE LA EXPANSION RELATIVA TOTAL Y SUS COMPONENTES ($\Delta\delta_e$ y $\delta_{e,t}$) CON RESPECTO AL TIEMPO Y EL GRADO DE CONSOLIDACION.

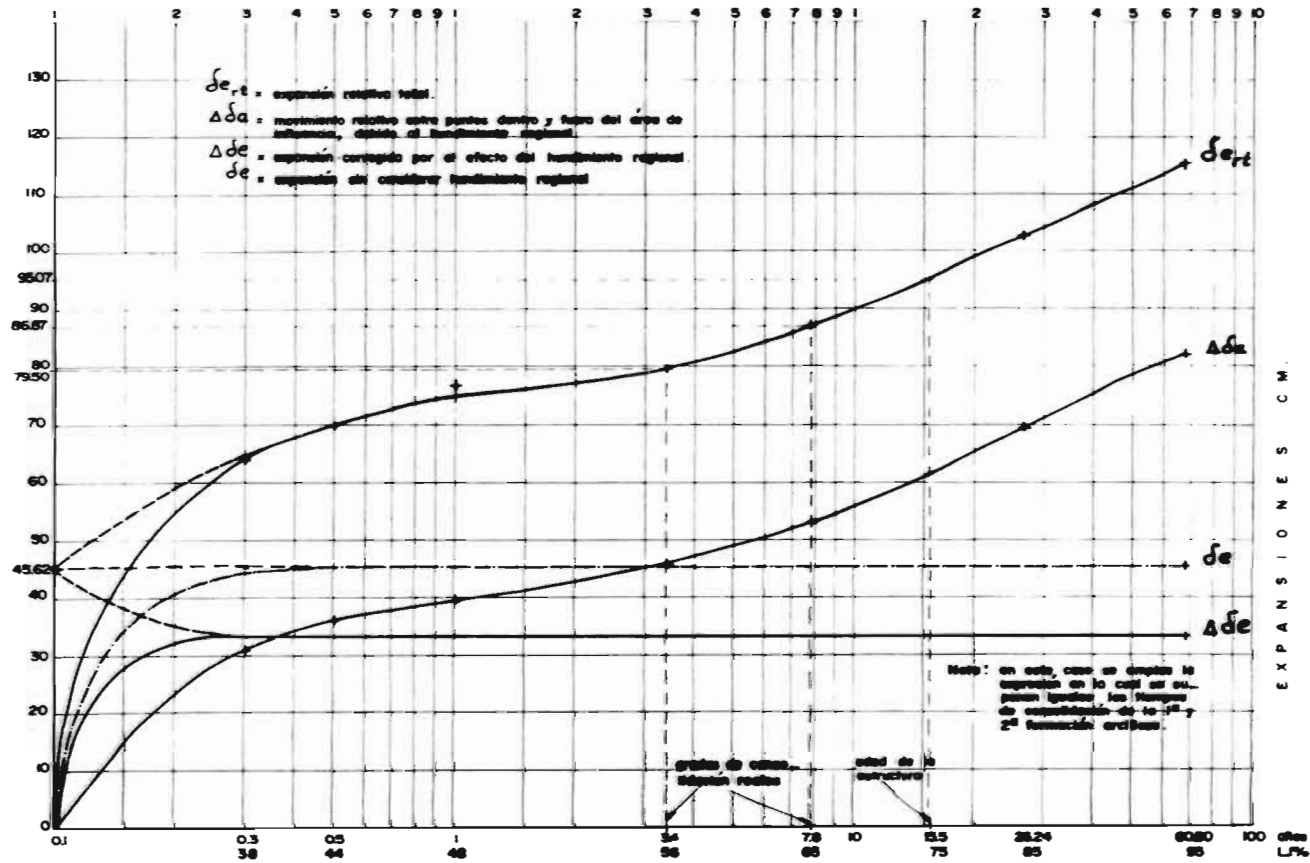


Fig.: II. A. 9. 2. VARIACION DE LA EXPANSION RELATIVA TOTAL Y SUS COMPONENTES (Δde y Δda) CON RESPECTO AL TIEMPO Y EL GRADO DE CONSOLIDACION

puede observar la evolución con el tiempo (o los grados de consolidación) de la expansión relativa total.

En la primera, se empleó la expresión que considera los diferentes -- tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa; en la segunda, se supuso que ambas formaciones tenían el mismo tiempo de consolidación (véase incisos 7.4.5 y 7.4.6). En vista de que la primera fue el resultado de un análisis más exhaustivo, se estima que ésta proporciona resultados más apegados a la realidad; por tal razón, en base a ella - se hará la descripción de la evolución de las expansiones.

A continuación se dan ambas:

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (C_1 + C_2)] + \{ U\% \delta a_f - U\% [\delta a'_d - (C_1 + C_2)] \}$$

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [\delta e - (U\% C_1 + C_2)] + \{ (\mu\% \delta a'_f + \delta a''_f) - \\ - \{ (\mu\% [\delta a'_d - (C_1 + C_2)] + (1 - U\%) C_1 \} + \delta a''_d \}$$

Esta última es la que se empleará; aun cuando se refiere al paso Xola - Napoleón, es representativa del comportamiento cualitativo de los demás.

El significado de las literales es el siguiente:

δe = expansión sin considerar hundimiento regional.

δa_f = asentamiento por abatimiento en puntos fuera del -- área de influencia.

$\delta a'_f, \delta a''_f$ = igual, únicamente que se refiere a la contribución en el asentamiento de 1a. y 2a. forma arcillosa.

$\delta a'_d$ = asentamiento por abatimiento (sin corregir) en puntos dentro del área de influencia.

$\delta a'_d, \delta a''_d$ = igual, solamente que se refieren a la 1a. y 2a. formación arcillosa.

C_1, C_2 = correcciones a las expansiones y a los asentamientos.

$U\%$ = grado de consolidación.

$\mu\%$ = porcentaje de contribución en el asentamiento de la la. formación arcillosa, para el grado $U\%$ considerado.

A continuación se hará una observación respecto a una condición que no satisfacen ambas ecuaciones:

Para $t = 0$, $U = 0$

$$\delta e_{rt} = \delta e \text{ (véase inciso 11.A.7.2; Anexo I.A)}$$

En la realidad, para esta condición la expansión relativa total debe valer:

$$\delta e_{rt} = 0$$

Lo que sucede es que como la expansión (δe) ocurre con bastante mayor rapidez que los asentamientos δa_f y δa_d (véase inciso 5.4), estas ecuaciones no son válidas para $t = 0$, pero sí para un tiempo pequeño. En base a esto, en la parte inicial del proceso de expansión - consolidación, se ajustaron las curvas; con líneas punteadas se muestran las curvas sin corregir. En la figura, el ajuste se hizo a partir de $t = 0.5$ años aproximadamente; este es el tiempo teórico que requiere una cimentación sobrecompensada para alcanzar la mayor parte de su expansión, sin tomar en cuenta el hundimiento regional. De acuerdo al comportamiento de una cimentación sobrecompensada en la zona del lago, (véase inciso 5.4) - este tiempo resultó de aproximadamente 3 años.

Tomando en cuenta estas limitaciones, se procederá a describir las características de esta figura (11.A.9.1):

- Al inicio del proceso, la δe_{rt} es muy importante; esto es debido prácticamente a $\Delta \delta e$. Después del inicio, δe_{rt} es prácticamente debida a $\Delta \delta a$.
- Hasta donde la pendiente de δe_{rt} es muy pronunciada ($t = 0.2$ -

años), el porcentaje alcanzado es 32%.

Para $t = 15.5$ años (edad de la estructura), se ha alcanzado un porcentaje de 74%; de $t = 15.5$ años a $t = 60.80$ años (final -- del proceso), falta por desarrollarse el 26% de δe_{rt} .

- c) Aproximadamente para $t = 6.5$ años, la contribución de $\Delta\delta e$ y $\Delta\delta a$ es igual; el porcentaje alcanzado de δe_{rt} para este tiempo es: 61%.
- d) Para la edad de la estructura ($t = 15.5$ años), la contribución de $\Delta\delta e$ y $\Delta\delta a$ en δe_{rt} es como sigue: $\Delta\delta e = 41\%$; $\Delta\delta a = 59\%$. Al final del proceso (60.80 años) ésta es:

$$\Delta\delta e = 29\% ; \Delta\delta a = 71\%$$

- e) Al final del proceso, la expansión sin tomar en cuenta el hundimiento regional, se ha visto disminuida por el efecto del abatimiento en 26%.

Se hace hincapié en que estas curvas son teóricas y por ende, dan sólo una idea cualitativa del mecanismo con que se desarrollan las expansiones.

Analizando la forma de las curvas $\Delta\delta a$ y δe_{rt} al final del proceso, se observa que éstas no tienden asintóticamente a una horizontal, como -- ocurre en un proceso de consolidación. Esta discrepancia es debida al hecho de haber supuesto una ley lineal para el movimiento relativo entre -- puntos fuera y dentro del área de influencia.

$$U\% (\delta a_f - \delta a_d)$$

Esto se hizo en vista de no disponer de datos a cerca de esta ley.

De todo lo que precede se concluye que en los primeros años del proceso, es cuando se lleva a cabo la mayor parte de la expansión relativa total. Para visualizar este fenómeno se presenta la Fig. 11.A.10.1; en ella se puede observar el porcentaje de expansión relativa total que se va al-

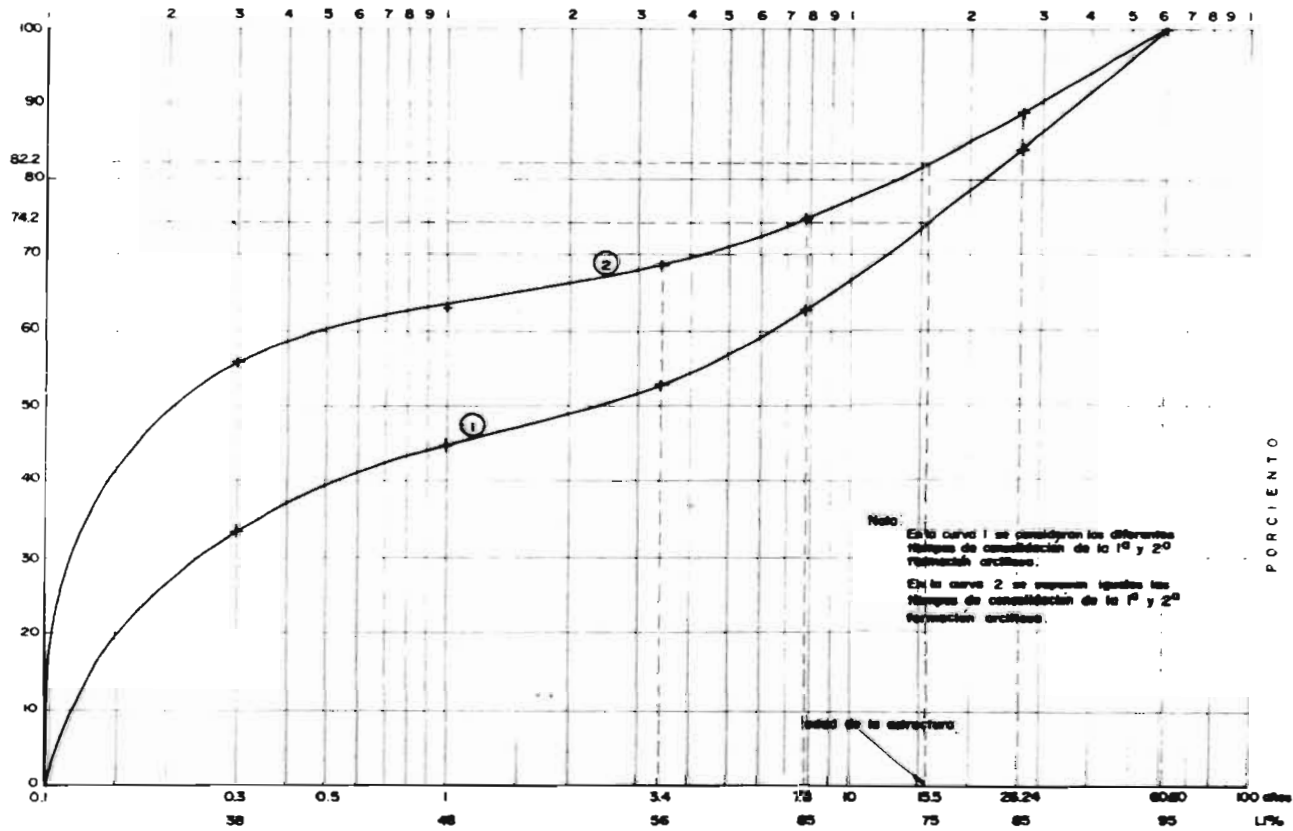


Fig. II. A. 10. 1. RELACION: PORCENTAJE DE EXPANSION RELATIVA TOTAL ALCANZADA, TIEMPO-GRADO DE CONSOLIDACION.

canzando, conforme transcurre el tiempo (o conforme se alcanzan diferentes grados de consolidación). Este porcentaje fue obtenido por medio de las dos expresiones para calcular la expansión relativa total. Al principio del proceso, la expresión que supone iguales los tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa, sobreestima las expansiones con respecto a la que toma en cuenta los diferentes tiempos de consolidación de estas formaciones (se estima que esta última está más apegada a la realidad; véase inciso 7.4.6). Conforme avanza el proceso de consolidación, la discrepancia entre ambas va siendo menor, hasta convertirse en cero al final del proceso.

De permanecer las mismas condiciones de abatimiento piezométrico durante el proceso de consolidación, faltarían por desarrollarse el 26% de las expansiones. Sin embargo, es bien conocida la tendencia que hay en la ciudad de México a disminuir el bombeo en los depósitos profundos; por lo tanto, se espera que las expansiones faltantes se desarrollarán sólo parcialmente.

Un hecho importante que hay que apuntar es el siguiente: todo lo que se ha dicho es cierto, siempre y cuando las pérdidas de presión no se manifiesten más arriba de - 15 m. (como se ha supuesto en este análisis). En caso contrario, los depósitos altamente compresibles experimentarían una reducción en las presiones piezométricas del agua y consecuentemente un fuerte hundimiento regional se observaría en la superficie. Este hecho provocaría un movimiento relativo adicional, entre puntos fuera y dentro del área de influencia de la cimentación.

10.3) Efecto de edificios

De los resultados de las mediciones directas en los pasos, parece confirmarse que cuando hay edificaciones de cierta consideración (de 4 a 6 niveles) en la confluencia de Tlalpan y la del paso en cuestión, la expansión relativa total (δe_{rt}) es menor que la que se obtendría para el caso de construcciones sencillas (cercano al ideal); véase inciso 9.2.

Para este mismo caso, localmente con respecto a puntos inmediatos en

la banqueta, se midió una expansión (δe_{in}) que puede ser tan importante o más que la relativa total. En la medida en que la intensidad de las construcciones se va haciendo importante, en la misma medida se va haciendo importante la δe_{in} .

En la Tabla 9.2.1, se muestran subrayados los lados de los pasos que tienen edificaciones pesadas y que muestran este comportamiento. Únicamente el de Chavacano - J. P. Contreras no muestra esta diferencia; sin embargo, sí muestra la tendencia a que en los lados cargados, la δe_{in} se acerca más a la δe_{rt} que en el lado con construcciones sencillas.

El hecho de que la expansión local (δe_{in}) sea importante cuando hay construcciones de consideración, se puede explicar cualitativamente de la siguiente manera:

Por un lado el paso tiende a levantarse y por el otro el edificio --- tiende a hundirse. Estos movimientos, en lugar de contrarrestarse, se suman. Si bien, los esfuerzos de expansión contrarrestan en alguna forma -- los de compresión y viceversa, la δe_{in} resulta mayor que si no hubiera edificaciones importantes.

De hecho, en todos los pasos se aprecia un movimiento ascendente importante, ya sea localmente o con respecto a puntos fuera del área de influencia.

Hay dos pasos, el de Correspondencia - Hidalgo y Lorenzo Boturini, cuyo comportamiento en el lado Oriente (expansión relativa total pequeña) - no se ha podido explicar, tomando como base los datos que se han recabado para este trabajo; ver incisos 8.3.2, 9.1 y 9.2.

10.4) Tendencia de las expansiones

Se sabe de la Tabla 5.1.1, que las pérdidas de carga crecen hacia la zona céntrica de la ciudad. También se sabe que el espesor de la primera

formación arcillosa crece en este mismo sentido, según se desprende de -- los perfiles estratigráficos de los sondeos (Figs. 11.A.1.7, 11.B.1.5, -- 11.B.1.6; Anexo I.A y I.B).

Tomando en cuenta esto, era de esperarse que las expansiones medidas en campo fueran mayores según esta misma dirección. En la Fig. 9.1.1, se puede apreciar la franca tendencia que tiene la expansión relativa total a crecer hacia el Norte. En ella se eligieron principalmente los lados -- de los pasos donde las construcciones no fueran mayores de planta baja y un nivel. En la misma figura se puede observar, que la expansión también es función del ancho del paso como era de esperarse. Xola - Napoleón y 1° de Mayo - Ramos Millán, tienen aproximadamente el doble de ancho que Correspondencia - Santiago y que Niños Héroes de Chapultepec - Sur 124; además los cuatro están en la misma zona. Los más anchos resultaron tener -- una expansión mayor entre 22 y 35%.

Otro hecho que confirma esta tendencia es lo siguiente: el haber considerado una única ley de pérdidas de presión constante con el tiempo, hace que las expansiones obtenidas por medio de la teoría, guarden una cierta relación con las medidas en los diferentes pasos (siguiendo la misma -- dirección hacia la parte céntrica). Por ejemplo las expansiones teóricas en Xola - Napoleón son mayores que las medidas en el campo. Como L. Boturini está más cerca de la zona céntrica, es de esperarse que la diferencia entre las teóricas y las medidas, sea menor que en Xola - Napoleón; -- no sólo ocurrió eso, sino que cambiaron de signo, las teóricas resultaron menores (véase inciso 9.1).

10.5) Comentarios sobre los resultados obtenidos empleando los hundimientos de la C.A.V.M. y los de la nivelación efectuada

Como es sabido, el grado de consolidación que ha experimentado el suelo, donde se encuentran los pasos, se obtuvo a partir de los hundimientos que se han llevado a cabo, desde la construcción de los pasos, hasta el -- momento en que se hizo el estudio. Se obtuvieron diferentes hundimientos, uno a partir de la nivelación y el otro de las curvas de igual hundimiento de la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.).

En los casos que se hizo el análisis, los hundimientos de la C.A.V.M. resultaron mayores que los de la nivelación. Esto es debido muy probablemente, a que los datos de C.A.V.M. incluyen en el hundimiento regional el efecto de las construcciones, mientras que, en el caso de la nivelación, se mide principalmente el asentamiento por hundimiento regional. Se dice esto, porque los puntos de referencia que se nivelaron, no están exentos de la influencia de la carga de las construcciones, pues están a una distancia entre 6 y 8 m.

Las expansiones que se midieron en el campo, se hicieron con respecto a puntos en el parapeto fuera del área de influencia; estos mismos puntos fueron los que se nivelaron para encontrar el hundimiento regional. Por tal razón, la mejor aproximación se debería obtener para los resultados calculados a partir de los hundimientos encontrados por medio de la nivelación. En el caso de Xola - Napoleón esto se cumple únicamente en el caso de las expansiones; en el caso de Lorenzo Boturini, no se cumple ni en las expansiones ni en los grados de consolidación (véase Tabla 9.3.2; inciso 9.3).

10.6) Comentarios sobre suelos con hundimiento regional

La diferencia en expansiones en un suelo con o sin hundimiento regional se debe principalmente a la contribución del término $U\%$ ($\delta a_f - \delta a_d$) (diferencia en asentamientos en puntos fuera y dentro del área de influencia por abatimiento). Esta contribución es la consecuencia de la diferencia en el estado de esfuerzos en puntos fuera y dentro de esta área; por lo tanto es prudente apuntar, que una forma cualitativa de saber qué tan grande va a ser esta contribución, es saber qué tan diferente es un estado del otro.

Esto se ve claro en el caso de los edificios pesados construidos en torno a los pasos. El hecho de introducir una sobrecarga en la zona de influencia, hace que en cierta medida se contrarresten los esfuerzos de expansión, haciendo que el nuevo estado de esfuerzos diverja menos con respecto al que se tiene en las zonas fuera del área de influencia (con construcciones ligeras). Es por esta razón, que donde existen edificios pesa-

dos cerca de los pasos, las expansiones relativas totales resultaron un poco menores (inciso 9.2).

El caso contrario sería que en la zona del paso no hubiera construcciones y fuera del área de influencia sí; al efectuar la excavación, el estado de esfuerzos entre puntos fuera y dentro de esta área, se hace más contrastante. Otro caso sería un descenso del nivel freático, pues mientras los esfuerzos efectivos no cambian por debajo del desplante de la cimentación (siempre y cuando el nivel freático inicial y final esté por arriba del nivel de desplante de la cimentación), éstos se incrementan en las zonas fuera del área de influencia.

Finalmente cabe apuntar, que si los efectos (ya sea de una excavación o de una sobrecarga) no se manifiestan por debajo de donde empieza a presentarse el abatimiento, el comportamiento relativo de la estructura con respecto a puntos fuera del área de influencia, será el mismo que si no hubiera hundimiento regional.

10.7) Preconsolidación de la segunda formación arcillosa

Considerando los registros de las estaciones piezométricas cercanas al tramo en estudio y las curvas de igual pérdida de carga a - 33 y - 50 m. en la fecha de la construcción de estos pasos, (ver inciso 5.2) se concluyó que la primera formación arcillosa no había sido afectada por el abatimiento; sin embargo, no se pudo afirmar lo mismo para la segunda formación; de hecho se supuso que sí había sido afectada por el abatimiento, pero en una forma ligera.

Para conocer el efecto que un determinado grado de consolidación (preconsolidación) en la segunda formación, tenía en los resultados, se hizo este análisis en Xola - Napoleón. Se supusieron diferentes grados de consolidación y se obtuvo la expansión relativa total resultante; la conclusión fue, que la mayor aproximación en las expansiones resultó para el caso de normalmente consolidada (ver Tabla 11.A.11.1; inciso 9.4).

10.8) Confirmaciones de preconsolidación

Existen dos estudios de mecánica de suelos posteriores a 1970, hechos en predios cercanos a los pasos. En ellos se graficó la presión efectiva y las cargas de preconsolidación, en función de la profundidad. Uno está localizado en Tlalpan y R. de Churubusco y el otro en el extremo opuesto; en J. M. Izazaga e Isabel la Católica, alrededor de dos cuadras al NW del paso en Fray Servando. En ambos, los esfuerzos de preconsolidación se empiezan a manifestar a partir de - 20 m. de profundidad aproximadamente.

Hay otro estudio hecho en 1974, en la calle de Ixtlixochitl, aproximadamente a cuadra y media al NE de L. Boturini; en éste no viene la variación de la carga de preconsolidación con la profundidad, sin embargo, --- existen dos pruebas de consolidación, una a - 12.30 m. y la otra a - 20 m. de profundidad; en ambas, los esfuerzos de preconsolidación son mayores -- que los esfuerzos efectivos. Debido a que son pocas pruebas, no se puede conocer con certeza la variación con respecto a la profundidad de esta -- carga.

Desafortunadamente, dada la escasez de datos no se puede generalizar, pero aparentemente, la hipótesis de que el abatimiento piezométrico se empieza a manifestar a partir de - 15 ó - 20 m. es correcta.

10.9) Nivelaciones no referidas al nivel del mar

En el paso 1° de Mayo - Ramos Millán, las elevaciones de proyecto no estaban referidas al nivel del mar, sin embargo, por medio del perfil del parapeto se tenía la posición relativa de los puntos a la salida del túnel y donde terminan las rampas.

Por medio de la nivelación efectuada en 1975, se determinó el perfil del parapeto; Fig. 14.IV.2. Con estos dos perfiles se determinó, como en todos los casos, la expansión relativa total (δe_{rt}). Lo que sí no fue posible determinar fue el hundimiento regional por medio de la nivelación -- en el periodo considerado; éste sólo se obtuvo por medio de las curvas de la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.).

Según se vio en el inciso 9.3, las expansiones obtenidas a partir de los datos de la nivelación, son con las que se deberfan de obtener las mejores aproximaciones.

En promedio, las aproximaciones en las expansiones son mayores en 10% cuando se toman en cuenta los hundimientos de la C.A.V.M. (véase Tabla 9.3.2; inciso 9.3).

10.10) Comentarios a hipótesis

Después de haber hecho un análisis de las diferentes hipótesis que -- han intervenido en este estudio, se estima que la menos apegada a la realidad por la escasez de información, es la distribución y magnitud de las pérdidas de carga (con respecto a la profundidad) y el hecho de considerarla constante con respecto al tiempo.

De la comparación de los resultados; Tabla 8.3.1, se deduce que en el caso Xola - Napoleón, la magnitud de la distribución real fue menor que la hipotética. El caso contrario sucedió en L. Boturini (lado Poniente) - en donde a juzgar por las expansiones relativas totales obtenidas de la teoría y las expansiones medidas en campo, la distribución hipotética resultó menor que la real. Según inciso 8.3, los lados representativos son: en Xola el Oriente y en Boturini el Poniente.

Esto está de acuerdo con la realidad, pues se sabe que las pérdidas de carga crecen en el sentido S - N (Tabla 5.1.1) y por ende las expansiones.

De lo arriba expuesto se concluye, que cada paso a desnivel tiene su propia ley de distribución de pérdidas de presión hidrostática, variable con respecto al tiempo.

10.11) Contribución en el hundimiento regional de la primera y segunda formación arcillosa

La primera formación arcillosa tiene un espesor efectivo (máxima trayectoria que tiene que recorrer el agua para ser expulsada) mayor que el

de la segunda formación. Además, el contenido natural de agua es también mayor; por tal razón, el tiempo para alcanzar un determinado tiempo de consolidación es bastante mayor en el caso de la primera formación que en el de la segunda (véase inciso 7.4.6). Esto trae como consecuencia que al principio del proceso, la contribución de la segunda formación en el hundimiento regional sea muy importante (véase Tabla 5.2.1; inciso 5.2); después y en la mayor parte del proceso, el hundimiento regional es debido principalmente a la consolidación de la primera formación arcillosa.

En la Fig. 11.A.6.2, se muestra la contribución con respecto al tiempo de la primera y segunda formación arcillosa en el hundimiento regional y la suma de ambas (hundimiento regional teórico). Partiendo de esta figura, se puede construir la Fig. 11.A.6.3; en ella se muestra la evolución del hundimiento regional teórico en por ciento, con respecto al tiempo (véase inciso 7.4.6 y en Anexo I.A, el inciso 11.A.6).

11.- ANEXO I
CALCULOS

A. - XOLA - NAPOLEON

11.A.1 - CARGAS - DESCARGAS - DESCARGAS NETAS.

11.A.1.1 - Cargas.

1. - Paso a desnivel para vehículos.

Para calcular éstas se recurrió al plano de la sección transversal de la estructura y de Clz. de Tlalpa, Fig. 11.A.1.1, al topografía, Fig. 11.A.1.2 y a la tabla 11.A.1.3, en esta última se consignan las mediciones hechas en el campo para corroborar la geometría del paso. Además se consideró la Fig. 11.A.1.3 en la cual se muestran las diferentes alturas de los muros, tanto en el lado Oriente como Poniente, desde la salida del túnel hasta el final del paso.

Según se puede apreciar en la Tabla 2.3.1, "Características de los muros de retención" (ver inciso 2.3), el espesor de los muros, losa de piso y zapatas corridas, cambian según la altura de los muros. Basándonos en esto se eligieron las diferentes áreas de carga, las cuales se muestran en la misma Fig. 11.A.1.3; también se muestran los espesores de la losa de piso en las diferentes áreas consideradas (donde los muros de retención y la losa de piso están colados monolíticamente). En la zona del túnel, la geometría de la estructura así como la profundidad de excavación es invariable, por tal razón la intensidad de la descarga es constante, por lo tanto, toda esta zona se consideró como una sola área de carga (véase Fig. 11.A.1.2).

Habiendo hecho esta subdivisión de áreas, estamos en la posibilidad de calcular el peso de las estructuras, inicialmente se obtendrán las cargas en la zona de rampa, donde los muros de retención están ligados a la losa de piso, posteriormente donde los muros están cimentados en zapatas corridas, por último en la zona del túnel.

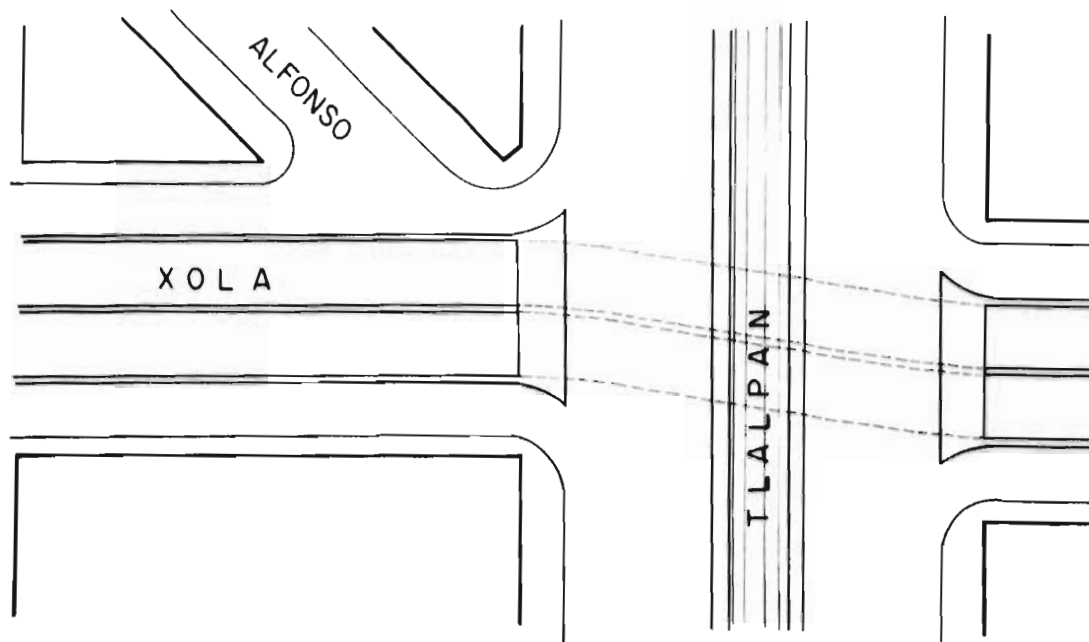
a) Zona de muros y losa

En esta zona las banquetas, pavimento, filtro y muro divisorio, tienen un peso que es independiente del cambio de sección de los muros y losa de piso, a continuación se obtendrá. En la Fig. 11.A.1.4.a, se muestra un corte transversal de esta zona.

Peso del filtro, base y asfalto:

Se considerarán los siguientes pesos volumétricos:

$$\gamma \text{ asfalto} = 2.1 \text{ T/m}^3, \quad \gamma \text{ base} = 2.4 \text{ T/m}^3 (\text{con. rete}), \quad \gamma \text{ filtro} = 1.7 \text{ T/m}^3$$



croquis

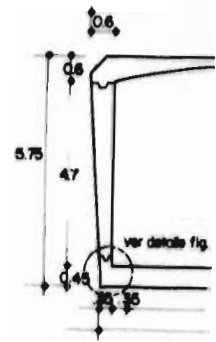
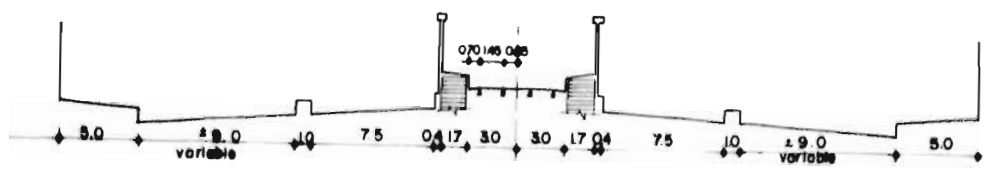
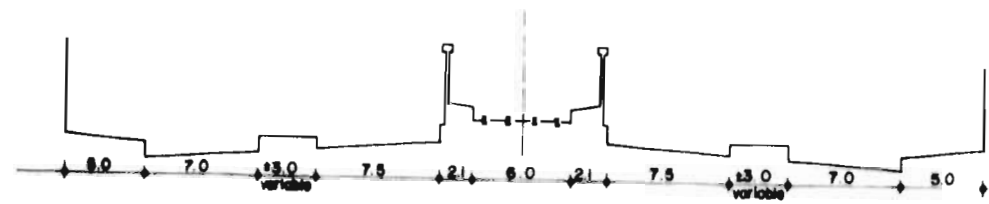
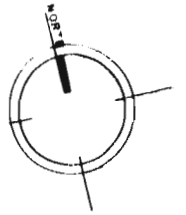
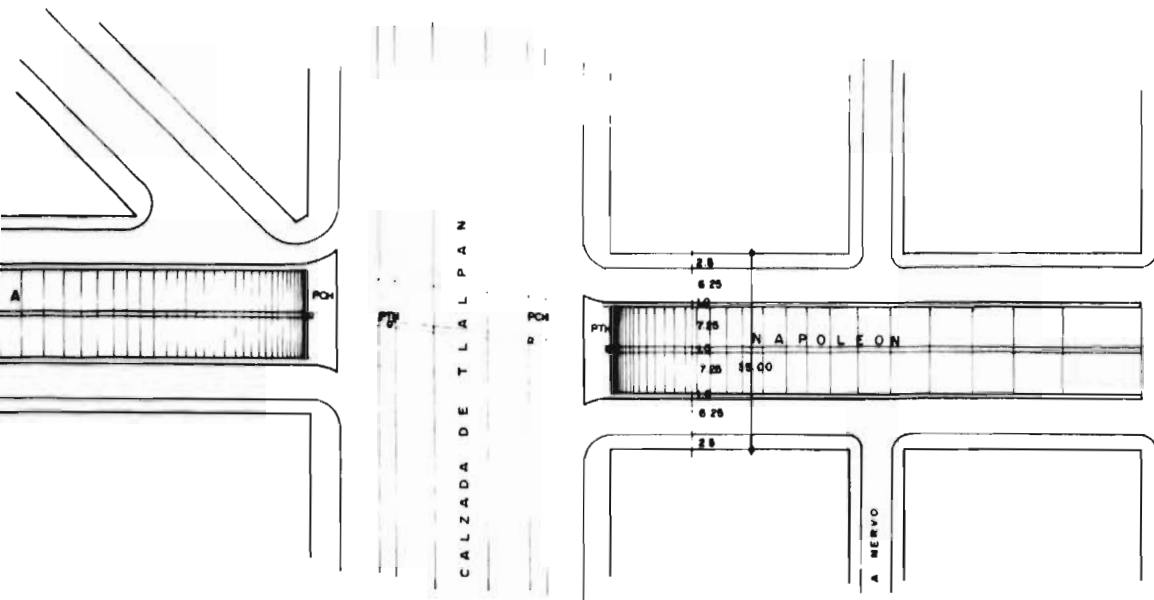


Figura II A.1 I. SECCION TRANSVERSAL DE LA ESTRUCTURA (PROYECTO) Y DE TLALPAN



Notas:

1. - h' espesor de la losa de piso
2. - h'' profundidad de excavación
3. - elevaciones referidas al nivel del mar
4. - distancias en metros

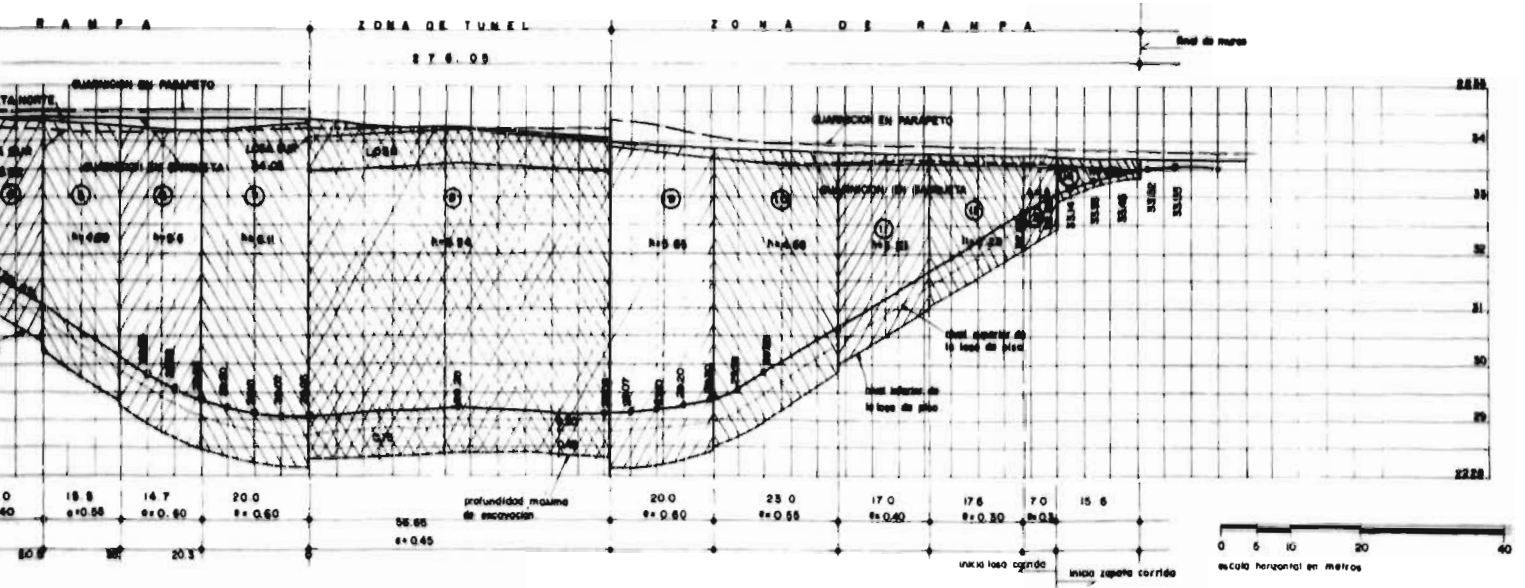
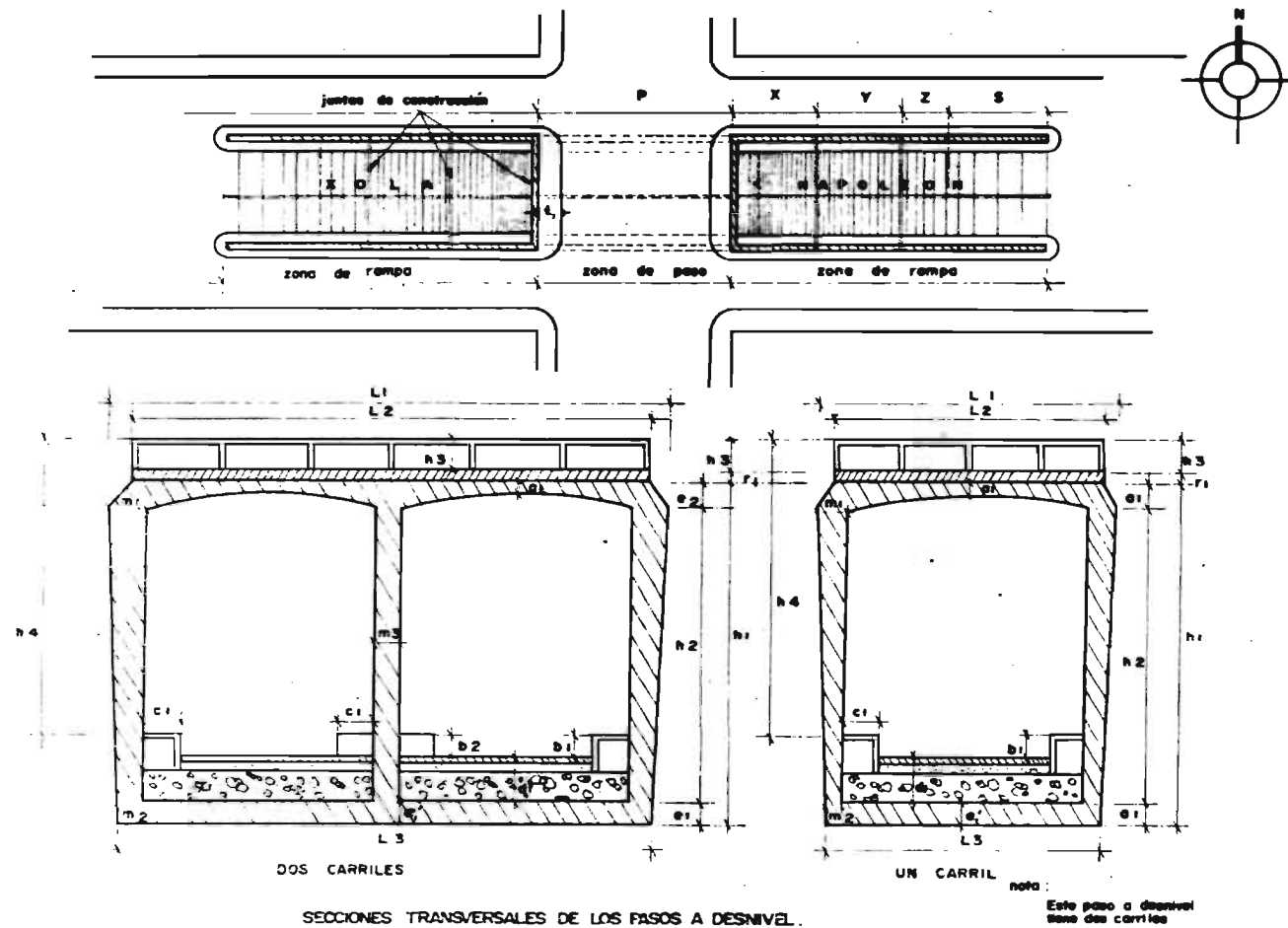
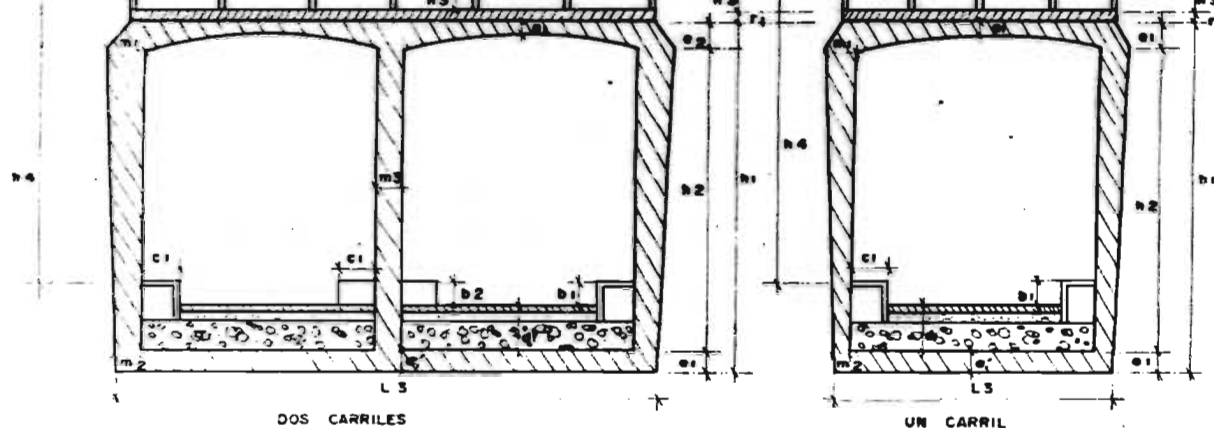


FIGURA II. A. 1 2. PLANO TOPOGRAFICO. AREAS DE DESCARGA



XOLA - NAPOLEON

Nomenclatura	DIMENSIONES DE PROYECTO			DIMENSIONES MEDIDAS EN CAMPO						ALTURA MURD DE RETENCION ⁽¹⁾ (ZONA RAMPAS)			
	N	C	S	LADO ORIENTE			LADO PONIENTE			ORIENTE		PONIENTE	
				N	C	S	N	C	S	distancia	Altura	distancia	Altura
h ₁	5.75		5.75	5.70		5.67	5.75		5.71				
h ₂	4.70		4.70	4.65		4.62	4.70		4.66				
h ₃	-	-	-	1.01	1.00	0.99	1.03	1.02	1.02				
h ₄	-	-	-	6.15	6.09	6.14	6.19	6.21	6.17				
L ₁		17.40											
L ₂					16.64			16.64					
L ₃		16.90			16.94			16.90					
m ₁	0.60		0.60	-									
m ₂	0.38		0.38	-									
NOMENCLATURA													
Inicio rampa (1ª junta)										0.00	6.35	0.00	6.72
X (2ª junta)										29.60	4.97	29.35	5.54
X+Y (3ª junta)										66.00	2.77	69.55	3.23



DOS CARRILES

UN CARRIL

SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PASOS A DESNIVEL.

nota:
Este paso a desnivel tiene dos carriles

XOLA - NAPOLEON

Nomenclatura	DIMENSIONES DE PROYECTO			DIMENSIONES MEDIDAS EN CAMPO									
				LABO ORIENTE			LABO PONIENTE						
	N	C	S	N	C	S	N	C	S	ALTURA MUROS DE RETENCION ⁽¹⁾ (ZONA RAMPAS)			
h ₁	5.75		5.75	5.70		5.67	5.75		5.71				
h ₂	4.70		4.70	4.65		4.62	4.70		4.66				
h ₃	-	-	-	1.01	1.00	0.99	1.03		1.02	Distancia	Altura	Distancia	Altura
h ₄	-	-	-	6.15	6.09	6.14	6.19		6.21	cia	PA	cia	PA
L ₁		17.40											
L ₂					16.64				16.64				
L ₃		16.90			16.94				16.90				
m ₁	0.60		0.60	-		-	-		-				
m ₂	0.35		0.35	-		-	-		-				
m ₃		0.30			0.30				0.30				
c ₁	0.45		0.45	-		-	-		-				
c ₁ '		0.49		-		-	-		-				
e ₂	0.60		0.60	-		-	-		-				
a ₁		0.20		-		-	-		-				
b ₁	0.25		0.25	0.195		0.21	0.23		0.23				
b ₂		-			0.115				0.12				
c ₁	0.35		0.35	0.35	0.35	0.35	0.35		0.35				
r ₁		-		0.39		0.44	0.40		0.42				
d ₁		0.30							-				
t ₁		-			5.40				5.40				

(1) La medida se hizo desde la parte más alta del muro, hasta la elevación del pavimento.

P = ancho del paso perpendicular a C/2 de Tlalpan

P (proyecto) = 56.70 m

P (medido) = 56.65 m

N = Norte C = Centro S = Sur

Dimensiones en metros

TAB. 11.9.1.1. MEDICIONES EN CAMPO DE LA GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA

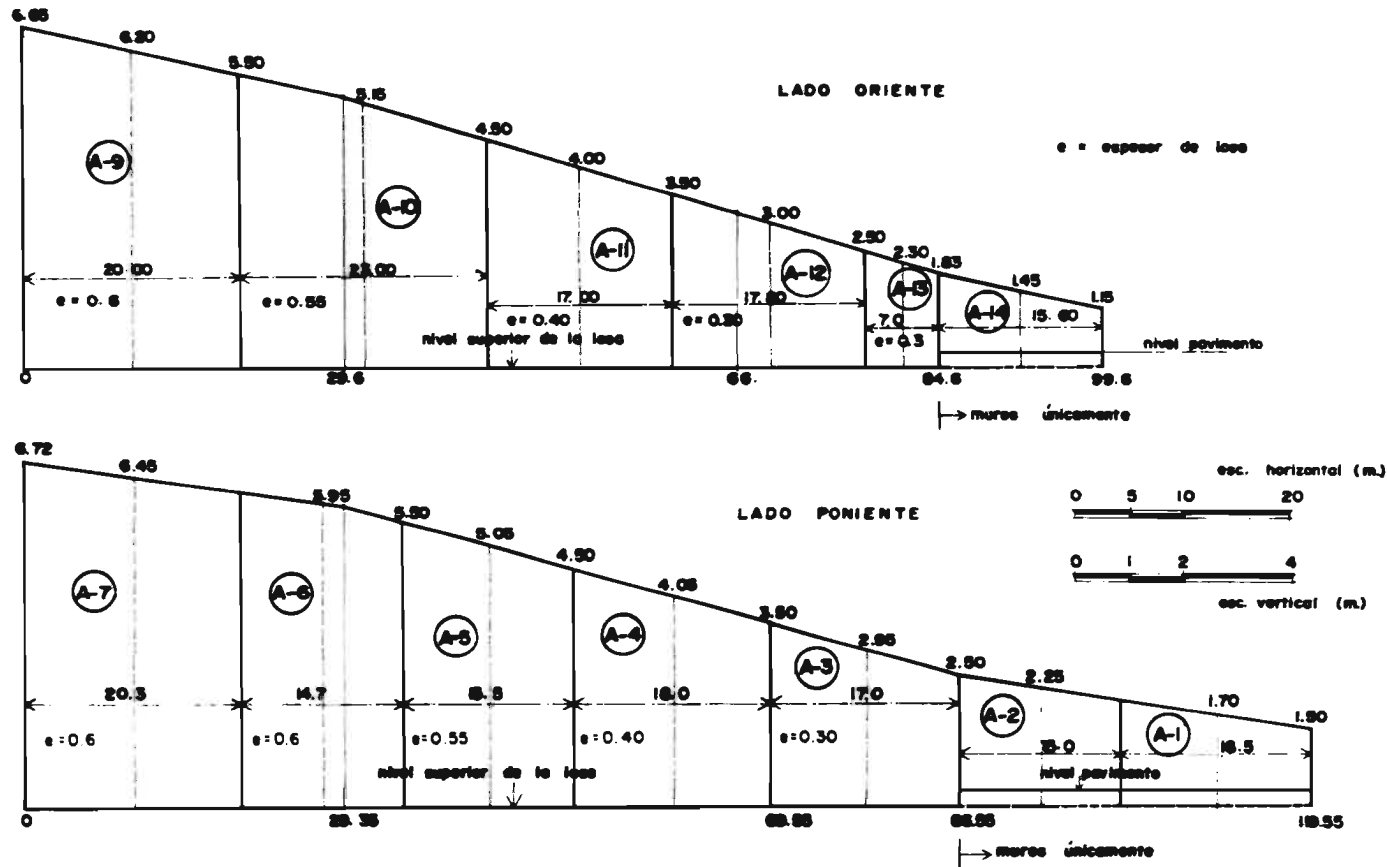


Fig. II. A. 1. 3. PERFILES DE LOS MUROS DE RETENCION. DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE PISO

$$W = 15.54 \text{ m} \times 1 \text{ m} (0.15 \times 1.7 + 0.10 \times 2.4 + 0.05 \times 2.1) \\ = 9.48 \text{ T/ml}$$

Peso del muro divisorio y banquetas

$$W = [(0.35 \text{ m} \times 0.05 \text{ m} + 0.10 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}) \times 1 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^2] \times 2 + \\ + [(0.35 \text{ m} \times 2 + 0.20 \text{ m}) \times 0.15 \text{ m} + \frac{(0.15 \text{ m} + 0.20 \text{ m})}{2}] \times 1.0 \text{ m} \times 2.4 \\ = 0.32 + 0.68 \\ = 1.01 \text{ T/ml}$$

El peso constante será igual por lo tanto a:

$$W \text{ constante} = 9.48 + 1.01 \\ = 10.49 \text{ T/ml}$$

Ya conociendo el valor del peso constante, lo que resta por hacer es determinar el valor del peso que no es constante en cada área seleccionada, a continuación se hará: referirnos a la Fig. 11.A.1.4.a, las dimensiones para estas áreas se muestran en la siguiente tabla (11.A.1.2):

Área No	Altura (h) del muro m	Espesor (e) de la losa m
3	2.95	0.30
4	4.05	0.40
5	5.05	0.55
6	5.95	0.60
7	6.45	0.60
9	6.80	0.60
10	5.15	0.55
11	4.00	0.40
12	3.00	0.30
13	2.20	0.30

TAB. 11.A.1.2. Dimensiones de los muros y losa para las diferentes áreas de carga.

Peso de los muros: (T/ml)

$$W = \left[\frac{(0.20 \text{ m} + e)}{2} (h + e) \right] \times 1.00 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^2 \times 2$$

Peso de la losa: (T/ml)

$$W = 16.24 \text{ m} \times e \times 1.00 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^2$$

Substituyendo en estas expresiones los valores consignados en las tablas, se obtienen los siguientes valores:

Area No	Peso de los muros T/ml	Peso de la losa T/ml	Suma de muros T/ml
3	3.90	11.69	15.59
4	6.48	15.59	22.07
5	10.08	21.44	31.52
6	12.56	23.39	35.95
7	13.52	23.39	36.91
9	13.04	23.39	36.43
10	10.34	21.44	31.78
11	6.35	15.59	21.94
12	3.90	11.69	15.59
13	3.12	11.69	14.81

Para obtener el peso total, habrá que aumentar el peso que se ha considerado como constante; 10.49 T/ml.

El siguiente paso será obtener la presión que la carga de las diferentes áreas consideradas transmiten al terreno. Para obtener la presión bastará dividir la carga por metro lineal encontrada, entre el ancho de la estructura en el contacto con el suelo de cimentación. La expresión a emplear será la siguiente:

$$p = \frac{\text{Carga por metro lineal}}{16.24 + 2e}$$

El espesor de la losa para el área considerada. Para encontrar el valor de la carga en las diferentes áreas se procederá como sigue: la carga por metro lineal es igual a la constante de 10.49 T/ml, más la reportada en la última columna de la tabla que precede, el valor de e se encuentra en la tabla II. A.1.2. Por ejemplo, se aplicará esta expresión a el área N. 3:

$$p = \frac{15.59 + 10.49}{16.24 + 2 \times 0.3} = 1.55 \text{ T/ml}$$

A continuación se muestran los valores obtenidos a $e = 0.32$ metros para las diferentes áreas

Area No	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13
Presión T/m ²	1.55	1.97	2.92	2.66	2.72	2.69	2.98	1.9	1.55	1.5

b) Zona de muros sobre zapatas corridas.

En esta zona la carga se analizará en dos partes: primero el peso del murito divisorio, más el peso del pavimento que no gravita directamente sobre las zapatas (véase Fig. 11.A.1.4.b), a esta parte se le llamará zona fuera de muros. Segundo, el peso del muro, zapata, banqueta, pavimento y relleno correspondiente; a esta parte se le llamará zona de muros.

Haciendo referencia a la Fig. 11.A.1.4.b, daremos las dimensiones de los muros y zapatas que pertenecen a las áreas No 1, 2, 14, las cuales son las únicas que tienen zapatas corridas:

Área No	Altura (h) del muro m	Longitud (L) de la zapata m	Espesor (e) de la zapata m
1	1.4	1.0	0.25
2	1.95	1.75	0.30
14	1.45	1.00	0.25

b.1) Carga en zona fuera de muros.

W muro divisorio: sabemos de los cálculos anteriores que éste pesa:

$$W = 0.68 T/ml$$

W pavimento:

$$W = (16.24m - 2L) \times 0.10m \times 1m \times 2.1 T/m^3$$

Substituyendo en esta expresión los valores de "L" dados en la tabla anterior, se obtienen los siguientes valores para las diferentes áreas:

Área No	Peso del pavimento T/ml	Peso del muro T/ml	Suma de ambos T/ml
1	2.99	0.68	3.67
2	2.68	0.68	3.36
14	2.99	0.68	3.67

Ahora, lo que resta hacer es determinar la presión que las cargas por metro lineal obtenidas producen en el suelo de cimentación.

$$presión = \frac{carga (T/ml)}{16.24 - 2L}$$

Substituyendo en esta expresión los valores obtenidos de la carga y los de "L" dados, se obtiene:

Area No.	1	2	14
Presión T/ml	$\frac{3.67}{14.24} = 0.26$	$\frac{3.26}{12.6} = 0.27$	$\frac{3.67}{14.24} = 0.26$

6.2) Cargas en zona de muros

W de la banquetta: Éste es constante para las tres áreas y vale.

$$W = 0.35 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^3 = 0.13 \text{ T/ml}$$

W del asfalto:

$$W = 1 \times 0.10 \times 1.0 \text{ m} \times 2.1 \text{ T/m}^3$$

Substituyendo l' , resulta:

Area No.	1	2	14
Peso del asfalto T/ml	0.21	0.37	0.21

W relleno

$$W = (0.90 \times l + 0.5 \times h') \times 1 \text{ m} \times \gamma$$

γ = peso volumétrico del material de relleno

$$\gamma = 1.5 \text{ T/m}^3 \text{ (supuesto)}$$

Los valores de h' para cada área se dan a continuación (véase Fig. 11.A.1.4)

Area No.	1	2	14
h' m	1.45	2.10	1.65

Entonces los pesos del relleno por metro lineal serán:

Area No.	1	2	14
Peso del relleno T/ml	2.44	3.94	2.59

W del muro y la zapata

$$W = [(0.23 + 0.23) \times (h + 0.90 \text{ m}) + (1 + 0.4 + 0.5) \times 1.0 \text{ m}] \times 2.4 \text{ T/m}^3$$

Substituyendo valores se obtiene:

Area No.	1	2	14
Peso del muro y zapata T/ml	3.07	4.30	3.11

Resumiendo se puede hacer la siguiente tabla:

Area No.	Peso de la banqueta T/ml	Peso del asfalto T/ml	Peso del relleno T/ml	Peso del muro y zapata T/ml	Suma total T/ml
1	0.13	0.21	2.44	3.07	5.85
2	0.13	0.37	3.94	4.30	8.74
14	0.13	0.21	2.59	3.11	6.04

Ahora, para determinar la presión habrá que dividir la carga por metro lineal obtenida entre el ancho de la zapata.

$$\text{presión} = \frac{\text{Carga T/ml}}{1 + 0.90 \text{ m}}$$

Substituyendo en esta expresión los valores obtenidos de la carga y los dados para "L", se obtiene:

Area No.	1	2	14
presión T/m ²	5.85, 3.08 1.90	8.74, 3.30 2.65	6.04, 3.18 1.90

a) Zona del túnel

Para obtener el peso en esta zona se recurrirá a la Fig. 11.A.15, en la cual se han numerado diferentes áreas.

W de intrados (área 1):

Area No 1 = 4 (área 1a + área 1b + área 1c) + área correspondiente a la parte superior del muro intermedio.

$$\text{Peso intrados} = \left\{ 4 \left[\frac{(0.27 + 0.60)}{2} + \frac{(0.27 + 0.25)}{2} + \frac{(0.25 + 0.20)}{2} \right] + (0.30 \times 0.60) \right\} \times 1 \times 2.4$$

$$= 12.83 \text{ T/ml}$$

W de muros (área 2):

$$W = \left\{ \left[\frac{(0.6 + 0.25)}{2} (3.75 + 0.45 + 0.60) \right] 1 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^3 \right\} \times 2$$

$$= 15.50 \text{ T/ml}$$

W de muro (área 3)

$$W = 0.30 \times 5.75 \times 1 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^3$$

$$= 4.14 \text{ T/ml}$$

W de losa (área 4)

$$W = 16.24 \times \frac{(0.45 + 0.48)}{2} \times 1 \text{ m} \times 2.4 \text{ T/m}^3$$

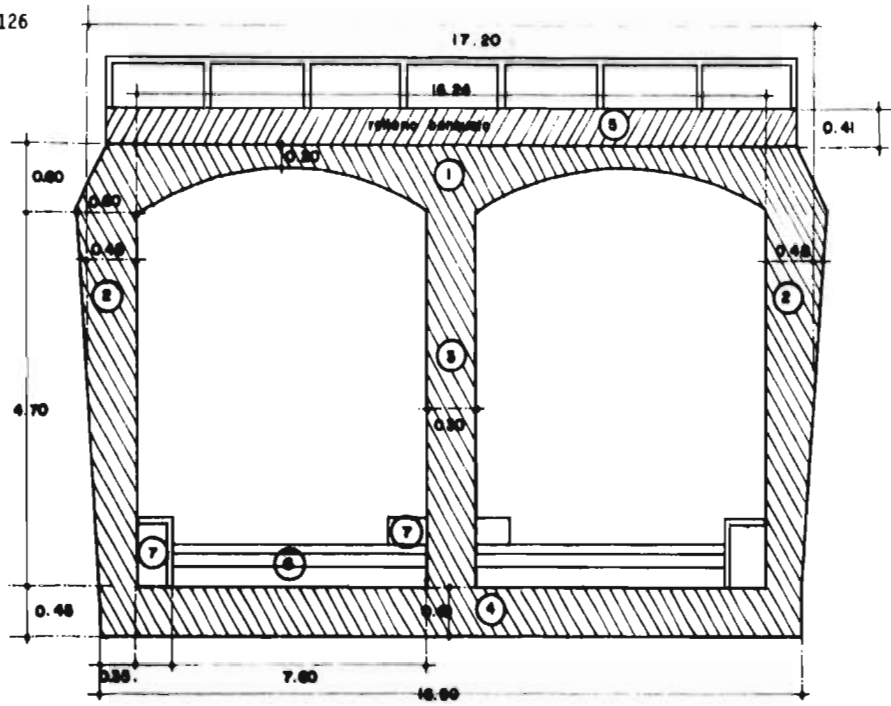
$$= 18.31 \text{ T/ml}$$

W de banqueta (área 5)

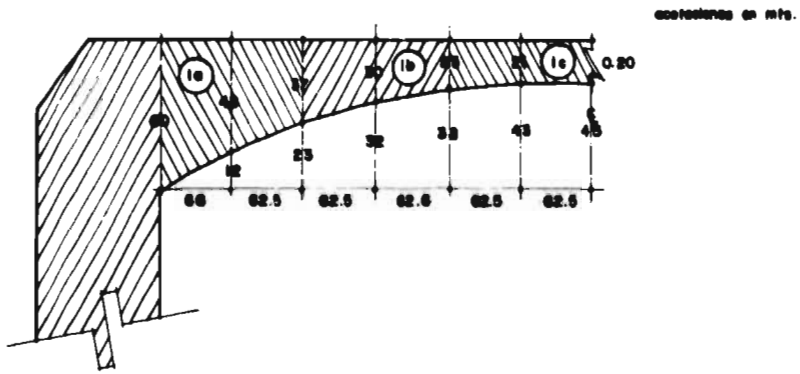
El ancho en el sentido perpendicular a Tlalpan es de 5.4 m.

$$W = [5.4 \times (16.24 + 0.48) \times 0.4185 \times 2.2 \text{ T/m}^3] \times 2$$

$$W = 163.86 \text{ T}$$



e) SECCION TRANSVERSAL DEL CAJON



b) DETALLE DE INTRADOS

Figura 11. A. 1. 5. SECCION TRANSVERSAL DEL CAJON Y DETALLE DE INTRADOS. CALCULO DE CARGAS.

W filtro y asfalto (área G)

$$W = 2 \times 7.60 \times 1 \text{ m} (0.15 \times 1.1 + 0.10 \times 2.4 + 0.05 \times 2.1) \\ = 9.27 \text{ T/ml}$$

W de la banquetta (área H)

$$W = 0.32 + 2(0.15 \times 0.35) \times 1 \text{ m} \times 2.2 \\ = 0.55 \text{ T/ml}$$

W de la capa asfáltica en la Ciz. de Tlalpan:

El ancho de la cinta asfáltica es de 46.65 m

$$W = 46.65 \times 17.20 \times 0.10 \times 2.2 \text{ T/m}^2 \\ W = 176.52 \text{ T}$$

W carril de la vía:

El ancho del carril de la vía es de 10 m y el espesor del balasto se supondrá de 0.30 m.

$$W = 10 \times 0.30 \times 17.20 \times 2.2 \text{ T/m}^2 \\ W = 103.20 \text{ T}$$

W del barandal:

$$W = 2 \left[2 \times 0 \times \frac{(0.16 + 0.32)}{2} \right] \times 0.78 \times 0.15 \times 2.4 \text{ T/m}^2 \\ W = 2.16 \text{ T}$$

de los pesos obtenidos, los que están expresados en toneladas no están uniformemente distribuidos en la zona del túnel; por tal razón, para obtener la presión ejercida por estas cargas se dividirá la suma de todas ellas entre el área cubierta por el túnel (el área horizontal del contacto suelo-estructura).

Las cargas obtenidas por metro lineal, se dividirán entre el ancho del túnel en el contacto suelo-estructura, para obtener las correspondientes presiones.

Largo del túnel = ancho Ciz. de Tlalpan

$$= 56.65 \text{ m}$$

Ancho del túnel = 16.90 m

$$\text{Área de contacto horizontal (zona túnel)} = 56.65 \times 16.90 \\ = 957.39 \text{ m}^2$$

Concepto	Peso T/ml	Concepto	Peso T
Intrados	12.83	Banqueta exterior	163.86
Muros laterales	15.50	Barandal	2.16
Muro central	4.14	Asfalto en Tlalpan	176.52
Losa de piso	18.31	Vía ferrocarril	103.20
Filtro y asfalto	9.27		
Banqueta interior	0.55		
total = 60.60		total = 449.80	

Presión debida a los conceptos expresados en T/ml:

$$p = \frac{60.60 \text{ T/ml}}{16.90 \text{ m}} = 3.59 \text{ T/m}^2$$

Presión debida a los conceptos expresados en toneladas:

$$p = \frac{444.88 \text{ T}}{957.39 \text{ m}^2} = 0.46 \text{ T/m}^2$$

Presión total debida al peso de la estructura

$$p = 3.59 + 0.46 \\ = 4.05 \text{ T/m}^2$$

2.- Paso a desnivel para peatones.

En la Fig. 11.A.1.6 se muestran las características geométricas del paso para peatones; a ella se recurrirá para obtener la intensidad de las cargas:

Area No. 1; peso de la estructura

$$W = 0.15 \times (5.9 + 2 \times 0.2) \times 1 \times 2.2 \text{ T/m}^3 + [(5.9 + 2 \times 0.2) \times (0.45 \times 0.30) + 2(2.5 + 0.45 + 0.30)] \times 2.4 \text{ T/m}^3 \\ = 16.54 \text{ T/ml}$$

La presión será esta carga entre el área de contacto:

$$p = \frac{16.54}{(5.9 + 0.4)} ; \quad p = 2.63 \text{ T/m}^2$$

Area No. 2; peso de la estructura:

$$W = 16.54 \text{ T/ml} - \text{peso de la losa superior (no existe)} \\ = 16.54 - [0.15(5.9 + 2 \times 0.2) \times 1 \times 2.2 \text{ T/m}^3 + 0.45(5.9 + 2 \times 0.2) \times 2.4 \text{ T/m}^3] \\ = 7.66 \text{ T/ml}$$

$$p = \frac{7.66}{(5.9 + 0.4)} ; \quad p = 1.22 \text{ T/m}^2$$

Area No. 3; peso muros:

$$W = 2(3.4 \times 7.45 \times \frac{1}{2} \times 0.2 \times 2.4 \text{ T/m}^3) \\ = 18.16 \text{ T}$$

Peso de la escalera: los escalones tienen 0.15 m de peralte y 0.338 m de huella; son en total 22 escalones.

$$W = 22(0.338 + 0.15) \times 0.10 \times 1.75 \times 2.4 \text{ T/m}^3 \\ = 4.51 \text{ T}$$

Peso de muros más escalera: (18.16 + 4.51) T

$$W = 16.67 \text{ T}$$

$$p = \frac{16.67}{7.45 \times (1.75 + 0.9)} ; \quad p = 1.04 \text{ T/m}^2$$

11.A.1.2. - Descargas.

1.- Paso a desnivel para vehículos

Para calcular estas se consideraron las subdivisiones de áreas que

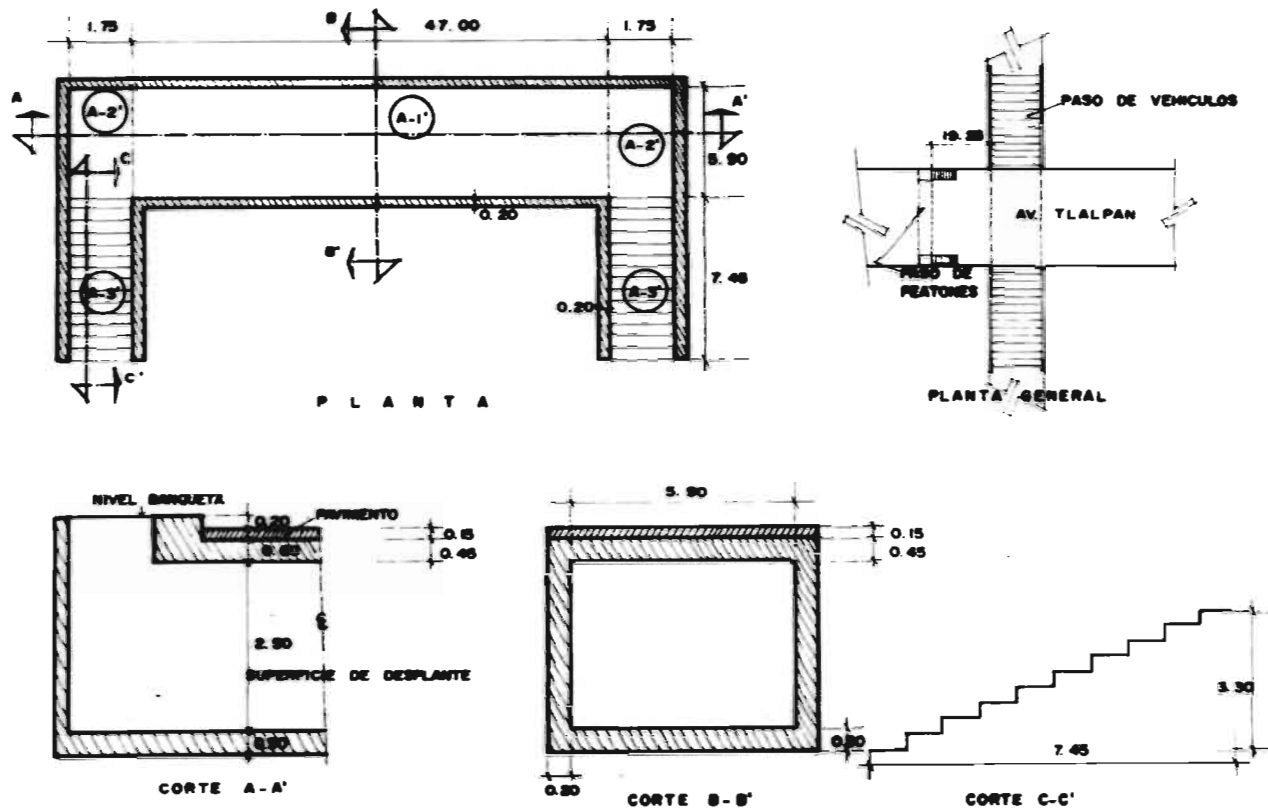


Fig. II. A. I. 6. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL PASEO PARA PEATONES

ACOTACIONES EN Mts.

se hicieron en el caso de el cálculo de las cargas. Estas áreas de descarga se pueden observar en la figura 11.A.1.2, tienen como limite superior, el perfil del terreno natural e inferior la profundidad máxima de excavación (corresponde con la superficie interior de la losa de piso). La presión de descarga en cada área será precisamente la presión del suelo por peso propio a la profundidad media de excavación de cada área, para obtener esta presión es necesario conocer el perfil estratigráfico y los pesos volumétricos de los estratos.

De los estudios de mecánica de suelos cercanos al sitio de estudio, se recurrió a uno localizado en la intersección de la calle Toledo y Tlalpan a una cuadra al Norte de este paso (Xola-Napo-León). En el vídeo consignados el perfil estratigráfico, el contenido natural de agua, índices de consistencia, cohesiones obtenidas por diferentes procedimientos y pesos volumétricos, Fig. 11.A.1.7. Cuando en los estratos de interés no venían reportados los pesos volumétricos, éstos se obtuvieron empleando la expresión siguiente, para suelos saturados:

$$\gamma = \frac{(1+W)}{(W + V_s)} \gamma_w \quad ; \quad \text{donde}$$

W = contenido natural de agua

V_s = densidad de sólidos

γ_w = peso volumétrico del agua

En la siguiente tabla se muestran las profundidades de los diferentes estratos, así como el tipo de material, el contenido de agua, y el peso volumétrico reportado u obtenido:

Profundidad	Tipo de material	Contenido de agua (W)	Peso volumétrico (γ)	Observaciones respecto a γ
m		%	T/m ³	
0.0 - 1.75	relleno	—	1.5	supuesto
1.75 - 4.10	limo	90	1.4	reportado
4.10 - 4.80	arcilla	150	1.35	reportado
4.80 - 12.50	arcilla	300	1.15	reportado
12.50 - 14.50	limo	75	1.54	obtenido
14.50 - 15.80	arcilla	200	1.175	reportado
15.80 - 18.60	arcilla	350	1.16	reportado
18.60 - 20.00	arcilla, limo	225	1.273	reportado
20.00 - 22.20	arcilla	225	1.16	obtenido
22.20 - 23.00	limo	125	1.36	obtenido
23.00 - 27.20	arcilla	325	1.16	obtenido
27.20 - 30.00	arcilla	200	1.25	obtenido
30.00 - 32.20	arcilla	275	1.19	obtenido
32.20 - 37.00	lim. y arena	40	1.75	obtenido
37.00 - 42.00	arcilla	200	1.25	obtenido

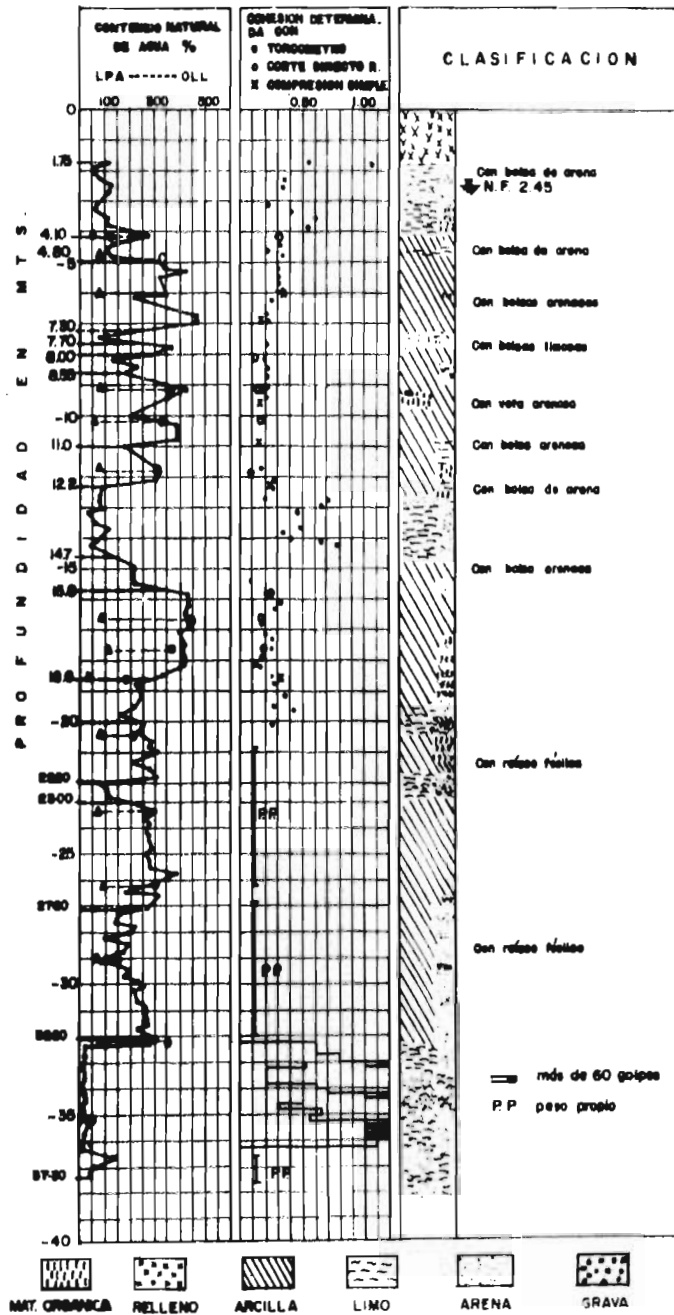


Figura: II. A. I. 7. PERFIL ESTRATIGRAFICO. PRESENTACION GRAFICA DE LOS ENSAYES (Tizapan y Toledo)

En vista de que para obtener la descarga neta se trabajará con esfuerzos totales, a continuación se hallarán éstos hasta la máxima profundidad de excavación:

Profundidad m	Espesor del estrato m	Peso volu- métrico γ/m^3	Esfuerzo to- tal parcial T/m^2	Esfuerzo total T/m^2
0.0 - 1.75	1.75	1.5	2.63	2.63
1.75 - 2.45	0.70	1.4	0.98	3.61
2.45 - 4.10	1.65	1.4	2.31	5.92
4.10 - 4.80	0.70	1.35	0.95	6.87
4.80 - 5.95	1.15	1.15	1.32	8.19
5.95 - 12.50	6.55	1.15	7.53	15.72

Graficando estas presiones con respecto a la profundidad, se obtiene para la profundidad media de excavación de las distintas áreas la presión total. A continuación se resumen en una tabla los resultados:

Area	Profundidad (h) media de excavación	Presión total a la profundi- dad (h).
No	m	T/m^2
1	0.4	0.6
2	1.0	1.5
3	2.35	3.47
4	3.52	5.10
5	4.69	6.72
6	5.60	7.79
7	6.11	8.38
8	5.94	8.18
9	5.65	7.85
10	4.68	6.70
11	3.33	4.84
12	2.23	3.30
13	1.50	2.25
14	0.60	0.90

2. - Paso a desnivel para peatones.

Se recurrirá a la misma figura 11.A.1.6, como se hizo en el cálculo de las cargas.

Area N. 1 ; profundidad de excavación:

$$h = 0.2 + 0.6 + 2.5 + 0.30 \quad ; \quad h = 3.60m$$

Considerando los pesos volumétricos para los diferentes estratos

dados con anterioridad, la presión de descarga será:

$$p = 1.75 \times 1.5 \text{ T/m}^2 + (3.60 - 1.75) \text{ T/m}^2$$

$$p = 5.27 \text{ T/m}^2$$

Area No. 2 = Area No. 1

Area No. 3: Peso de la tierra excavada

$$W = (3.30 + 0.10) \frac{2.45}{2} \times 2.15 \times 1.45 \text{ T/m}^2$$

$$W = 39.487$$

$$\text{Presión (p)} = \frac{39.487}{7.45 \times 2.15} ; p = 2.46 \text{ T/m}^2$$

11.A.1.3. - Descargas netas

1. - Paso a desnivel para vehículos.

Ya conociendo en las diferentes áreas las presiones producidas por el peso de la estructura así como las presiones de descarga, se procederá a obtener la presión neta de descarga de la siguiente forma:

Presión neta de descarga = presión de descarga - presión debida al peso de la estructura.

Para facilitar, y que se vea con más claridad el procedimiento, se resumirán las presiones y se efectuará la sustracción en la siguiente tabla:

Area	Presión debida a la descarga	Presión debida al peso de la estructura		Descarga neta	
No.	T/m ²	T/m ²		T/m ²	
3	3.47	1.55		1.92	
4	3.10	1.97		3.13	
5	6.72	2.42		4.30	
6	7.79	2.66		5.13	
7	8.38	2.72		5.66	
8	8.18	4.05		4.13	
9	7.85	2.69		5.16	
10	6.70	2.48		4.22	
11	4.84	1.90		2.94	
12	3.30	1.55		1.75	
13	2.25	1.50		0.75	
		Zona de muros	Zona fuera de muros	Zona de muros	Zona fuera de muros
1	0.60	3.08	0.26	-2.48	0.34
2	1.50	3.30	0.27	-1.80	1.23
14	0.90	3.18	0.26	-2.28	0.64

El signo negativo indica que donde hay zapatas corridas (zona de muros) en lugar de existir una descarga existe carga.

En la Fig. 11.A.1.B que se muestra a continuación, se pueden observar en planta las áreas de descarga, sus respectivos anchos y la magnitud de la descarga correspondiente.

2.- Piso a desnivel para peatones.

Igual que para el piso de vehículos, se efectuará la substracción.

Presión neta de descarga = presión debida a la excavación - presión debida al peso de la estructura.

Área No 1 : presión neta de descarga = $5.22 - 2.63$

Área No 2 : $q = 2.59 \text{ T/m}^2$
 $q = 5.22 - 1.22$; $p = 4 \text{ T/m}^2$

Área No 3 : $q = 2.96 - 1.04$; $q = 1.92 \text{ T/m}^2$

11.A.2. - ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO.

11.A.2.1. - Obtención de los esfuerzos mediante la carta de Newmark.

En vista de que en la zona del túnel la profundidad de desplante de la losa de cimentación es de 5.95 m, las diferentes profundidades a las que se calcularán los esfuerzos verticales mediante la carta de Newmark, deberán ser referidos a este nivel.

PROFUNDIDADES A LAS CUALES SE CALCULARÁN LOS ESFUERZOS (m)			
Referidas al nivel del terreno	Referidas a -5.95 m	Referidas al nivel del terreno	Referidas a -5.95 m
5.95	0.00	25.00	19.05
10.00	4.05	30.00	24.05
15.00	9.05	35.00	29.05
20.00	14.05	40.00	34.05

Se utilizó una sola carta de Newmark y varias plantillas de las áreas cargadas dibujadas a escala diferente.

La carta que se utilizó fue construida con una $z = 2.6 \text{ cm}$, por lo tanto las escalas a las cuales se construyeron las plantillas fueron tales, que a cada profundidad a la cual se determinaron los esfuerzos quedó representada por 2.6 cm .

Para objetivizar esto a continuación se determinarán las diferentes escalas para las profundidades arriba mencionadas:

Escala para $z = 4.05 \text{ m}$: 2.6 cm representan 4.05 m (405 cm); luego:

$$1 \text{ cm representa } \frac{405 \text{ cm}}{2.6} \text{ (155.77 cm)}$$

Entonces: $1 \text{ cm} = 155.77 \text{ cm}$

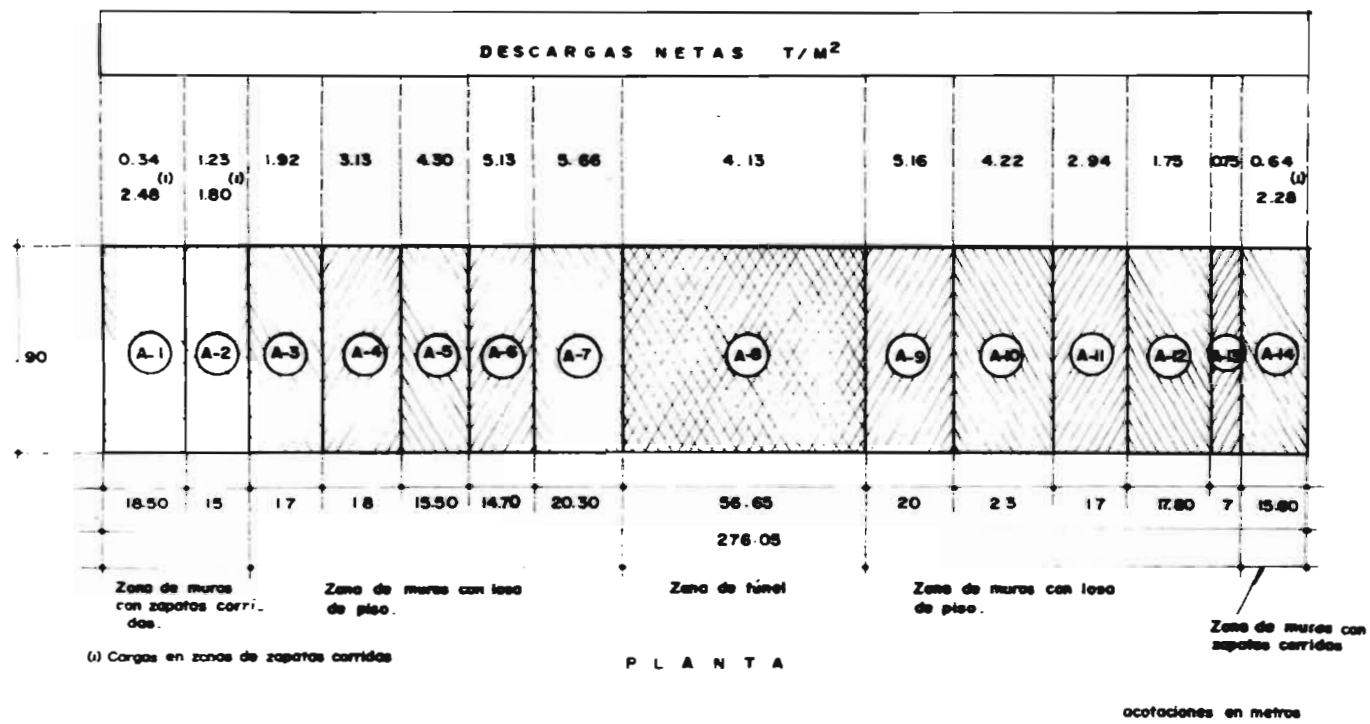
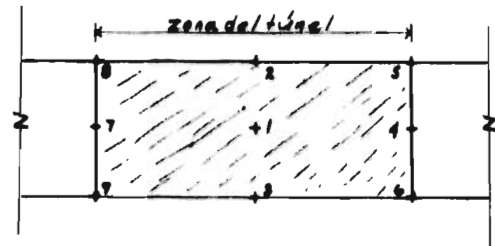


Figura II. A. 1. 8. DESCARGAS NETAS. ZONAS DE RAMPA Y TUNEL

Siguiente este mismo procedimiento se encontraron las escalas para las otras profundidades, además se obtuvieron para la escala encontrada, las dimensiones de las áreas cargadas para así poder dibujar las plantillas, a continuación se muestran:

REPRESENTACION EN CM. DE LAS DIFERENTES DIMENSIONES EN LAS ESCALAS RESPECTIVAS							
DIMENSION m	Z=4.05m 1:153.77	Z=9.05m 1:348.08	Z=14.05m 1:540.38	Z=19.05m 1:732.69	Z=24.05m 1:925	Z=29.05m 1:1117.31	Z=39.50m 1:1519.23
56.65	36.40	16.30	10.50	7.70	6.10	5.07	3.70
47.00	30.20	13.50	8.70	6.40	5.10	4.20	3.10
23.00			4.30	3.10	2.50	2.10	1.50
20.30	13.00	5.80	3.80	3.20	2.20	1.80	1.30
20.00	12.80	5.70	3.70	2.70	2.20	1.80	1.30
19.05	12.20	5.50	3.50	2.60	2.10	1.70	1.30
18.00						1.60	1.20
17.80						1.60	1.20
17.00					1.80	1.50	1.10
16.90	10.80	4.90	3.10	2.30	1.80	1.50	1.10
15.50					1.70	1.40	1.00
14.70			2.70	2.00	1.60	1.30	1.00
7.45	4.80	2.10	1.40	1.00	0.80	0.70	0.50
7.00							0.50
6.30	4.00	1.80	1.20	0.90	0.70	0.60	0.40
2.15		0.60	0.40	0.30	0.20	0.20	0.10

Los puntos en los cuales se determinaron los esfuerzos, (a diferentes profundidades) están localizados en la zona del túnel y se muestran en la siguiente figura:



A continuación se muestra el número de elementos de área (de la curva de Newmark) que cubrieron las diferentes áreas cargadas, al sobrepasar las plantillas hechas a diferente escala:

Punto	PARA Z=0 y Z=4.05m									PARA Z=9.05m								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A_1							100	50	50							85	48.5	48.5
A_2	200	100	100	100	50	50	100	50	50	170	97.5	97.5	85	48.5	48.5	85	48.5	48.5
A_3				100	50	50							85	48.5	48.5			

PARA $Z = 14.05 \text{ m}$

Punto	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_1	n_2'	n_3'
1			132			1.5		0.5
2			90			5	0.25	0.5
3			90					
4			69	66	3	0.5	0.125	0.5
5			44	43.5	2.5	2	0.33	1.25
6			44	43.5	2.5			
7	3	65	69			0.5	0.125	0.5
8	2.5	43	44.5			2	0.33	1.25
9	2.5	43	44.5					

PARA $Z = 19.05 \text{ m}$

Punto	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_1'	n_2'	n_3'
1		2.5	104	2.33		3	0.25	0.25
2		2	76	2		5.5	0.125	0.50
3		2	76	2		2	0.125	0.125
4			50	50	5.5	1.5	0.125	0.50
5			40	37	4	3	0.33	1.00
6			40	37	4	0.75	0.125	0.25
7	3.5	50	50			1.5	0.125	0.50
8	2.5	37.5	40			3	0.33	1.00
9	2.5	37.5	40			0.75	0.125	0.25

PARA $Z = 24.05 \text{ m}$

Punto	n_8	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_1'	n_2'	n_3'
1			2.5	88	2.5			2.5	0.25	0.25
2			2	66	2			6.5	0.25	0.25
3			2	66	2			8.0	0.25	0.25
4				44	40	5.5	1	1.5	0.125	0.25
5				37.5	30.5	4	1	2.33	0.5	1.0
6				37.5	30.5	4	1	1.5	0.125	0.125
7	1.5	5.0	41	44				1.5	0.125	0.25
8	1.5	3.5	32.5	37.5				2.33	0.50	1.0
9	1.5	3.5	32.5	37.5				1.5	0.125	0.125

PARA Z = 29.05 m											
Punto	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	
1				78	1.25				3	0.25	0.5
2				65	1				7	0.5	0.5
3				65	1				2	0.25	0.125
4				44	32	6	2	2.5	0.125	0.5	
5				34	27.5	5	1.5	1.5	0.25	0.5	
6				34	27.5	5	1.5	1	0.125	0.125	
7	1	3	34	44				2.5	0.125	0.5	
8	1.5	3.5	26.5	33.5				1.5	0.25	0.5	
9	1.5	3.5	26.5	33.5				1.5	0.25	0.125	

PARA Z = 39.50 m															
Punto	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	n_{16}	
1			0.5	0.5	3	52	3	1	0.5				4	0.125	0.80
2		0.25	0.75	0.75	4.5	44	3	1	0.5				7	0.125	0.38
3		0.25	0.75	0.75	4.5	44	3	1	0.5				3	0.125	0.25
4				0.25	1	26	19	6	1	1	0.25		2	0.19	0.50
5				0.25	1	29	19	7	2	1.5	0.25		3	0.19	0.50
6				0.25	1	26.5	19	6	1	1	0.25		2.25	0.125	0.19
7	0.25	1	2	5	24	29	0.5	0.25					2.25	0.125	0.19
8	1/2	1	1.75	5	19	24.5	1	0.25					3	0.19	0.5
9	1	1	1.75	5	19	24.5	1	0.25					1.5	0.062	0.25

Conociendo el número de elementos de área de la carta de New - mark cubiertos por las diferentes áreas de carga, estamos en la posibilidad de determinar el esfuerzo vertical V_z , éste se calculará en una vertical, por debajo de los diferentes puntos escogidos y para las profundidades elegidas.
Se aplicará la siguiente expresión: $V_z = 0.005 \sum_{i=1}^{i=n} n_i w_i$ donde

0.005 = valor de influencia correspondiente a cada uno de los segmentos circulares considerados en la carta.

n_i = número de elementos de área de la carta cubiertos por el área cargada i .

w_i = intensidad de la carga correspondiente al área de carga i .

En la tabla II.A.2.1, se muestran los resultados aplicando la ex.

expresión de arriba:

139

ESFUERZOS DE DESCARGA T_{im}									
PROF. m	PUNTOS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	4.13	2.07	2.07	4.65	2.32	2.32	4.90	2.44	2.44
4.05	4.13	2.07	2.07	4.65	2.32	2.32	4.90	2.44	2.44
9.05	3.51	2.01	2.01	3.95	2.25	2.25	4.16	2.37	2.37
14.05	2.75	1.93	1.86	3.20	2.13	2.08	3.36	2.25	2.20
19.05	2.32	1.75	1.71	2.97	1.92	1.87	2.62	2.01	1.96
24.05	1.99	1.56	1.52	2.09	1.70	1.67	2.25	1.86	1.81
29.05	1.73	1.30	1.44	1.94	1.57	1.55	2.00	1.59	1.59
39.50	1.34	1.27	1.22	1.26	1.34	1.25	1.51	1.30	1.28

TAB. 11.A.2.1. Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad en los diferentes puntos (zona del túnel).

Se hace notar que la contribución en los esfuerzos de las áreas de carga alejadas, es muy pequeña; por lo tanto, no se considerará el efecto que pudiera tener la diferencia de niveles de descarga entre estas áreas y la considerada en la zona del túnel.

11.A.3. DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS DEBIDOS A PESO PROPIO, DESCARGA Y ABATIMIENTO.

11.A.3.1. Esfuerzos efectivos por peso propio con respecto a la profundidad.

Considerando el valor de los pesos volumétricos que se dan en el inciso 11.A.1.2, correspondiente a las descargas, se calculará la variación de los esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad. Se hace notar que el nivel freático se localiza a -2.45m. En la siguiente tabla se muestra el procedimiento:

Profundidad	Espeor del estrato	Peso volúmico	Esfuerzo efectivo parcial	Esfuerzo efectivo total
m	m	T/m ³	T/m ²	T/m ²
0.0 - 1.75	1.75	1.5	$1.5 \times 1.75 = 2.63$	2.63
1.75 - 2.45	0.70	1.4	$1.4 \times 0.70 = 0.98$	3.61
2.45 - 4.10	1.65	1.4	$0.4 \times 1.65 = 0.66$	4.27
4.10 - 4.80	0.70	1.35	$0.35 \times 0.70 = 0.25$	4.52
4.80 - 5.95	1.15	1.15	$0.15 \times 1.15 = 0.17$	4.69
5.95 - 12.5	6.55	1.15	$0.15 \times 6.55 = 0.98$	5.67
12.5 - 14.5	2.00	1.54	$0.54 \times 2.00 = 1.08$	6.75
14.5 - 15.8	1.30	1.175	$0.175 \times 1.30 = 0.23$	6.98
15.8 - 18.6	2.80	1.161	$0.161 \times 2.80 = 0.45$	7.43
18.6 - 20.00	1.40	1.273	$0.273 \times 1.40 = 0.38$	7.81
20.0 - 22.0	2.00	1.16	$0.16 \times 2.0 = 0.32$	8.13
22.0 - 23.0	1.00	1.36	$0.36 \times 1.0 = 0.36$	8.49
23.0 - 27.2	4.20	1.16	$0.16 \times 4.2 = 0.67$	9.16
27.2 - 30.0	2.80	1.25	$0.25 \times 2.8 = 0.70$	9.86
30.0 - 32.2	2.20	1.19	$0.19 \times 2.2 = 0.42$	10.28
32.2 - 37.0	4.80	1.75	$0.75 \times 4.8 = 3.60$	13.88
37.0 - 39.5	2.50	1.25	$0.25 \times 2.5 = 0.63$	14.51
39.5 - 42.0	2.50	1.25	$0.25 \times 2.5 = 0.63$	15.14

11.A.3.2. - Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad.

En la Fig. 11.A.3.1 se muestra la variación tanto de los esfuerzos de descarga como de los efectivos por peso propio con respecto a la profundidad. Se hace notar que únicamente se graficaron los puntos 1, 2, 4, 5, 7 y 9; esto se hizo debido a que el número 3 es prácticamente igual al 2; el 5 al 6 y el 8 al 9.

Para conocer el cambio en esfuerzos efectivos producidos por la descarga a una profundidad z , bastará determinar mediante la figura arriba mencionada el valor del esfuerzo efectivo por peso propio y por descarga a esa profundidad z y sustituir el segundo del primero.

11.A.3.3. - Variación de los abatimientos con respecto a la profundidad.

En la Fig. 11.A.3.2 se muestra la variación del abatimiento piezométrico con respecto a la profundidad, según lo discutido en el inciso 5.1 del texto.

En la Fig. 11.A.3.3 se han sobrepuesto en la distribución de esfuerzos efectivos por peso propio, el aumento en esfuerzos efectivos debidos al abatimiento.

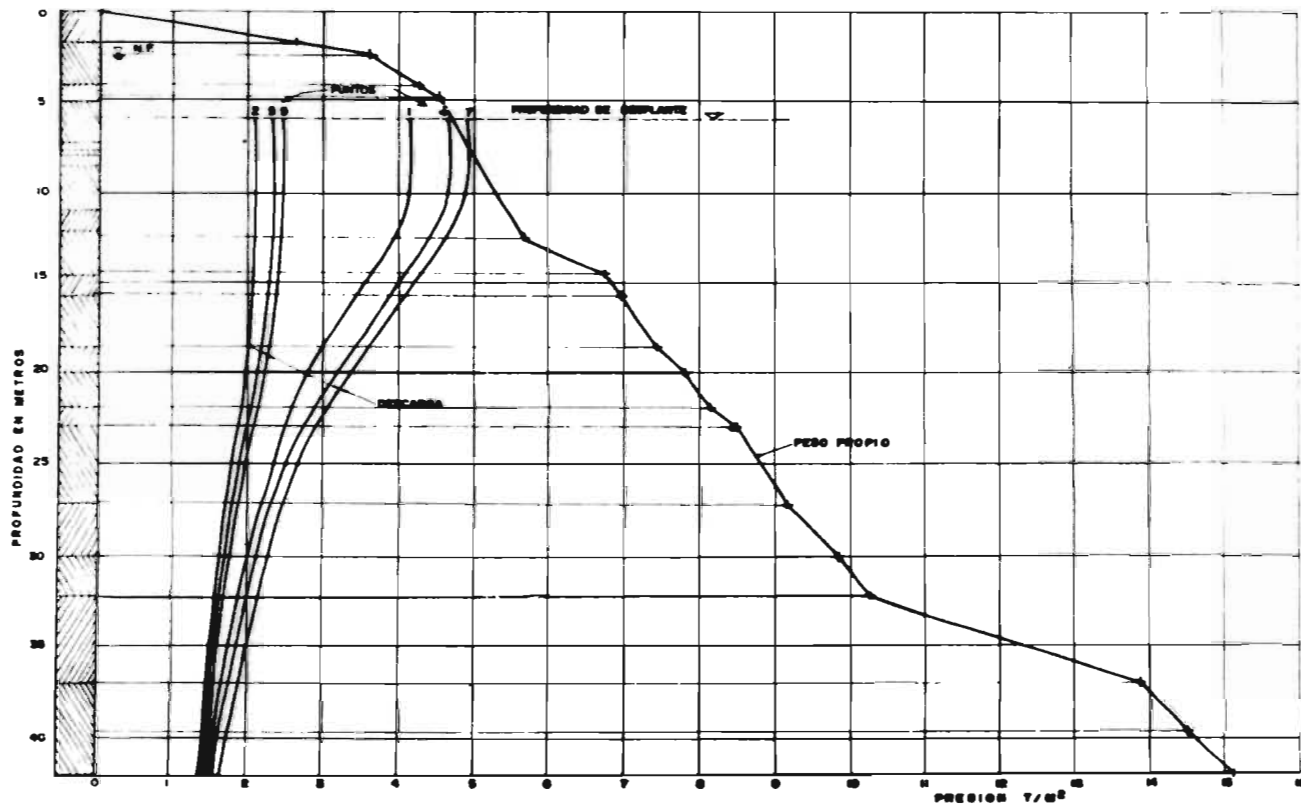


Figura 11. A. 3. 1

VARIAION CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD DE LOS ESPEROS ELEC...
TIVOS POR PESO PROPIO Y POR DESCARGA EN LOS ESPEROS PUNTOS.

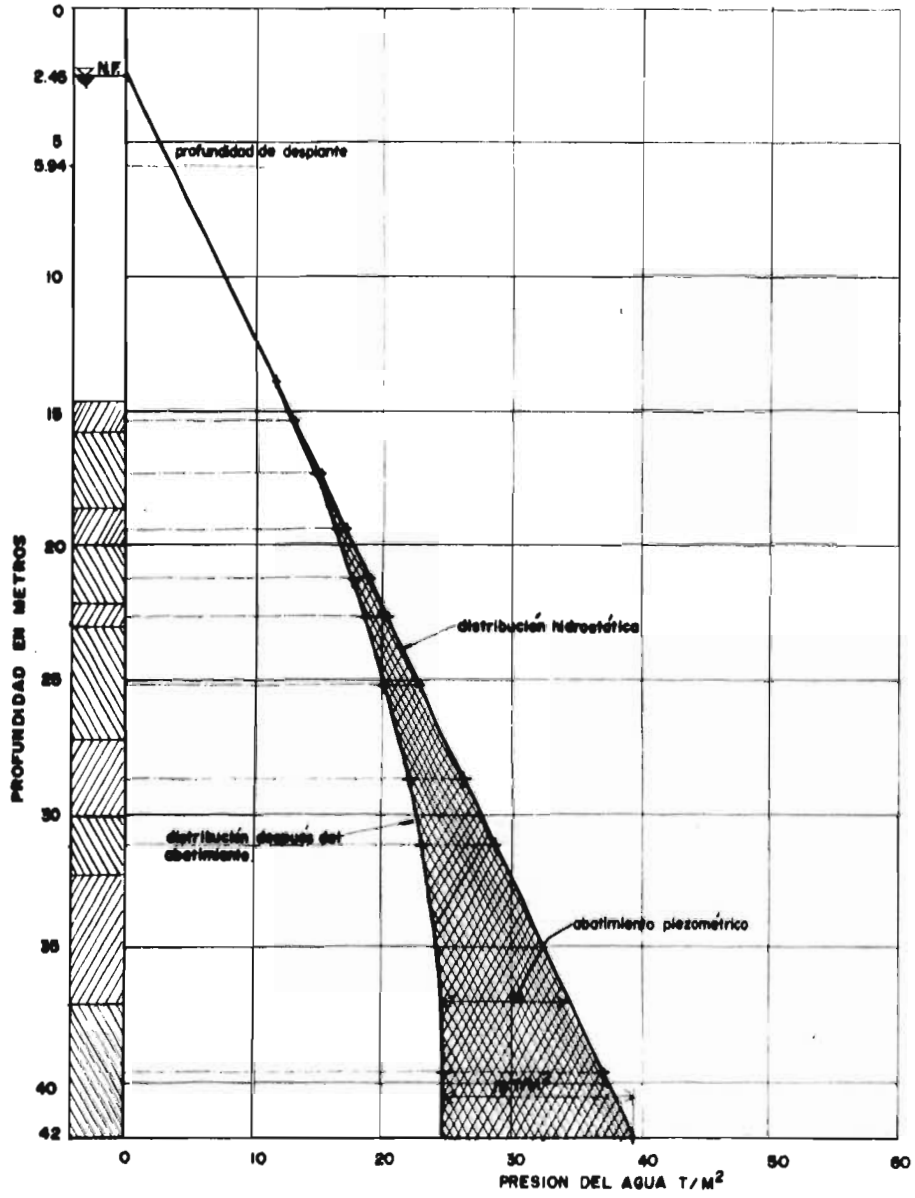


Figura II. A. 3. 2. DISTRIBUCION DE LOS ABATIMIENTOS PIEZOMETRICOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD.

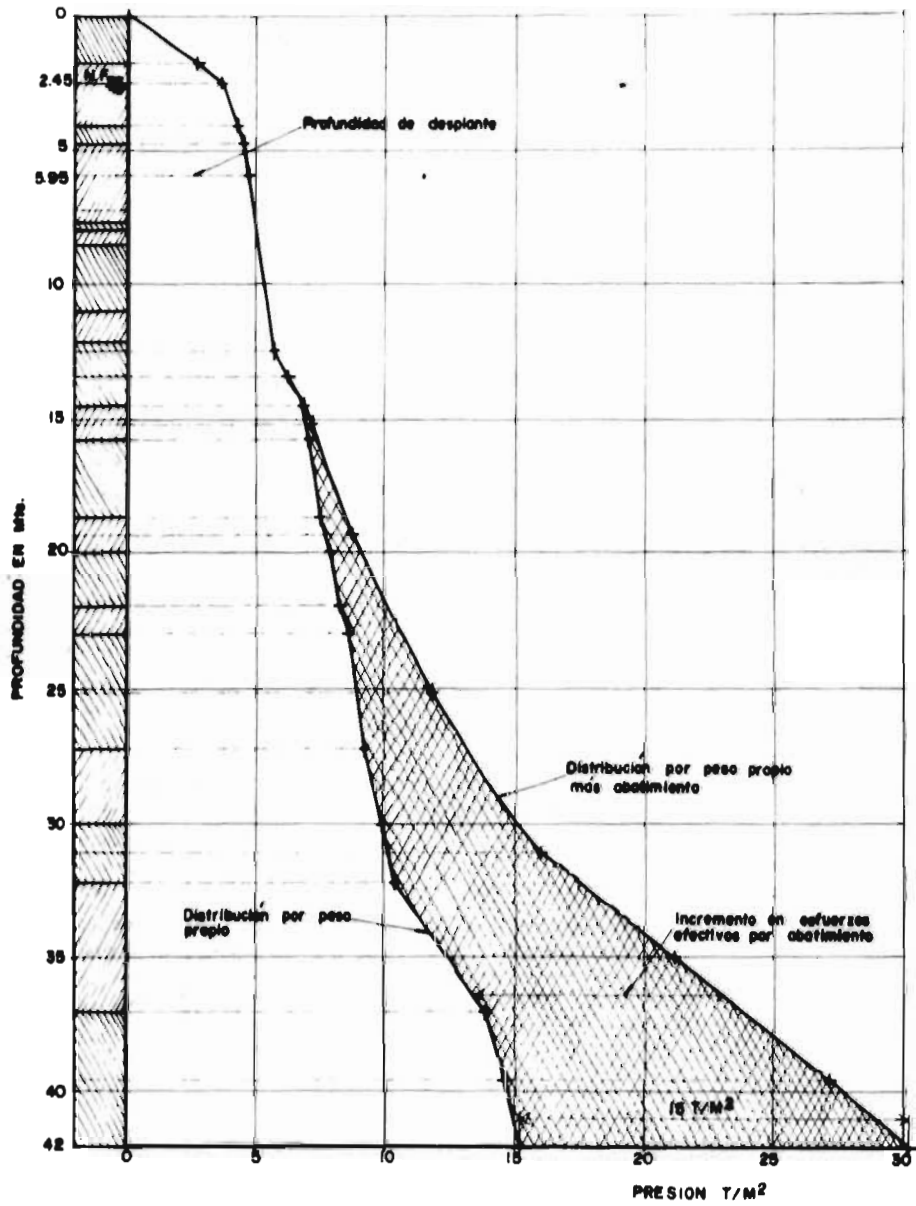


Figura II. A. 3. 3 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO E INCREMENTO DE ESTOS POR ABATIMIENTO.

Para conocer la variación en esfuerzos efectivos a una determinada profundidad z debido al abatimiento, basta conocer a esa profundidad z el esfuerzo por peso propio y el correspondiente a peso propio más abatimiento.

Posteriormente, cuando se calculen los asentamientos por abatimiento y las expansiones por descarga, se recurrirá a las figuras 11.A.3.1 y 11.A.3.3 para determinar el cambio de esfuerzos efectivos. En la Fig. 11.A.3.4 se muestran los esfuerzos efectivos por peso propio, abatimiento y descarga.

11.A.4. - EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

11.A.4.1. - Construcción de las curvas de compresibilidad.

Según se vio en el inciso 4.1 y 4.2, se obtuvieron valores medios en función del contenido natural de agua, de la relación de vacíos y de los índices de compresibilidad en la curva de recompresión-descarga y rama virgen. Esto se hizo por medio de las líneas de regresión estadística, las cuales se muestran en las Figs. 12.1.1, 12.2.1 y 12.3.1 (véase Anexo II).

La forma en que se trazaron las curvas de compresibilidad para los diferentes estratos fue la siguiente: se conoce por medio de la variación de esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad, la presión media en el estrato considerado. Por otro lado conocemos del estudio de mecánica de suelos el valor medio del contenido natural de agua; en función de este parámetro, de las figuras arriba mencionadas se obtiene la relación de vacíos inicial (e_i), el índice de compresibilidad en la zona de recompresión-descarga (C_s) y en la rama virgen (C_N).

Se hace notar que la relación de vacíos inicial también se obtuvo de la Fig. X-3 (grupo 2, zona del lago) de la Referencia No. 1; se consideró para la construcción de las curvas el promedio de las dos. Con estos cuatro datos se construyeron las curvas de compresibilidad para cada estrato; estas se muestran de la Fig. 11.A.4.1 a 11.A.4.8.

Tabla 11.A.4.1. - Parámetros que se emplearon para la construcción de las curvas de compresibilidad.

Contenido natural de agua (%)	Relación de vacíos inicial		Promedio	Índice de compresibilidad (%)	
	de referen. cia No. 1	de Fig. 12.1.1		zona de recompresión - descarga (C_s)	Rama virgen (C_N)
3.50	8.0	7.9	7.95	0.59	6.70
3.25	7.5	7.3	7.40	0.55	6.05
3.00	7.0	6.9	6.90	0.50	5.50
2.75	6.8	6.2	6.50	0.45	4.85
2.50	6.0	5.68	5.84	0.42	4.48
2.25	5.5	5.10	5.30	0.37	3.65
2.00	5.0	4.60	4.80	0.3	3.00
1.75	3.0	2.90	2.95	0.17	1.25
1.50	2.0	1.80	1.90	0.12	0.65

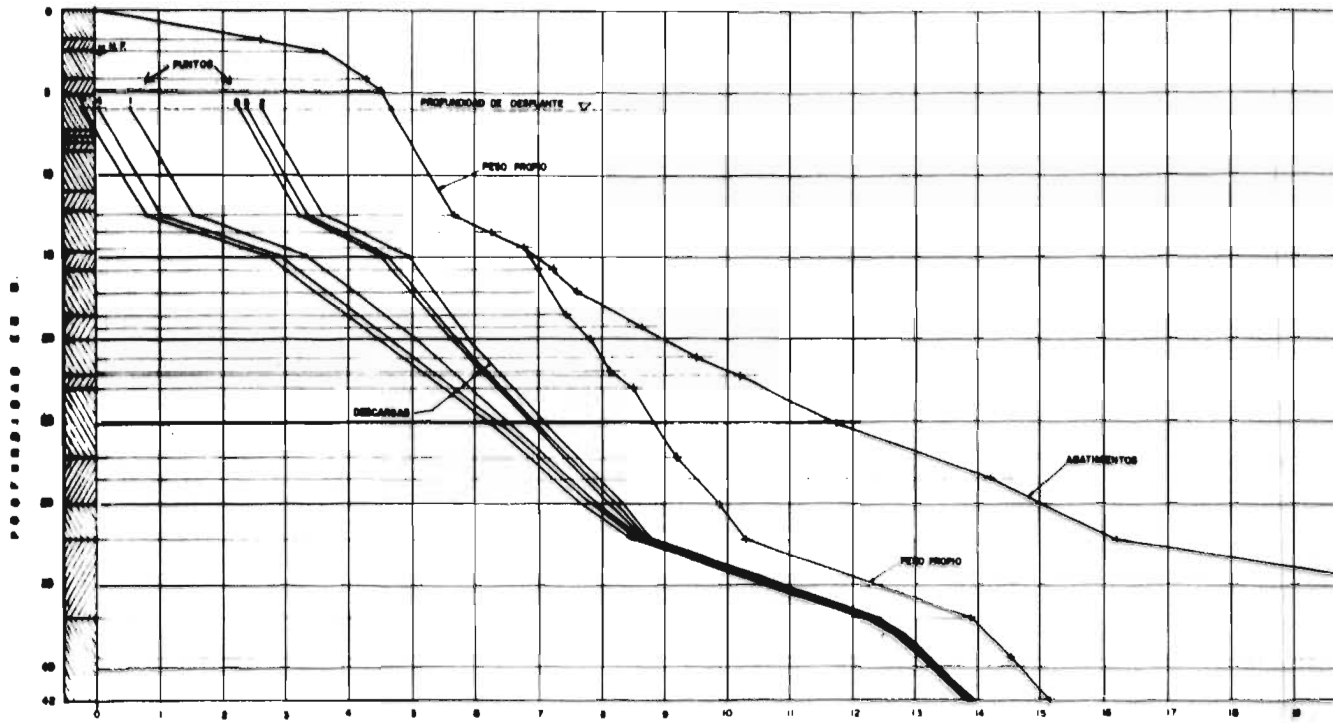


Figura 11 A 3 4 ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO ABATIMIENTO

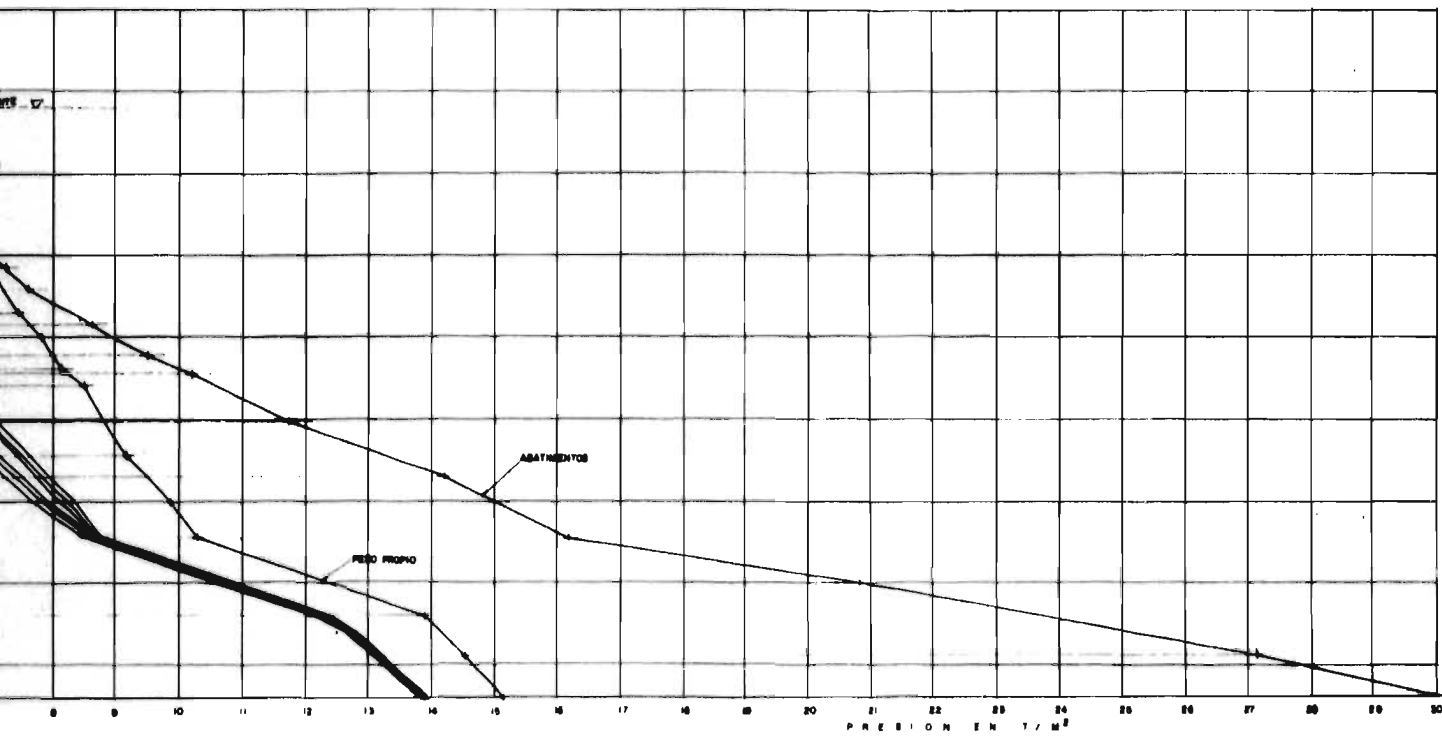


Figura 11 A 3 4. ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO ABATIMIENTO Y DESCARGA

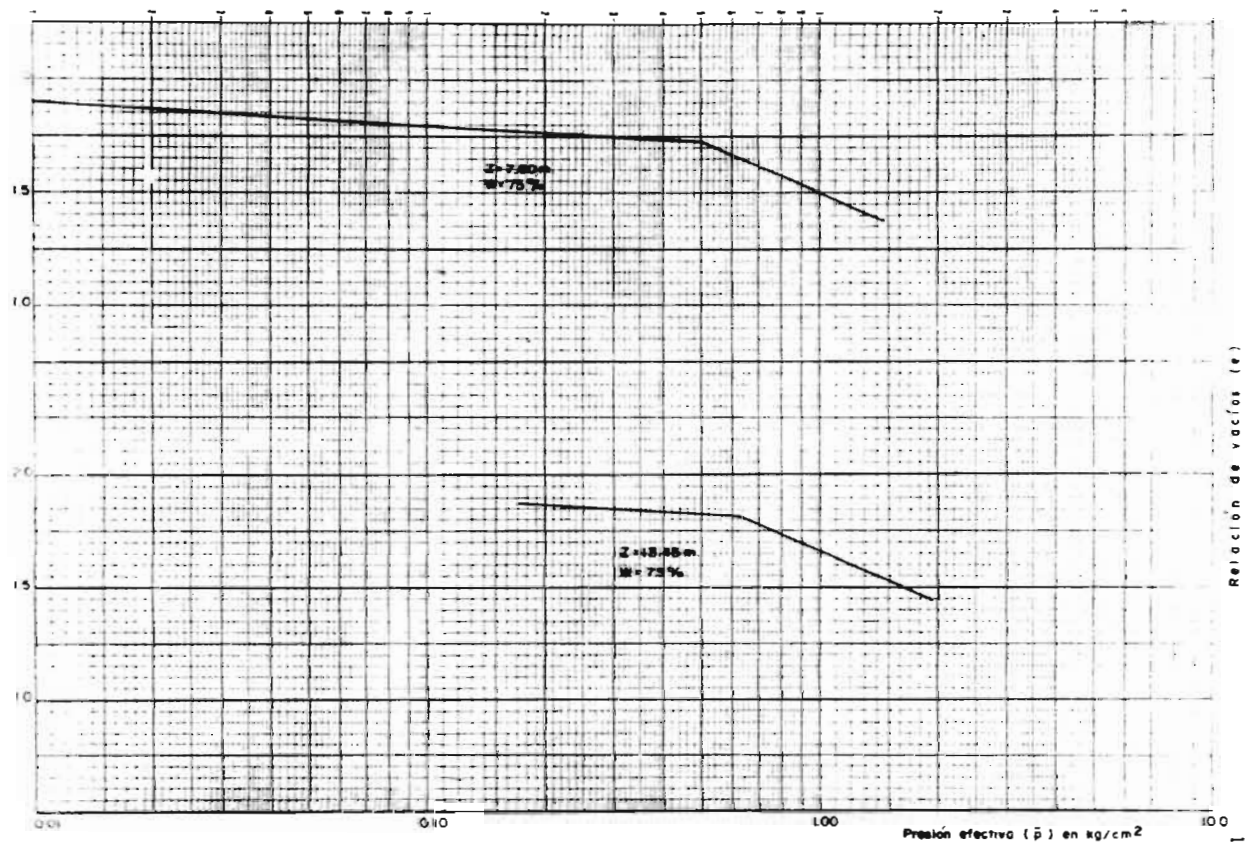


FIG. II. A. 4. I. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=750m, Z=1345 m.)

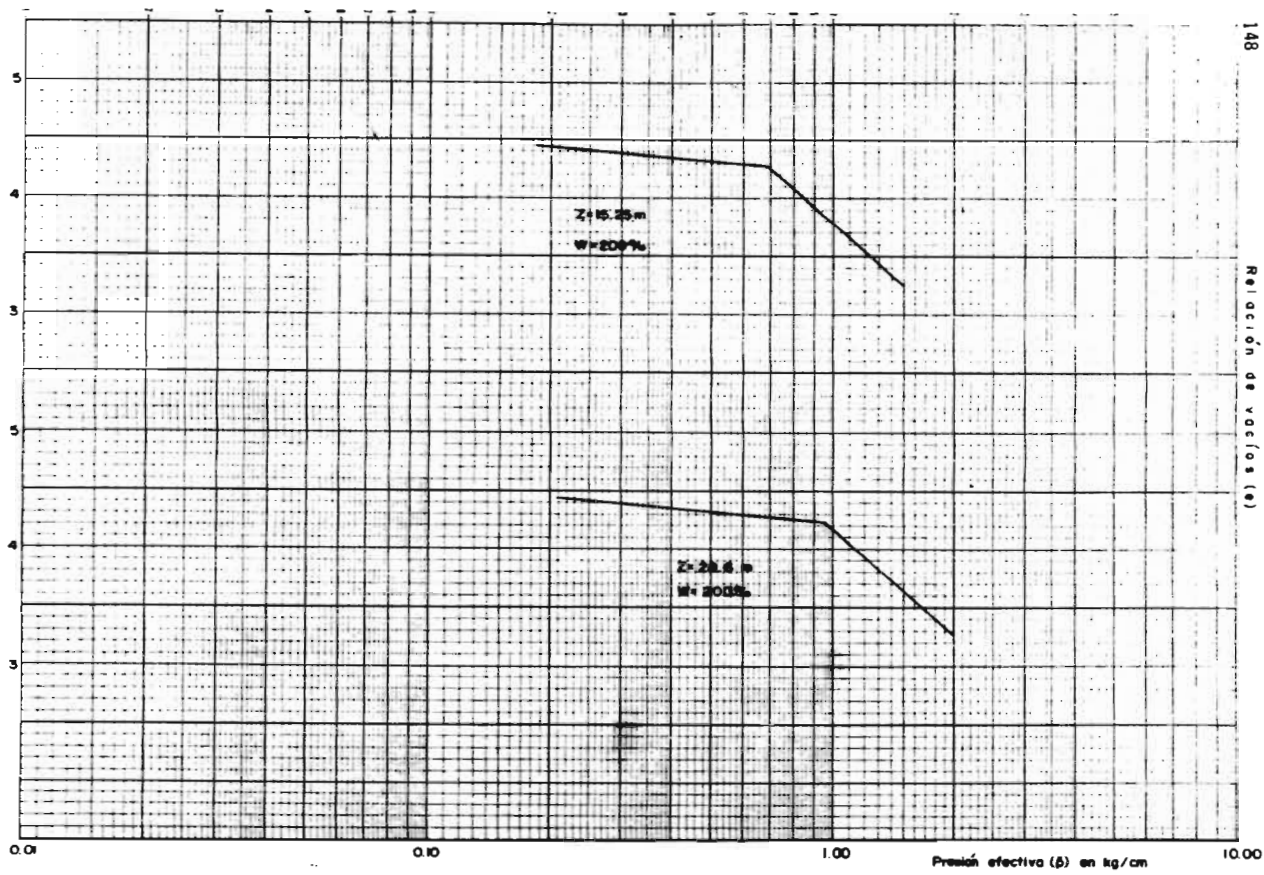


FIG. II. A. 4. 2. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=15.25m , Z=28.6m)

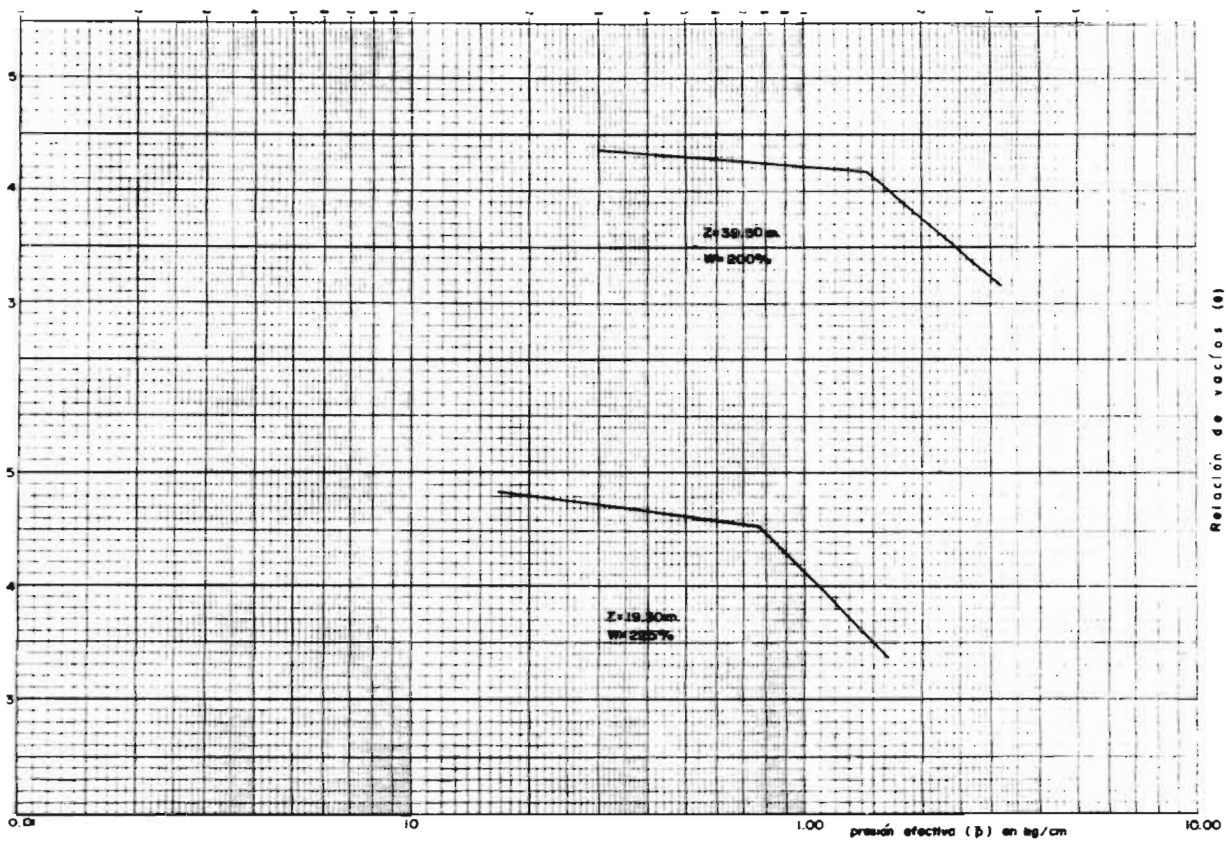


FIG. 11. A. 4. 3. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=19.30m, Z=39.50m)

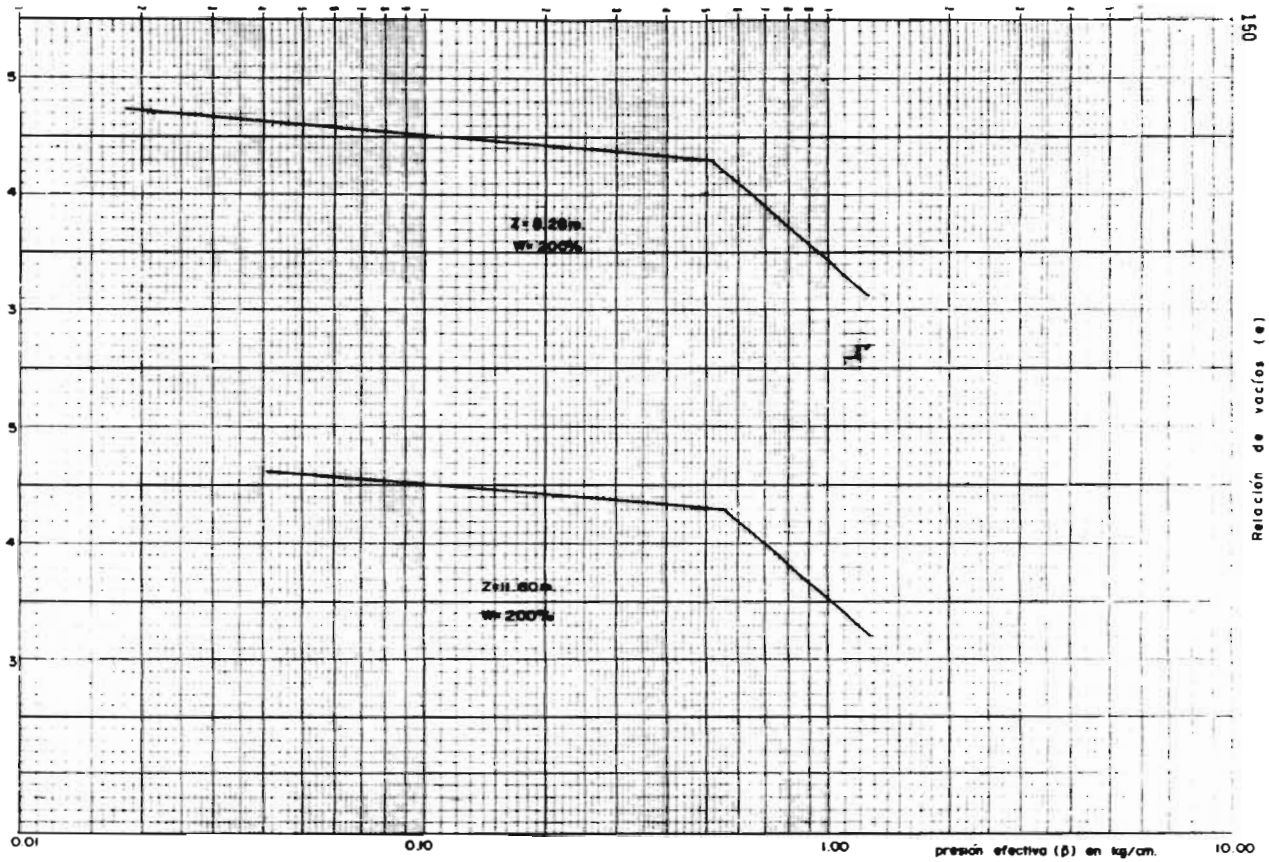


FIG. II. A. 4. 4. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=8.28 m, Z=11.60m)

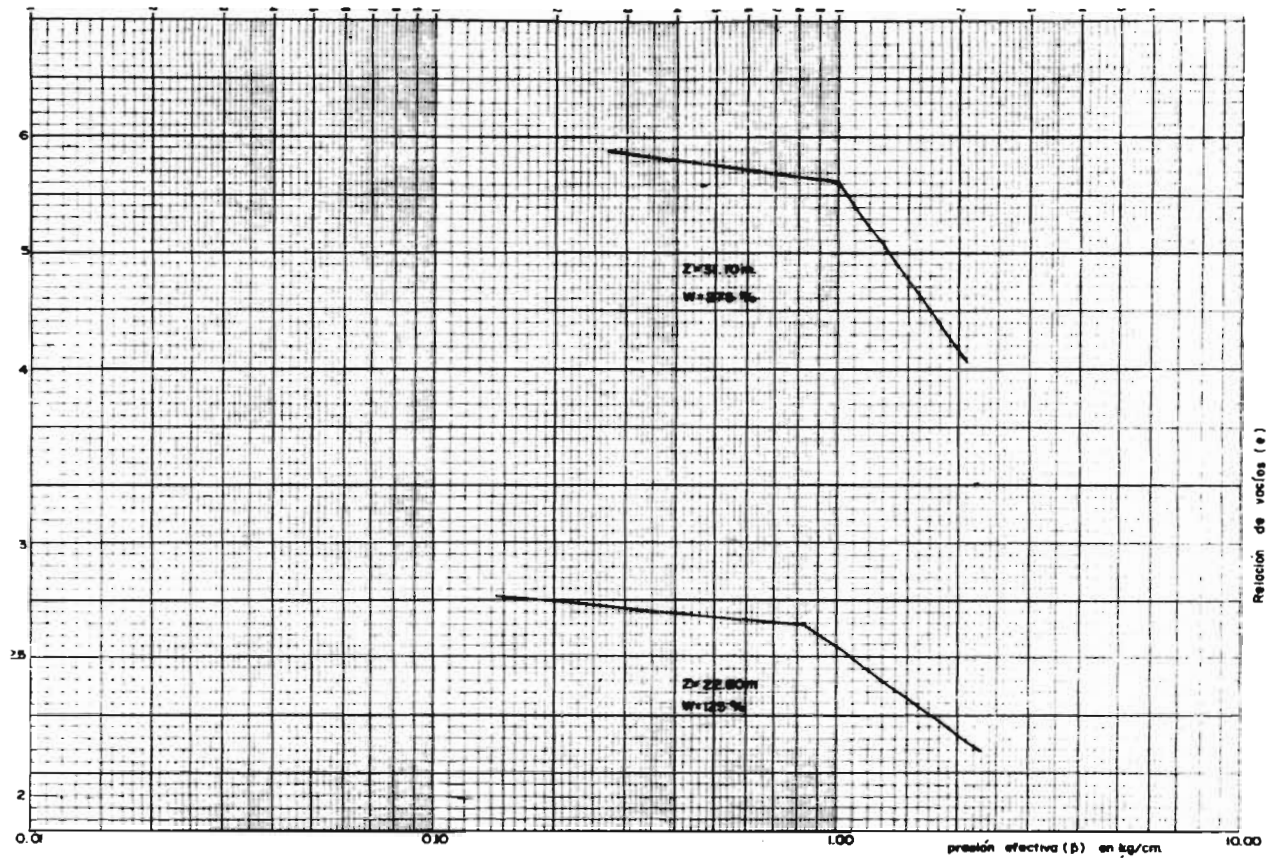


FIG. 11. A. 4. 5. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=22.60m, Z=31.10m)

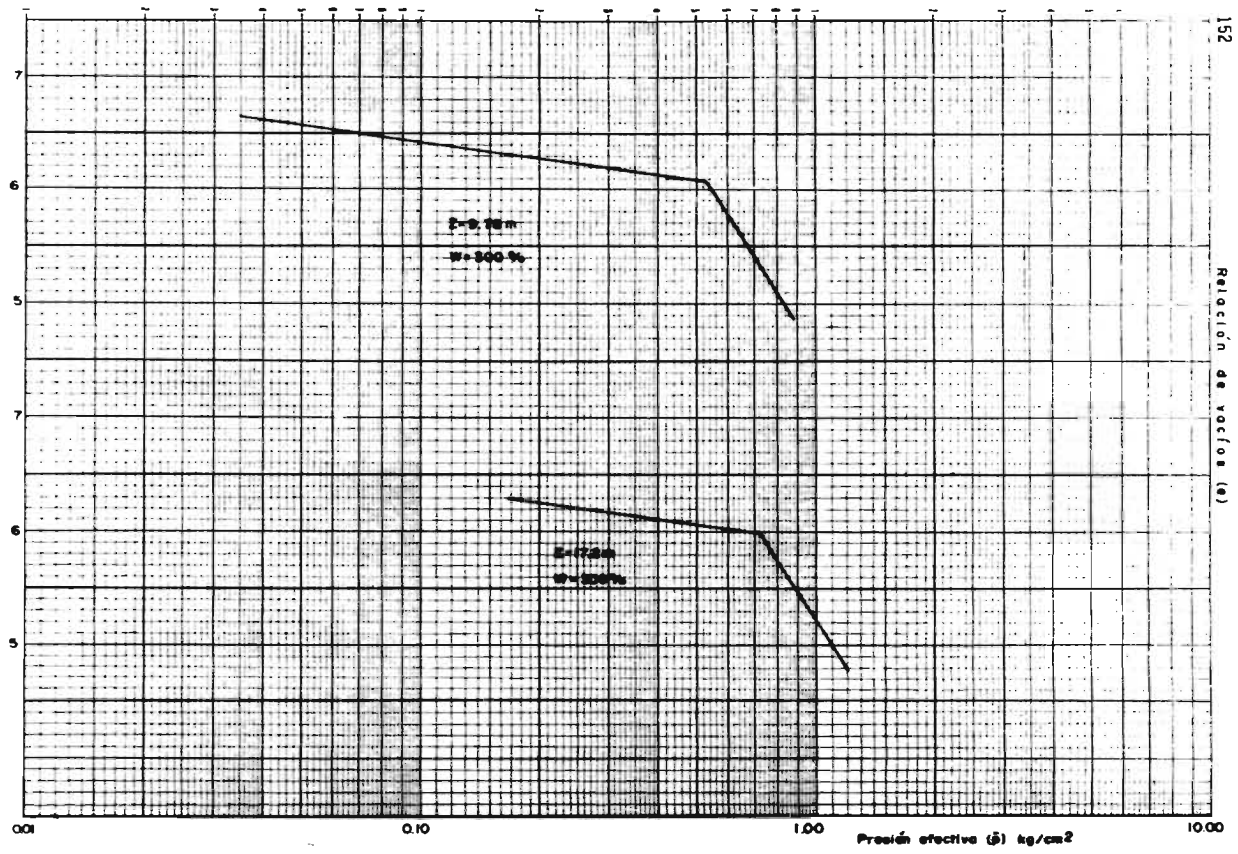


FIG. II. A. 4. 6. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=9.78m, Z=17.2m)

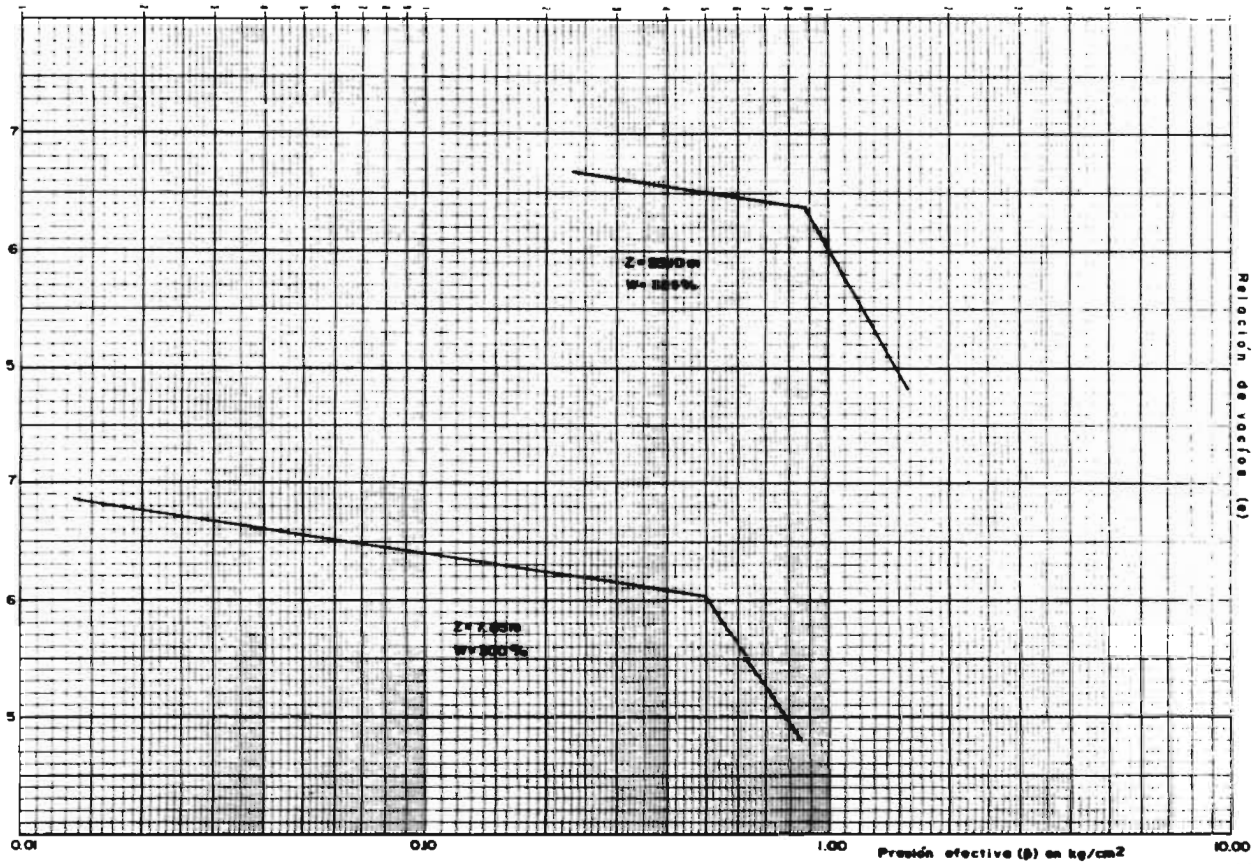


FIG. II. A. 4. 7. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=25.10m, Z=7.85m)

Relación de vacíos (e)

Presión efectiva (p) en kg/cm²

153

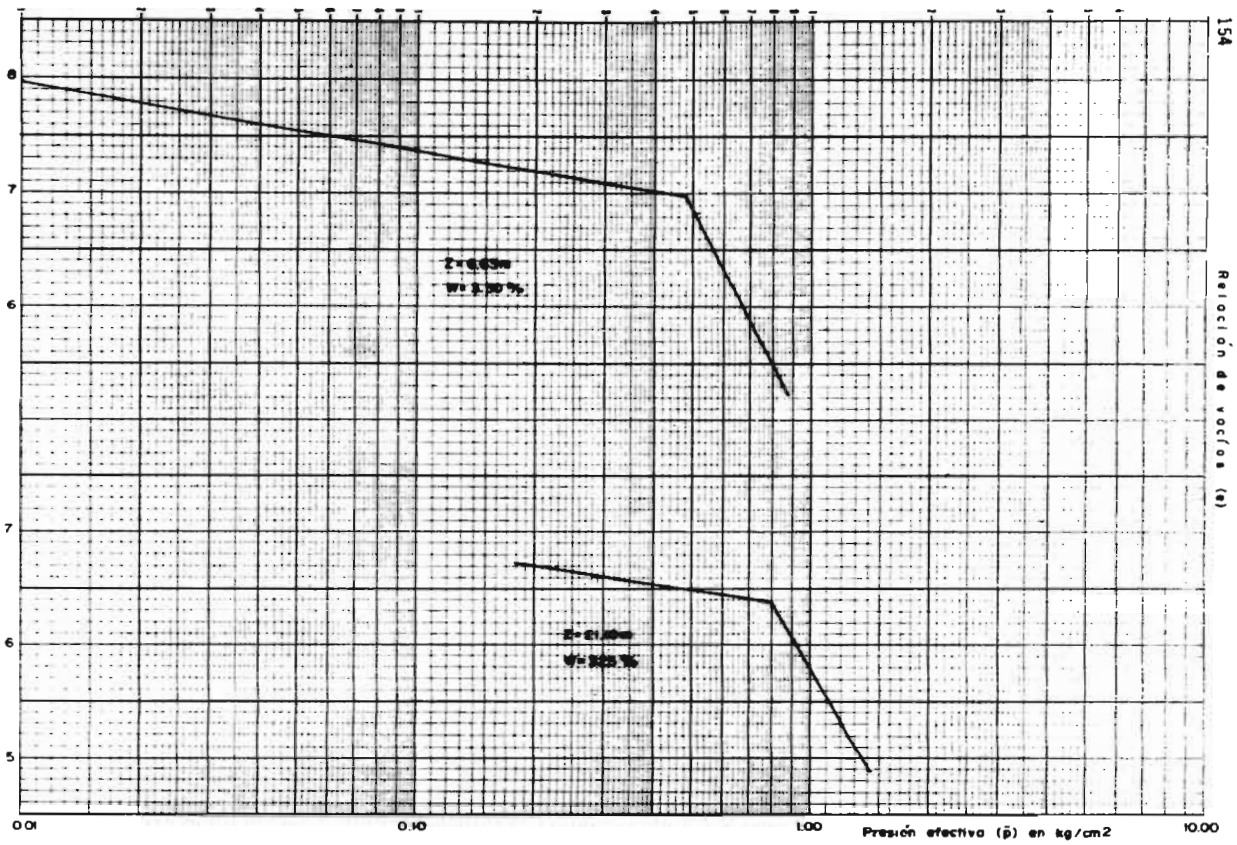


FIG. II. A. 4. B. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=6.63m, Z=21.10m)

11.A.4.2. - Obtención de las expansiones y asentamientos.

Construidas las curvas de compresibilidad se procederá a encontrar, (en puntos dentro y fuera del área de influencia) conociendo las variaciones de los esfuerzos efectivos debidos a la descarga y al abatimiento (Figs. 11.A.3.1 y 11.A.3.3), la variación, en la relación de la - e/s y por ende el asentamiento o la expansión.

En la tabla 11.A.4.2.1 se muestra esta obtención.

A continuación se obtendrá la expansión y el asentamiento promedio, según se trata en el inciso 7.4.7.

Dada la simetría de los puntos 2-3, 4-7, 5-8, 6-9, el promedio quedará expresado de la siguiente forma (véase inciso 7.4.7):

$$\delta h = \left[\frac{(\delta p_1 + \delta p_2 + \delta p_3 + \delta p_4)}{4} + \frac{(\delta p_1 + \delta p_2 + \delta p_3 + \delta p_4)}{4} \right] \frac{1}{2}$$

Substituyendo valores se obtiene:

a) Para el caso de expansiones sin hundimiento regional:

$$\delta e = \frac{2 \times 53.20 + 2 \times 26.38 + 68.80 + 26.47 + 81.46 + 29.07}{6}$$

$$= 45.62 \text{ cm}$$

b) Para el caso de asentamientos dentro del área de influencia:

$$\delta a_g = \frac{2 \times 136.19 + 2 \times 147.52 + 133.39 + 144.45 + 129.60 + 163.65}{6}$$

$$= 139.83 \text{ cm}$$

11.A.5. - GRADO DE CONSOLIDACION.

El grado de consolidación según se vio en el inciso 7.4.5, es igual al asentamiento alcanzado dividido entre el asentamiento total.

El asentamiento alcanzado se obtendrá de dos maneras, primero, de los datos de las curvas de igual hundimiento de la C.A.V.M. en la zona de estudio; y segundo, mediante los datos de la nivelación efectuada. El asentamiento total alcanzado es el reportado en la tabla 11.A.4.2.1, en la columna "asentamientos fuera del área de influencia" (209.75 cm).

a) Mediante los datos de la C.A.V.M.

Este caso se construyó en el mes 12 de diciembre de 1959 y el estudio se hizo en Mayo de 1975, por lo tanto se obtendrá el asentamiento en este período; se aprovecharán los asentamientos parciales

CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS				CONDICIONES INICIALES		ABATIMIENTO	EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO				EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO	
h	h _m	d	w	p _i	e _i	p _a	A _p	p _f	e _f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	p _f	e _f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	A _p	p _f	e _f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	p _f	
m	m	cm	%	Kg/cm ²		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	
5.95-7.30	6.63	135	350	0.484	6.98	-	0.413	0.071	7.47	0.061	8.28					0.207	0.277	7.11	0.016	2.19		
7.30-7.70	7.50	40	75	0.501	1.73	-	0.413	0.088	1.82	0.033	1.31					0.207	0.294	1.75	0.007	0.29		
7.70-8.00	7.85	30	300	0.507	6.05	-	0.413	0.094	6.41	0.051	1.53					0.207	0.300	6.16	0.016	0.47		
8.00-8.55	8.28	55	200	0.512	4.30	-	0.413	0.099	4.51	0.040	2.18					0.207	0.305	4.38	0.015	0.83		
8.55-11.00	9.78	245	300	0.531	6.06	-	0.411	0.120	6.38	0.045	11.10					0.207	0.324	6.27	0.030	7.28		
11.00-12.20	11.60	120	200	0.556	4.30	-	0.403	0.153	4.46	0.030	3.62					0.207	0.349	4.36	0.011	1.36		
12.20-14.70	13.45	250	75	0.621	1.82	-	0.378	0.243	1.86	0.014	3.54					0.204	0.417	1.83	0.004	0.89		
14.70-15.80	15.25	110	200	0.688	4.28	0.025	0.350	0.338	4.37	0.017	7.87	0.363	4.36	0.002	0.205	0.201	0.487	4.32	0.008	0.83	0.512	4
15.80-18.60	17.20	280	300	0.721	5.99	0.040	0.320	0.401	6.11	0.017	4.80	0.441	6.09	0.003	0.788	0.198	0.523	6.06	0.010	2.80	0.563	6
18.60-20.00	19.30	140	225	0.762	4.56	0.100	0.288	0.474	4.65	0.016	2.26	0.574	4.62	0.005	0.743	0.195	0.527	4.61	0.009	1.26	0.667	4
20.00-22.20	21.10	220	325	0.801	6.38	0.150	0.269	0.537	6.48	0.014	2.98	0.687	6.41	0.009	2.059	0.191	0.610	6.44	0.008	1.79	0.760	6
22.20-23.00	22.60	80	125	0.835	2.64	0.200	0.251	0.584	2.67	0.008	0.66	0.784	2.645	0.007	0.545	0.186	0.649	2.66	0.005	0.22	0.844	2
23.00-27.20	25.10	420	325	0.883	6.37	0.290	0.235	0.648	6.44	0.009	3.98	0.938	6.21	0.031	12.984	0.181	0.702	6.41	0.005	2.28	0.992	6
27.20-30.00	28.60	280	200	0.951	4.23	0.470	0.210	0.741	4.27	0.008	2.14	1.211	3.90	0.070	19.658	0.173	0.778	4.26	0.006	1.60	1.248	3
30.00-32.20	31.10	220	275	1.007	5.62	0.590	0.195	0.812	5.68	0.009	1.99	1.402	4.92	0.114	25.030	0.160	0.847	5.66	0.006	1.33	1.437	4
37.00-42.00	39.50	500	200	1.451	4.18	1.200	0.134	1.317	4.19	0.002	0.96	2.577	3.42	0.148	74.181	0.127	1.324	4.19	0.002	0.96	2.584	3

NOTAS:
 1. EN LA COLUMNA Δh DE "ASENTAMIENTOS DEBIDOS AL ABATIMIENTO", SE HA INDICADO SUBRAYADO EL ASENTAMIENTO PARCIAL, EL CUAL CORRESPONDE A LA PROFUNDIDAD DONDE LOS ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO POR ABATIMIENTO Y POR EXPANSION SON IGUALES. EL ASENTAMIENTO HASTA ESTA PROFUNDIDAD ESTA INDICADO POR (1).
 2. LA PRESION Y RELACION DE VACIOS INICIAL EN EL CASO DE "ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO", CORRESPONDEN A LA PRESION Y RELACION DE VACIOS FINAL PARA EL CASO DE "EXPAN-

SION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL.
 3. CADA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVO DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$\Delta h = \frac{\Delta e}{1+e_i} \times d$$
 4. NO. (CAPA) SUP. SIMBO. h = PRO h_m = PRO

TAB. II.A.4.2.1. OBTENCION DE LAS EXPANSIONES

PUNTO N.º 1											PUNTO N.º 2											PUNTO N.º 4										
EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO						EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO						EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO					
P_a	P_f	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh				
Kg/cm^2	Kg/cm^2	Kg/cm^2		cm	Kg/cm^2			cm	Kg/cm^2			cm	Kg/cm^2			cm	Kg/cm^2			cm	Kg/cm^2			cm	Kg/cm^2			cm				
-	0.413	0.071	7.47	0.061	8.28																											
-	0.413	0.088	1.82	0.033	1.31																											
-	0.413	0.099	6.41	0.051	1.53																											
-	0.413	0.099	4.51	0.040	2.18																											
-	0.411	0.120	6.38	0.045	11.10																											
-	0.403	0.153	4.46	0.030	3.62																											
-	0.378	0.243	1.86	0.014	3.54																											
0.025	0.350	0.338	4.37	0.017	1.87	0.363	4.36	0.002	0.205																							
0.040	0.320	0.401	6.11	0.017	4.60	0.441	6.09	0.003	1.788																							
0.100	0.288	0.479	4.65	0.016	2.26	0.574	4.62	0.005	0.743																							
0.150	0.264	0.537	6.48	0.014	2.98	0.687	6.41	0.009	2.059																							
0.200	0.251	0.584	2.67	0.008	0.66	0.784	2.645	0.007	0.545																							
0.290	0.235	0.648	6.44	0.009	3.98	0.938	6.21	0.031	12.989																							
0.470	0.210	0.741	4.27	0.008	2.14	1.211	3.90	0.070	19.658																							
0.590	0.195	0.812	5.68	0.009	1.99	1.402	4.92	0.114	25.030																							
1.260	0.134	1.317	4.19	0.002	0.96	2.577	3.92	0.148	74.181																							
$\Sigma = 53.20 \text{ cm}$					$\Sigma = 136.193 \text{ cm}$						$\Sigma = 26.38 \text{ cm}$					$\Sigma = 147.517 \text{ cm}$						$\Sigma = 68.80 \text{ cm}$					$\Sigma = 133.398 \text{ cm}$					

ASENTAMIENTOS DEBIDOS AL ABATIMIENTO, EL ASENTAMIENTO PARCIAL, EL HUNDIMIENTO POR LOS ESFUERZOS REGIONALES Y POR EXPANSION SON A ESTA PROFUNDIDAD ESTA INDICA.

3.- CADA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVO DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$\Delta h = \frac{\Delta e}{1+e_i} \times d$$

4.- NO SE MUESTRA LA PRIMERA CAPA DURA, PORQUE SE HA SUPUESTO INCOMPRESIBLE.

SIMBOLOGIA:

- h = PROFUNDIDAD DEL ESTRATO.
- h_m = PROF. MEDIA DEL ESTRATO.
- d = ESPESOR DEL ESTRATO.
- w = CONTENIDO NATURAL DE AGUA.
- P_i = PRESION INICIAL.
- e_i = RELACION DE VACIOS INICIAL.
- Δp = INCREMENTO DE PRESION (NEGATIVA O POSITIVA).
- Δh = ASENTAMIENTO O EXPANSION.

OBTENCION DE LAS EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

PUNTO N. 5					PUNTO N. 7					PUNTO N. 9					ASENTAMIENTO FUERA DEL AREA DE INFLUENCIA					
EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO FUERA DEL AREA DE INFLUENCIA					
P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh		P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh		P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh		P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh		
Kg/cm ²			cm		Kg/cm ²			cm		Kg/cm ²			cm		Kg/cm ²			cm		
0.252	7.13	0.019	2.54		0.490	-0.006	7.95	0.122	16.41		0.244	0.240	7.15	0.021	2.87					
0.269	1.75	0.007	0.29		0.490	0.011	1.90	0.062	2.49		0.244	0.257	1.75	0.007	0.29					
0.275	6.19	0.020	0.59		0.490	0.017	6.80	0.106	3.19		0.244	0.263	6.19	0.020	0.59					
0.280	4.39	0.017	0.93		0.490	0.022	4.70	0.075	4.15		0.244	0.268	4.39	0.017	0.93					
0.299	6.19	0.018	4.51		0.487	0.044	6.60	0.076	18.73		0.243	0.288	6.19	0.018	4.51					
0.325	4.37	0.013	1.58		0.477	0.079	4.54	0.045	5.43		0.241	0.315	4.38	0.013	1.81					
0.372	1.83	0.009	0.89		0.448	0.173	1.87	0.018	4.43		0.240	0.381	1.84	0.009	1.77					
0.462	4.32	0.008	0.83	0.487	4.315	0.009	0.103		0.299	4.38	0.002	0.209	0.337	0.451	4.52	0.008	0.83	0.476	4.315	
0.501	6.07	0.011	3.20	0.541	6.05	0.003	0.792		0.380	6.12	0.003	0.280	0.491	6.08	0.013	3.60	0.531	6.06	0.003	
0.591	4.62	0.011	1.51	0.647	4.60	0.004	0.498		0.398	4.63	0.009	1.23	0.282	0.540	4.62	0.011	1.51	0.640	4.60	0.004
0.591	6.45	0.009	2.09	0.741	6.395	0.007	1.624		0.322	6.43	0.009	2.033	0.317	0.584	6.45	0.009	2.09	0.734	6.40	0.007
0.629	2.66	0.005	0.44	0.829	2.645	0.004	0.328		0.305	2.67	0.008	0.66	0.730	2.65	0.005	0.436	0.314	0.621	2.67	0.008
0.688	4.42	0.007	2.85	0.978	4.08	0.044	19.295		0.275	4.60	0.012	5.13	0.898	6.32	0.019	7.88	0.202	0.681	4.42	0.007
0.774	4.26	0.006	1.60	1.244	3.86	0.076	21.294		0.236	0.715	4.28	0.010	2.68	1.185	3.93	0.066	18.561	0.185	0.766	4.27
0.840	5.67	0.008	1.66	1.430	4.87	0.120	26.387		0.219	0.788	5.69	0.011	2.33	1.378	4.95	0.111	24.335	0.175	0.852	5.67
1.317	4.19	0.002	0.96	2.577	3.42	0.148	74.181		0.151	1.300	4.19	0.002	0.96	2.560	3.42	0.148	74.181	0.128	1.323	4.19

$\Sigma = 26.41 \text{ cm}$ $\Sigma = 144.451 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 81.46 \text{ cm}$ $\Sigma = 129.663 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 29.07 \text{ cm}$ $\Sigma = 143.648 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 209.75 \text{ cm}$
 $\Sigma = 3.345 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 4.707 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 3.414 \text{ cm}^{(1)}$

1. - CALA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVO DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$\Delta h = \frac{\Delta e \cdot d}{1 + e_x}$$

2. - NO SE MUESTRA LA PRIMERA CAPA BURA, PORQUE SE HA SUPUESTO INCOMPRESIBLE.
 SIMBOLOGIA:
 d = ESPESOR DEL ESTRATO.
 w = CONTENIDO NATURAL DE AGUA.
 P_i = PRESION INICIAL.
 e_i = RELACION DE VACIOS INICIAL.
 Δp = INCREMENTO DE PRESION (NEGATIVA O POSITIVA).
 Δh = ASENTAMIENTO O EXPANSION.

ANALISIS DE LAS EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

proporcionados por los boletines de la C.A.U.M.

Período	Lapso años	Asentamiento	
		total m	por año cm/año
Jun. 59 - Ays. 73	14.17	1.35	9.53
Jun. 63 - Ays. 73	10.17	0.62	6.10
Jun. 66 - Ays. 73	7.17	0.40	5.58
Mar. 70 - Ays. 73	3.42	0.22	6.43

Para obtener el asentamiento en los diferentes períodos se hará la siguiente sustracción: por ejemplo, el asentamiento en el período Junio 59 - Junio 63 será igual al del período Junio 59 - Agosto 73 menos el del período Junio 63 - Agosto 73.

Período	Lapso años	Asentamiento total
		m
Jun. 59 - Jun. 63	4	0.73
Jun. 63 - Jun. 66	3	0.22
Jun. 66 - Mar. 70	3.75	0.18
Mar. 70 - Ays. 73	3.42	0.22
Ays. 73 - May. 75	1.75	0.098 ⁽¹⁾
		$\Sigma = 1.45$

(1) supuesto

A esta suma habrá que restarle el asentamiento de Junio 59 a Dic. 59, ya que en diciembre se construyó el piso; esto es 0.5 de año el cual para el período de Junio 59 a Junio 63 representa un asentamiento de: $0.5 \times \frac{0.73}{4} = 0.091$ m.

Luego el asentamiento total de diciembre 59 a Mayo 75, será:

$$\Delta h = 1.45 - 0.091 = \Delta h = 1.36 \text{ m}$$

b) Según la nivelación corrida.

En la Fig. 14.IV.8 (Anexo II) se puede observar que el hundimiento que han experimentado los puntos fuera de la zona afectada por la cimentación (hundimiento regional durante la vida de la estructura), es en el lado Oriente de 1.20 m y en el Poniente de 1.15 m. Consideremos como promedio 1.17 m. por lo tanto el grado de consolidación será este valor dividido entre el asentamiento total en puntos fuera del área de influencia (Δa_f); véase Tabla II. A. 4.2.1.

$$U = \frac{1.17 \text{ cm}}{209.75 \text{ cm. } (\Delta a_f)} \quad U = 56\% \text{ (según nivelación)}$$

y

$$U = \frac{136 \text{ cm}}{209.75 \text{ cm}} = 65\% \text{ (según C.A.U.M.)}$$

11.A.6. - VERIFICACION DE LA CONDICION QUE DEBE SATISFACER EL PROBLEMA.

La condición que debe llenar el problema es según el inciso 7.4.6 la siguiente: Las características del abatimiento, el valor de los parámetros del suelo deben ser tales, que para la edad de la estructura (15.5 años aproximadamente) el hundimiento regional (o el grado de consolidación) debe ser igual al obtenido por la nivelación o las curvas de la C.A.U.M.

En este caso se tratará de obtener el grado de consolidación que se ha alcanzado durante la edad de la estructura y compararlo con los obtenidos por la nivelación y las curvas de la C.A.U.M.

En la Fig. 11.A.6.1 se muestra la posición de los drenes (de acuerdo al perfil estratigráfico, Fig. 11.A.1.7) y la ley de abatimientos; también se presenta un resumen de los parámetros del suelo y de los resultados. Para obtener el tiempo de consolidación, se recurrirá a la siguiente expresión derivada de la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi.

$$t = \frac{H^2 T}{C_v} ; \text{ donde}$$

t : tiempo para que se lleve a cabo un determinado grado de consolidación.

H : espesor efectivo del estrato

T : factor tiempo

C_v : coeficiente de consolidación

De la figura arriba mencionada se puede observar que la distribución de abatimientos afecta una parte de la primera formación arcillosa y toda la segunda.

Se ve claramente que ambas van a sufrir diferentes grados de consolidación para un determinado tiempo, ya que el espesor efectivo es bastante mayor en el caso de la primera que en el de la segunda formación. En vista de esto se obtendrán por separado los tiempos en una y otra formación para alcanzar los siguientes grados de consolidación:

$$U = 56, 65 \text{ y } 95\%$$

Conocemos de la Fig. 11.A.6.1 los espesores efectivos, se necesita ahora conocer el factor tiempo y el coeficiente de consolidación. Factor tiempo: de la Referencia 12, se obtuvieron los siguientes valores:

$$T_{95} = 1.127 ; T_{65} = 0.342 ; T_{56} = T_{50} + \text{el valor de la pendiente promedio en el intervalo } (T_{50} - T_{60}) \times 1$$

$$T_{56} = 0.248 + 0.009 \times 1 ; T_{56} = 0.247$$

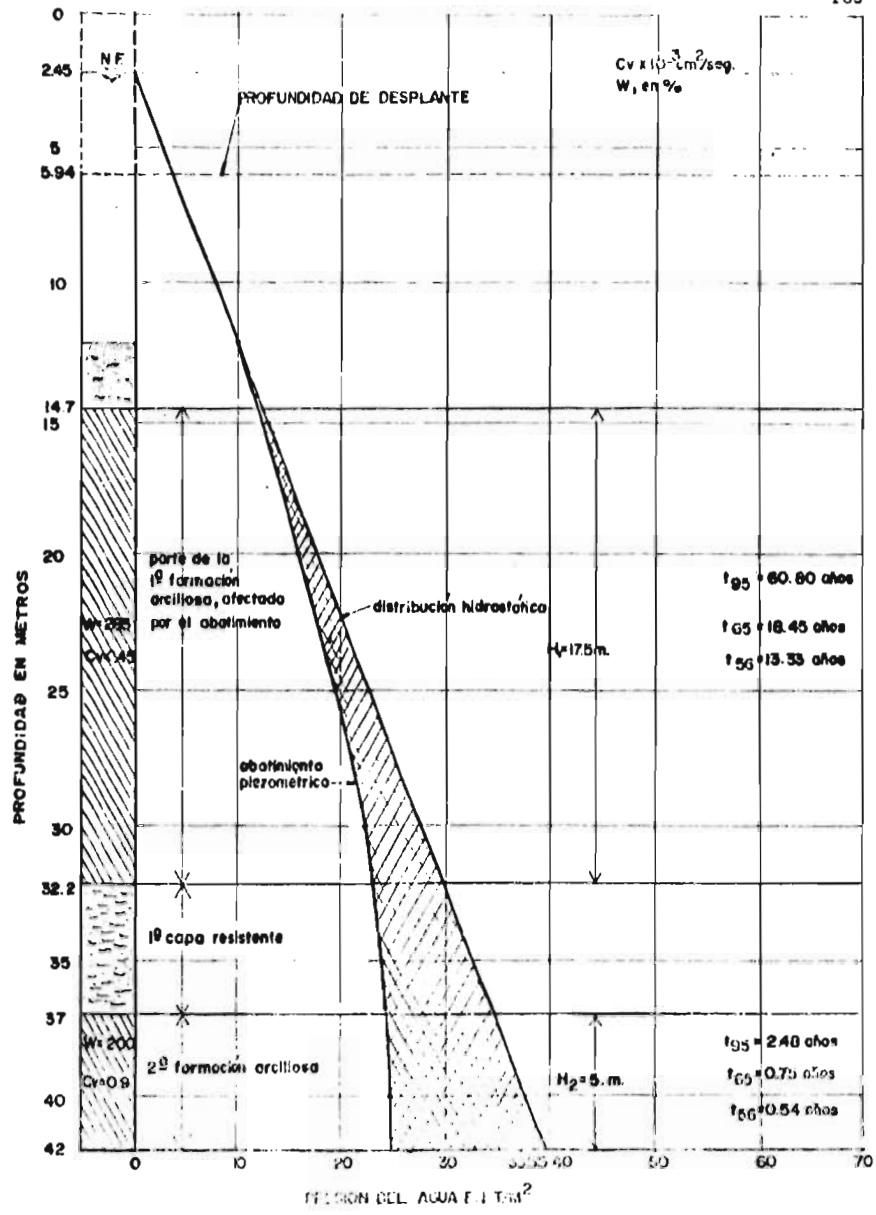


Figura II A 6.1. TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN, LOCALIZACIÓN DE DRENES LEY DE ABATIMIENTOS.

Para obtener el valor del coeficiente de consolidación se recurrió a la Referencia N.º 1, Fig. X-20; en ella vienen las curvas de regresión estadística de este coeficiente en la rama virgen (con respecto al contenido natural de agua). Viene por zonas, grupos, y formaciones (ver inciso 4.2).

Como la parte de la primera formación arcillosa afectada por el abatimiento abarca estratos con diferente contenido de agua, se obtendrá el promedio de la siguiente manera:

Contenido de agua \times longitud del estrato ($w_i \times l_i$)

$$\sum_{i=1}^n (w_i \times l_i) = 200\% \times 1.10\text{m} + 400 \times 2.0 + 225 \times 1.4 + 325 \times 2.2 + 125 \times 0.8 + 325 \times 4.2 + 200 \times 2.8 + 275 \times 2.2 = 4720$$

$$w_{\text{prom}} \times 17.50\text{m} = 4720$$

$$w_{\text{prom}} = 295.71\%$$

Para este contenido de agua el coeficiente de consolidación en la formación arcillosa superior (grupo 2) resultó de $0.45 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg}$. Para la segunda formación con un contenido de agua de 200%, se obtuvo: $C_N = 0.9 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg}$.

Substituyendo los valores del espesor efectivo y el factor tiempo se obtiene:

a) primera formación arcillosa:

Como el tiempo se va a dar en años, es necesario cambiar las unidades de C_N a $\text{cm}^2/\text{año}$.

$$1 \text{ año} = 60 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ seg} = 31536000 \text{ seg} (31536 \times 10^3 \text{ seg})$$

Entonces:

$$C_N \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg} = C_N \times 10^{-3} \times 31536 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{año}$$

Luego

$$t_{95} = \left(\frac{7.50}{2} \right)^2 \times \frac{1.127}{0.45 \times 10^{-3} \times 31536 \times 10^3}$$

$$= 53.95 \times 1.127$$

$$t_{95} = 60.80 \text{ años}$$

$$t_{65} = 53.95 \times 0.342$$

$$= 18.45 \text{ años}$$

$$t_{50} = 53.95 \times 0.247$$

$$= 13.33 \text{ años}$$

b) Segunda formación arcillosa

siguiendo el mismo procedimiento

$$t_{95} = 50\% \left(\frac{7.50}{2} \right)^2 \times \frac{1.127}{0.9 \times 31536}$$

$$t_{95} = 2.20 \times 1.127 \\ = 2.48 \text{ años}$$

$$t_{65} = 2.20 \times 0.342 \\ = 0.75 \text{ años}$$

$$t_{26} = 2.20 \times 0.247 \\ = 0.54 \text{ años}$$

De estos resultados se concluye que la segunda formación arcillosa se consolida con mucho mayor rapidez que la parte de la primera formación afectada por el abatimiento. También se desprende que la parte de la primera formación afectada por el abatimiento es la que está en la actualidad sufriendo consolidación. Además se concluye que la segunda formación arcillosa ya no se está consolidando, alcanzó el 100% de consolidación relativamente pronto (2.48 años). Considerando estas deducciones se puede construir la Fig. 11.A.6.2, en ella se muestran las contribuciones que con el tiempo (o los diferentes grados de consolidación) van teniendo la 1ª y 2ª formación arcillosa en el hundimiento regional. La suma de ambas contribuciones también se muestra y es precisamente el hundimiento regional teórico.

Para la construcción de estas curvas se recurrió a lo siguiente (véase tabla 11.A.4.2.1):

En puntos alejados del área de influencia de la cimentación, el asentamiento total ($U=100\%$) debido al abatimiento (S_a) es de 209.75 cm.; de éstos, 80.12 cm. corresponden a la 2ª formación y 129.63 cm. a la 1ª formación.

El trazo de la curva para la 2ª formación es muy sencillo, pues para $t=0$, el hundimiento $\Delta h=0$, para $t=2.48$ años, como para $t=\infty$, el hundimiento vale lo mismo, 80.12 cm.

Se hace notar que en esta figura la escala de tiempos es común para las tres curvas, la escala de grados de consolidación ($U\%$), sólo es válida para la curva No 1 (contribución de la 1ª formación en el hundimiento).

Para el trazo de la contribución de la 1ª formación (curva 1), a continuación se calculan las abscisas y ordenadas:

Como se dijo anteriormente, la contribución de la 1ª formación arcillosa en el hundimiento para un grado de consolidación de 100% es de 129.63 cm. Por otro lado sabemos que se ha admitido en este análisis, que las deformaciones de un determinado estrato son proporcionales a los grados de consolidación del mismo (véase 2.4.5), por lo tanto, los hundimientos para los distintos grados de consolidación se calcularán multiplicando 129.63 cm por el grado de consolidación que se desea. Respecto al tiempo para alcanzar dichos grados de consolidación, se empleará la expresión que se ve anteriormente:

$$t_{U\%} = 53.95 \sqrt{T_{95} U\%} \text{ (años)}$$

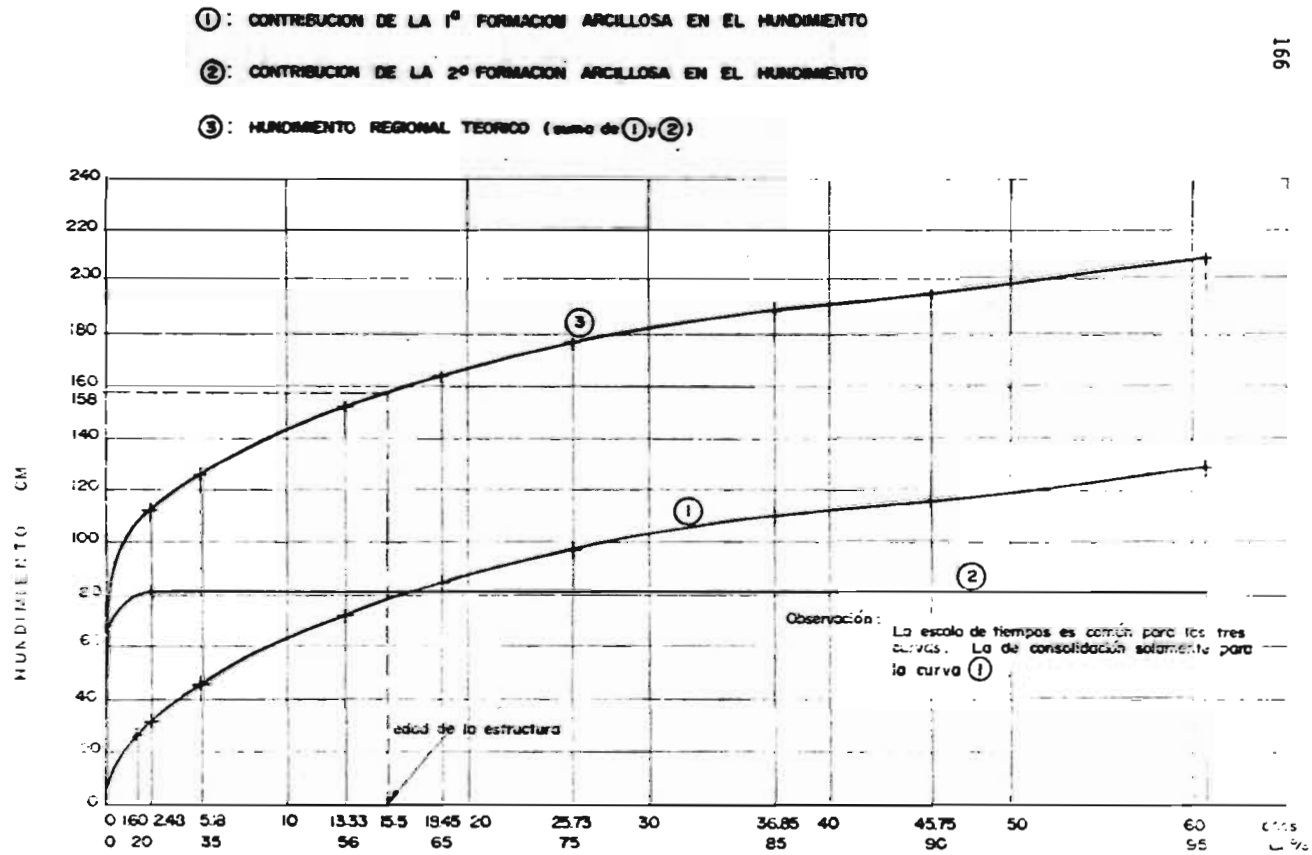


Figura : 11. A. 6. 2. CONTRIBUCIONES TEORICAS EN EL HUNDIMIENTO REGIONAL, DE LA 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA.

En la siguiente figura se resumen los resultados:

Grado de consolidación	Hundimiento (29.43 + U%)	Tiempo (53.95 x T)
U%	cm	AÑOS
100-95	129.63	$53.95 \times 1.127 = 60.80$
90	116.67	$\checkmark \times 0.848 = 45.75$
85	110.19	$\checkmark \times 0.684 = 36.90$
75	91.22	$\checkmark \times 0.477 = 25.73$
65	84.26	$\checkmark \times 0.342 = 18.45$
56	72.59	$\checkmark \times 0.247 = 13.33$
35	45.37	$\checkmark \times 0.096 = 5.18$
20	25.93	$\checkmark \times 0.031 = 1.67$

Para trazar la curva N.º 3, basta sumar las ordenadas de la N.º 1 y 2.

Mediante la curva 3 se puede conocer el grado de consolidación teórico para $t = 15.5$ años (edad de la estructura), y compararlo con los que resultaron de la nivelación y de las curvas de igual hundimiento de la C.A.U.M.

De la Figura, para $t = 15.5$ años el hundimiento regional vale 158 cm.; para $t = 60.80$ años, o sea cuando se ha alcanzado el total de la consolidación primaria, el hundimiento (da) vale 209.75 cm.; luego el grado de consolidación alcanzado es de:

$$\frac{158}{209.75} = 0.75 \quad (U = 75\%)$$

Siguiendo este mismo procedimiento se obtendrá para otros grados de consolidación los respectivos tiempos. Esto permite trazar la Fig. 11.A.6.3; a continuación se proporcionan en forma de tabla sus abscisas y ordenadas para su construcción:

Grado de consolidación	Hundim. regio- nal teórico	Tiempo: de Fig. 11.A.6.2
%	cm	AÑOS
100-95	209.75	60.80
90	188.78	35.80
80	167.80	20.40
75	157.31	15.40
60	125.85	5.45
50	104.87	1.30
45	94.39	0.50

En ella se muestra el hundimiento regional teórico en porcentaje (o el porcentaje de consolidación alcanzada), en función del tiempo.

Sabemos que para $t = 15.5$ años (edad de la estructura), el gra

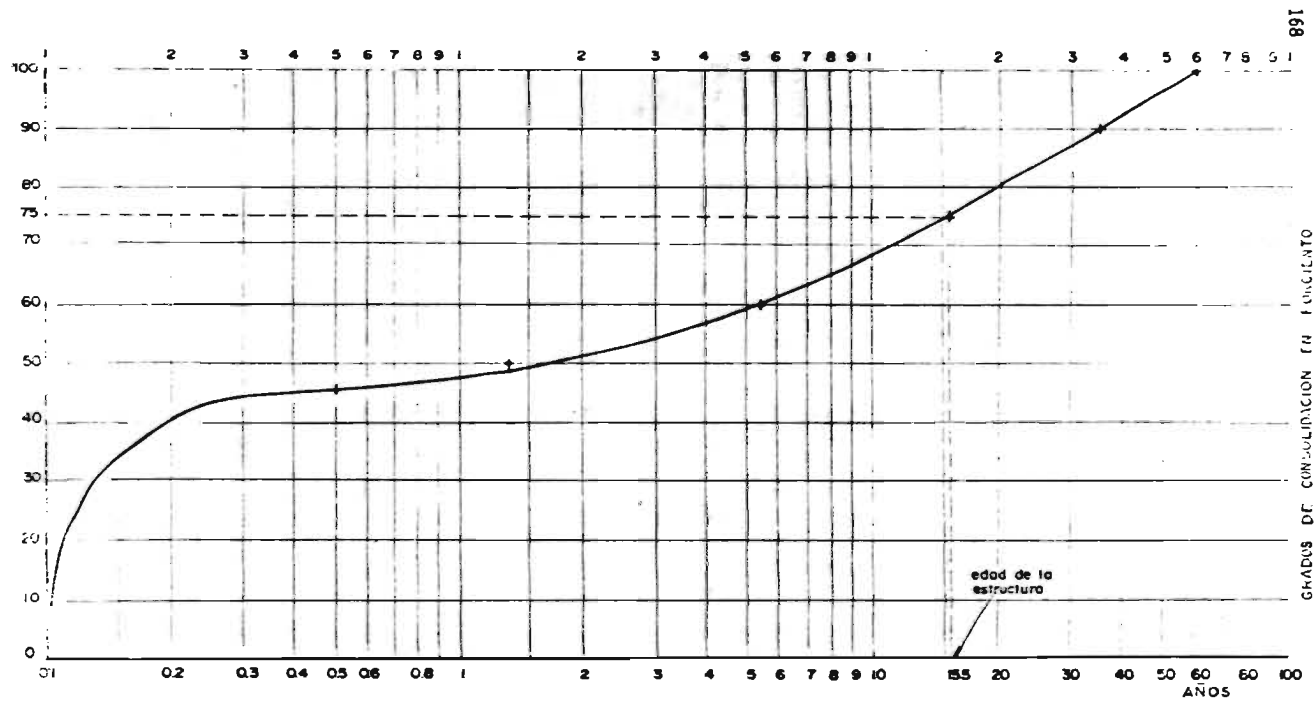


Fig: 11. A. 6. 3. PORCENTAJE DE CONSOLIDACION ALCANZADA (1ª más 2ª formación arcillosa) CON RESPECTO AL TIEMPO.

do de consolidación teórico es de 75%, por lo tanto, podemos considerar la aproximación con respecto al obtenido por la nivelación y por medio de las curvas de la C.A.V.M.

$$\text{Según nivelación: } \frac{0.75 - 0.56}{0.56} \times 100 = 34\%$$

$$\text{Según C.A.V.M.: } \frac{0.75 - 0.65}{0.65} \times 100 = 15\%$$

$$\text{promedio: } \frac{0.34 + 0.15}{2} \times 100 = 24.5\%$$

11.A.7. - EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES

El cálculo de las expansiones relativas totales (δe_{rt}), según se vio en el inciso 7.4, consiste de la suma de dos cantidades: la primera es la expansión sin considerar hundimiento regional (δe), corregida por el efecto del abatimiento (δa_e). La segunda, el movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia debido al asentamiento producido por el abatimiento ($\delta a_f - \delta a_j$).

Hay que recordar según se vio en el inciso 7.4.2 y 7.4.3, que conforme se alcanzan los diferentes grados de consolidación, hay que ir corrigiendo los siguientes términos:

- Las expansiones sin considerar el hundimiento regional (por el efecto del abatimiento).
 - Los asentamientos en la zona de influencia (por el efecto de la descarga).
- Para un grado de consolidación de 100%, la expansión relativa total será:

$$\delta e_{rt} = (\delta e - \delta a_e) + (\delta a_f - \delta a_j)$$

A continuación se obtendrá δe_{rt} considerando los diferentes grados de consolidación. Se obtendrá primero de una forma simplificada, suponiendo que la primera y segunda formación tienen el mismo tiempo de consolidación, además suponiendo por simplicidad que la corrección $\delta a_e = C_1 + C_2$, es independiente del grado de consolidación alcanzado (inciso 7.4.5). Posteriormente se obtendrá considerando diferentes los tiempos de consolidación en la primera y segunda formación arcillosa, además se considerará la dependencia de la corrección en el grado de consolidación alcanzado (inciso 7.4.6).

11.A.7.1. - Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa.

Inicialmente se encontrará el valor de las correcciones C_1 y C_2 . Según se vio en el inciso 7.4.2, la corrección total $C_1 + C_2$ es el asentamiento que se produce cuando los esfuerzos efectivos se incrementan de la distribución 2 a la 1-4 (Fig. 7.4.1.IV; contorno G-J-D-C-I). En el punto I, los esfuerzos por abatimiento se igualan a los generados por la descarga (una vez que las expansiones sin considerar hundimiento regional se han desarrollado completamente; distribución 2). Esto significa que entre las profundidades G e I-J, los esfuerzos debidos a la descarga son mayores que los producidos por el abatimiento piezométrico de la profundidad I-J, hasta el límite inferior de la segunda formación arcillosa (profundidad C-D), los producidos por el abatimiento son mayores que los debidos a la descarga. Tomando esto en consideración, la corrección C_1 se aplicará entre las profundidades G e I-J y la C_2 , entre esta última y la máxima C-D. La obtención de estas correcciones se ha hecho a través de la Tabla 11.A.4.2.1. La C_1 , de la columna "asentamiento debido al abatimiento"; en esta columna se suman los asentamientos entre las profundidades G e I-J. La C_2 , en la columna "expansiones sin hundimiento regional"; entre las profundidades I-J y C-D. En este caso, en lugar de calcular los asentamientos se calcularon expansiones (tienen la misma magnitud) y se les cambió de signo. Esto se hizo porque de acuerdo a la secuencia de cálculo empleada (véase inciso 7.4), es más sencilla. En la siguiente tabla se objetiva todo lo antes dicho.

Punto	Obtenida de: "asentamiento debido al abatimiento."		Obtenida de: "expansión sin hundimiento regional."
	Profundidad: desde donde se inicia al abatimiento, hasta $h_{2e} = h_{2a}$.	Profundidad: desde $h_{2e} = h_{2a}$, hasta la máxima analizada.	Profundidad: desde $h_{2e} = h_{2a}$, hasta la máxima analizada.
	$h_{2e} = h_{2a}$ (m)	C_1 (cm)	C_2 (cm)
1	22.20 - 23.00	4.34	$(3.98 + 2.14 + 1.99 + 0.96) = 9.07$
2	20.00 - 22.20	2.82	$(0.22 + 2.28 + 1.60 + 1.33 + 0.96) = 6.39$
4	22.20 - 23.00	3.97	$(4.55 + 2.68 + 1.33 + 0.96) = 9.52$
5	22.20 - 23.00	3.34	$(2.85 + 1.60 + 1.66 + 0.96) = 7.07$
7	22.20 - 23.00	4.71	$(5.13 + 2.68 + 2.33 + 0.96) = 11.10$
9	22.20 - 23.00	3.41	$(2.85 + 2.4 + 1.66 + 0.96) = 7.61$

$h_{2e} = h_{2a}$: significa la profundidad a la cual se encuentra el estrato donde los esfuerzos producidos por la descarga y por el abatimiento son iguales.

En seguida se obtendrán los promedios (véase inciso 11.A.4.2):

$$C_1 = 2 \times 4.34 + 2 \times 2.82 + 3.97 + 3.34 + 4.71 + 3.41$$

$$C_1 = 3.72 \text{ cm.}$$

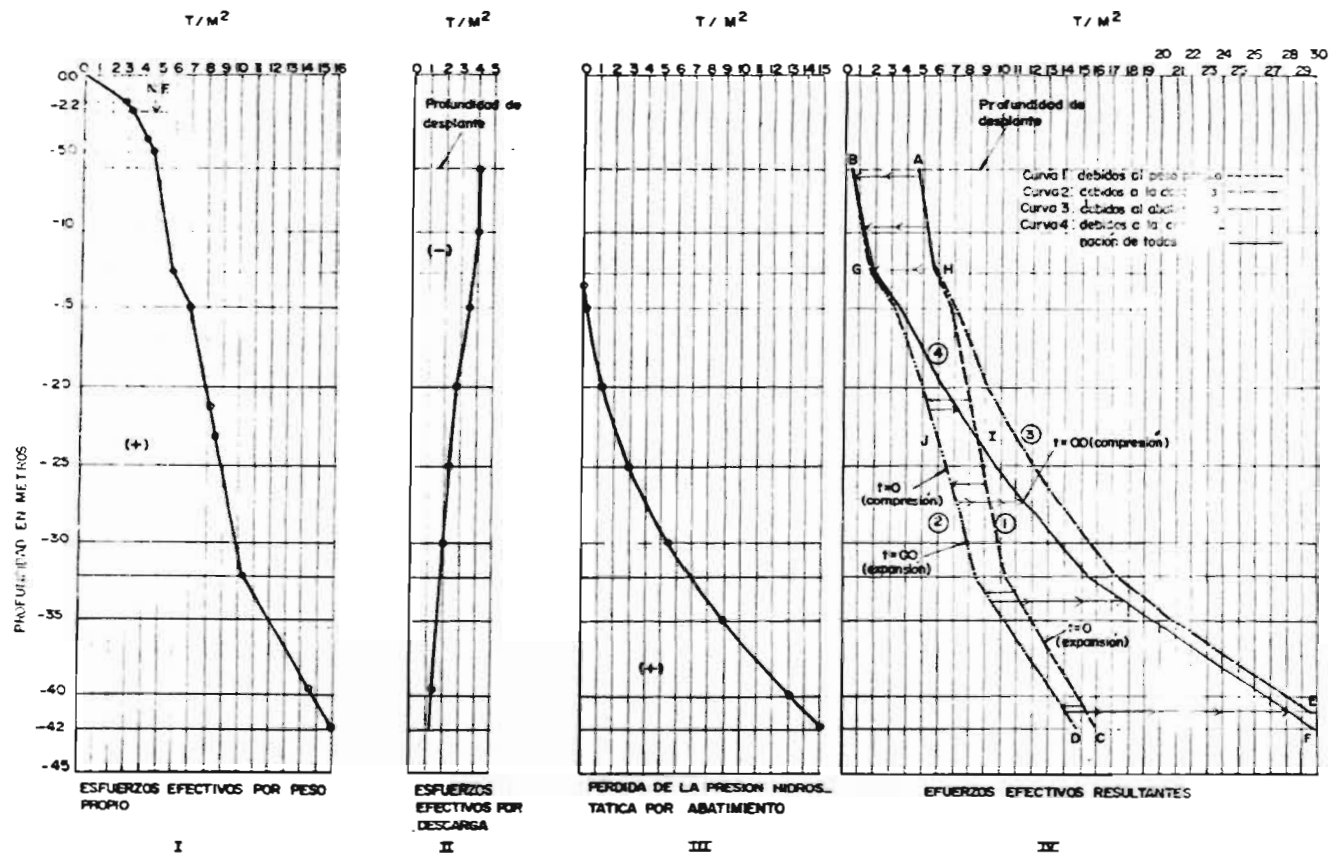


Fig. 7.4.1. ESFUERZOS EFECTIVOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD, POR PESO PROPIO, POR DESCARGA Y POR ABATIMIENTO. COMBINACION DE TODOS.

$$C_2 = \frac{2 \times 9.07 + 2 \times 6.39 + 9.52 + 7.07 + 11.10 + 7.61}{8}$$

$$C_2 = 8.28 \text{ cm}$$

Conocemos el valor de las correcciones (C_1, C_2), la expansión sin hundimiento regional (δ_e), el asentamiento en puntos fuera del área de influencia (δ_{af}) y el asentamiento dentro del área de influencia sin el efecto de la descarga (δ'_{af}), por lo tanto estamos en condiciones de hallar la expansión relativa total, tomando en cuenta el grado de consolidación.

Planteamiento de la ecuación:

$$\begin{aligned} (\delta e_{rt})_{U\%} &= [\delta e - (C_1 + C_2)] + \{U\% \delta_{af} - U\% [\delta'_{af} - (C_1 + C_2)]\} \\ &= [\delta e - (C_1 + C_2)] + [U\% (\delta_{af} - \delta'_{af} + C_1 + C_2)] \end{aligned}$$

Substituyendo valores se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Para } U=100\%; \delta e_{rt} &= [45.62 - (3.72 + 8.28)] + 1 \times (209.75 - 139.83 + 3.72 + 8.28) \\ &= 33.62 + 81.93 \\ &= 115.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U=65\%; \delta e_{rt} &= 33.62 + 53.25 \\ &= 86.87 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U=56\%; \delta e_{rt} &= 33.62 + 45.88 \\ &= 79.50 \text{ cm} \end{aligned}$$

11.A.7.2.- Considerando los diferentes tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa.

En el inciso 11.A.6, se dedujo lo siguiente:

- En la actualidad el espesor de la primera formación arcillosa afectada por el abatimiento es la que se está consolidando.
- La segunda formación arcillosa alcanzó su total consolidación en un tiempo relativamente pequeño (2.48 años).

Además, apoyándose en estas deducciones se construyó la figura 11.A.6.2. De esta figura se desprende que la segunda formación solamente contribuye en el hundimiento regional (y por ende en los grados de consolidación alcanzados) al principio del proceso de consolidación. Por otro lado, sabemos del inciso 11.A.4.2 y tabla 11.A.4.2.1, que la diferencia máxima (para $U=100\%$) del factor ($\delta_{af} - \delta'_{af}$) es de --- 69.93 cm. De estos, únicamente 3.58 cm son contribución de la segunda formación.

De lo que precede se deduce que el movimiento relativo como consecuencia de la diferencia en asentamientos entre puntos fuera y dentro de la zona afectada por la cimentación ($\delta_{af} - \delta'_{af}$), es debido principalmente a la primera formación arcillosa.

Este hecho se refleja en el cálculo de la expansión relativa total para los diferentes grados de consolidación de la siguiente forma:

Al principio del proceso los grados de consolidación alcanzados son principalmente debidos a la consolidación de la segunda formación arcillosa. Esto se dice ya que la segunda formación alcanza su total consolidación con bastante mayor rapidez (2.48 años) que la primera (60.80 años); por tal razón al principio del proceso de consolidación prácticamente no se genera movimiento relativo entre puntos fuera y dentro de la zona de influencia de la cimentación.

Tomando como base lo que precede se hará la siguiente suposición:

De $U=0$ a $U=38\%$ no se genera movimiento relativo; de $U=38\%$ a $U=100\%$ se desarrolla la totalidad de este movimiento (69.93 cm).

El 38% de U resulta de lo siguiente: el asentamiento máximo en puntos fuera del área de influencia de la cimentación es de 209.75 cm (ver tabla II.A.4.2.1); de éstos, 80.12 cm. corresponden a la segunda formación y 129.63 cm. a la primera. Esto expresado en porcentaje resulta de:

$$\frac{80.12 \times 100}{209.75} = 38\%$$

Por lo tanto, para ajustar el grado de consolidación general ($U\%$), al particular ($\mu\%$) para ser utilizado en el factor ($\delta a_1 - \delta a_2$) de la expresión para calcular la expansión relativa total, se aplicará la transformación:

$$\mu(\%) = \left(\frac{U - 0.38}{1 - 0.38} \right) \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{para } U=38\% ; \mu &= 0 \\ \text{para } U=100\% ; \mu &= 100\% \end{aligned}$$

Lo cual está acorde con lo que se ha venido exponiendo aquí. En este caso se considerará además, según se vio en el inciso 7.4.6, que la corrección c_1 es proporcional al grado de consolidación alcanzado, mientras que c_2 es independiente (sólo es proporcional para grados pequeños de consolidación). Por lo tanto la nueva forma que toma la fórmula para hallar la expansión relativa total es la siguiente:

$$\begin{aligned} (\delta e_{r1})_{U\%} &= [\delta e - (U\% c_1 + c_2)] + [(\mu\% \delta a_1' + \delta a_2') - \\ &\quad - \{[\mu\% (\delta a_1' - (c_1 + c_2))] + (1 - U\%) c_1\} + \delta a_2''] \end{aligned}$$

En esta ecuación nos falta conocer el valor de:

$\delta a_1'$ = contribución de la primera formación arcillosa fuera del área de influencia, al asentamiento por abatimiento.

$\delta a_2''$ = es lo mismo, nada más que se refiere a la segunda formación.

$\delta a'_y$ y $\delta a''_y$ = son semejantes a las anteriores, únicamente que se refieren a puntos dentro de la zona de influencia.

$U\%$ = porcentaje de la contribución (asentamiento) de la primera formación arcillosa, para el grado de consolidación ($U\%$) considerado.

Con relación a la expresión para obtener la $\delta e_{r,t}$ que se acaba de ver, se dirá lo siguiente:

En esta fórmula la corrección C_1 se ha restado mediante el término $U\%[\delta a'_y - (C_1 + C_2)]$. Sin embargo, como esta corrección es dependiente del grado de consolidación $U\%$ alcanzado (véase inciso 7.4.2 y 7.4.3), no se puede descontar; por lo tanto habrá que aumentarla. Esta adición está representada por el término $(1 - U\%) C_1$.

Esto fue necesario hacerlo, porque el porcentaje de contribución ($U\%$) -- solamente debe afectar los asentamientos que se generan al aumentar los esfuerzos efectivos de la distribución 1 a la 4; $\delta a'_y - C_1 - C_2$ (contorno I-C-F; Fig. 7.4.III). Estos asentamientos son los del suelo de cimentación.

Ahora continuaremos con la obtención de los valores de los distintos literales para la aplicación de la fórmula de $\delta e_{r,t}$ (véase Tab. II. A. 9.2.1); el asentamiento total en puntos fuera del área de influencia es de 209.75 cm.; entonces:

$$\delta a'_y + \delta a''_y = 209.75 \text{ cm.}$$

La contribución en el asentamiento de la segunda formación arcillosa (de 37 a 42 m de profundidad) es de 80.12 cm ($\delta a''_y$); luego:

$$\delta a'_y = 209.75 - 80.12; \quad \delta a'_y = 129.63 \text{ cm.}$$

Para encontrar $\delta a'_y$ y $\delta a''_y$, habrá que obtener los promedios de todos los puntos como se ha venido haciendo; de la Tab. II. A. 9.2.1, tenemos:

PUNTO	N.	1	2	4	5	7	9
$(\delta a'_y + \delta a''_y) = \delta a_y$	cm	136.19	147.22	132.89	144.45	129.64	143.63
$\delta a''_y$	cm	74.18	75.15	75.15	74.18	74.18	74.15
$(\delta a'_y - \delta a''_y) = \delta a'_y$	cm	62.01	72.37	58.24	70.27	55.48	69.50

y los promedios son:

$$\begin{aligned} \delta a''_y &= \frac{2 \times 74.18 + 2 \times 75.15 + 75.15 + 74.18 + 74.18 + 74.15}{8} \\ &= 74.54 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\delta a'_y = \frac{2 \times 62.01 + 2 \times 72.37 + 58.24 + 70.27 + 55.48 + 69.50}{8}$$

$$\delta a'_j = 65.29 \text{ cm}$$

175

Substituyendo estos valores en la expresión de la expansión relativa total que acabamos de ver, se obtiene:

$$\text{Para } U = 100\% ; \quad \mu = \frac{1 - 0.38}{1 - 0.38} \times 100 ; \quad \mu = 100\%$$

$$\begin{aligned} \delta e_{rE} &= [45.62 - (1 \times 3.72 + 0.25)] + [(1 \times 29.63 + 80.12) - \{1 \times [65.29 - (3.72 + 8.20)] + (1-1)3.72 + 71.44\}] \\ &= 33.62 + 81.93 \\ &= 115.55 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Haciendo lo mismo, pero para los otros porcentajes se obtiene:

$$\text{Para } U = 65\% ; \quad \mu = \frac{0.65 - 0.38}{1.00 - 0.38} \times 100 ; \quad \mu = 44\%$$

$$\begin{aligned} \delta e_{rE} &= 34.92 + 37.88 \\ &= 72.80 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Para } U = 56\% ; \quad \mu = \frac{0.56 - 0.38}{1.00 - 0.38} \times 100 ; \quad \mu = 27\%$$

$$\begin{aligned} \delta e_{rE} &= 35.26 + 26.44 \\ &= 61.70 \text{ cm} \end{aligned}$$

11.A.B. - APROXIMACIONES.

Se obtendrán las aproximaciones de las expansiones orientadas por medio de la teoría con respecto a las medidas en el campo.

11.A.B.1. - Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación arcillosa.

Lado Oriente:

$$\text{Aproximación (A)} = \frac{\text{expansión teórica} - \text{expansión medida}}{\text{expansión medida}}$$

$$U = 65\% ; \quad A = \frac{86.87 - 68}{68} \times 100 ; \quad A = 28\%$$

$$U = 56\% ; \quad A = \frac{79.50 - 68}{68} \times 100 ; \quad A = 17\%$$

Lado Poniente:

$$U = 65\% ; A = \frac{86.87 - 52}{52} \times 100 ; A = 67\%$$

$$U = 56\% ; A = \frac{79.50 - 52}{52} \times 100 ; A = 53\%$$

11.A.8.2. - Considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación arcillosa.

Lado Oriente:

$$U = 65\% ; A = \frac{72.80 - 68}{68} \times 100 ; A = 7\%$$

$$U = 56\% ; A = \frac{61.70 - 68}{68} \times 100 ; A = -9\%$$

Lado Poniente:

$$U = 65\% ; A = \frac{72.80 - 52}{52} ; A = 40\%$$

$$U = 56\% ; A = \frac{61.70 - 52}{52} ; A = 19\%$$

11.A.9. - VARIACION DE LAS CURVAS $\Delta\delta_e$, $\Delta\delta_a$ Y $\delta_{e,t}$ CON RESPECTO AL TIEMPO.

$\Delta\delta_e$ = expansión modificada por el efecto del hundimiento regional (abatimiento piezométrico).

$\Delta\delta_a$ = movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia de la cimentación debido al abatimiento.

Las ordenadas para los diferentes grados de consolidación se obtendrán empleando la expresión que supone iguales los tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación arcillosa y la se los considera diferentes (Figs. 11.A.9.1 y 11.A.9.2). Para tener suficientes puntos, se obtendrá además para los siguientes grados de consolidación:

$$U = 85, 75, 48 \text{ y } 33\%$$

E. 38, 75, corresponden a $t = 0.3, 1 \text{ y } 15.5$ años. Esbo

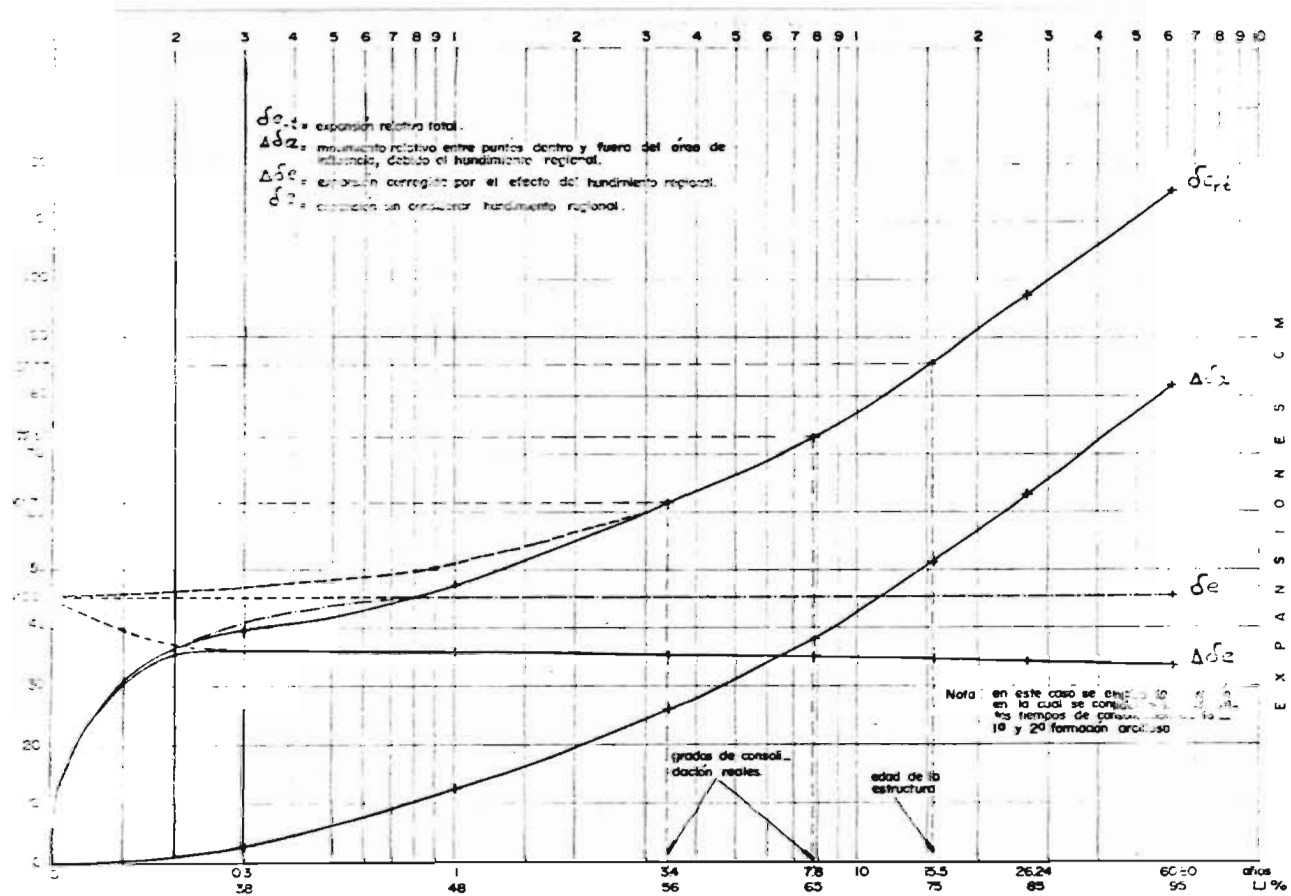


Fig. 11. A. 9. 1. VARIACION DE LA EXPANSION RELATIVA TOTAL Y SUS COMPONENTES (δe y $\Delta \delta e$) CON RESPECTO AL TIEMPO Y EL GRADO DE CONSOLIDACION.

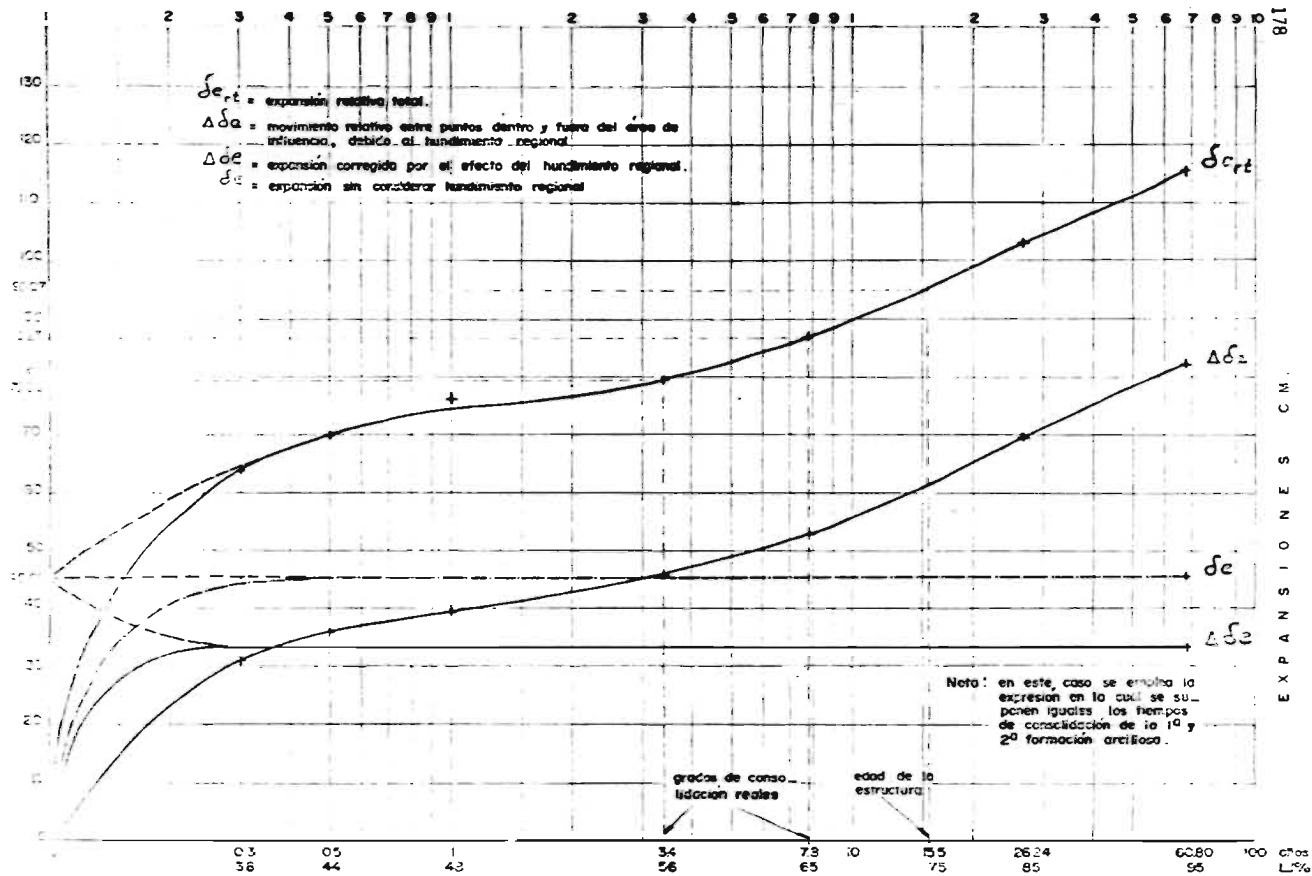


Fig. 11. A. 9. 2. VARIACION DE LA EXPANSION RELATIVA TOTAL Y SUS COMPONENTES (EXPRESADA CON RESPECTO AL TIEMPO Y EL GRADO DE CONSOLIDACION)

datos se obtuvieron de la Fig. 11.A.6.2; por ejemplo, para $U=48\%$ el hundimiento regional que se deba de tener es:

$$\Delta h = 207.75 \times 0.48, \quad \Delta h = 101 \text{ cm}$$

Buscando este valor de la ordenada en la curva No. 3 de la mencionada figura, se obtiene como abscisa $t=1$ año. Esto mismo se queda obtener de la figura 11.A.6.3.

A continuación se obtendrán las expansiones; en la Tab. 11.A.9.1, se muestran los resultados de las expansiones para la construcción de la Fig. 11.A.9.1 y 11.A.9.2.

GRADO DE CONSOLIDACION CION %	EXPANSIONES						TIEMPO DE CONSOLIDACION (1) años
	TIEMPOS DE CONSOLIDACION DE LA 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA						
	Diferentes			Iguales			
	Ade	Ada	Total	Ade	Ada	Total	
cm	cm	cm	cm	cm	cm		
100-95	33.62	81.93	115.55	33.62	81.93	115.55	60.80
85	34.18	63.05	97.23	✓	69.64	103.26	26.24
75	35.11	50.46	85.57	✓	61.45	95.07	15.50
65	34.92	37.88	72.80	✓	53.25	86.87	7.80
56	35.26	26.08	61.70	✓	45.88	79.50	3.40
48	35.55	15.87	51.42	✓	39.33	72.95	1.00
30	35.93	3.27	39.20	33.62	31.13	64.75	0.30

(1) se obtuvieron de la Fig. 11.A.6.2.

TAB. 11.A.9.1. CONTRIBUCION DE ADe Y Ada EN LA EXPANSION RELATIVA TOTAL ($S_{e,t}$).

Se estima que la Fig. 11.A.9.1, se apega más a la realidad, esto se dice ya que la fórmula para hallar las ordenadas considera los diferentes tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa, hecho que la hace una solución más racional. A continuación se mencionan ciertas características de las curvas de esta figura:

- Al inicio del proceso la $S_{e,t}$ es muy importante, esto es debido principalmente a ADe. Después es esencialmente producto de Ada.
- Hasta donde la pendiente de $S_{e,t}$ es muy pronunciada ($t=0.2$ años), el porcentaje alcanzado es 32%.
Para $t=15.5$ años (edad de la estructura), se ha alcanzado un porcentaje de 74%.
De $t=15.5$ años a $t=60.80$ años (final del proceso), falta por alcanzarse el 26% de $S_{e,t}$.

c) Aproximadamente para $t = 6.5$ años la contribución de ΔS_e y ΔS_a es igual, el porcentaje de $S_{e,t}$ alcanzado para este tiempo es 61%.

d) Para la edad de la estructura ($t = 15.5$ años) la contribución de ΔS_e y ΔS_a en $S_{e,t}$ es como sigue:

$$\Delta S_e = 41\% \quad \Delta S_a = 59\%$$

Al final del proceso (60.80 años) ésta es:

$$\Delta S_e = 29\% \quad \Delta S_a = 71\%$$

e) Al final del proceso la expansión sin tomar en cuenta el hundimiento regional, se ha visto disminuida por el efecto del abatimiento en 26%.

Se aclara que estas curvas son teóricas y por lo tanto dan una idea cualitativa del mecanismo con que se desarrollan las expansiones.

Analizando la forma de las curvas ΔS_a y $S_{e,t}$ al final del proceso, se observa que estas no tienden asintóticamente a una horizontal, como ocurre en los procesos de consolidación. Esta discrepancia es debida al hecho de haber supuesto una ley lineal para el movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia:

$$U\% (\delta_{a1} - \delta_{a2})$$

Esto se hizo en vista de no disponer de datos a cerca de esta ley.

Un hecho que resalta a la vista, es que al comparar las dos figuras (11.A.9.1 y 11.A.9.2), éstas son diferentes al inicio del proceso (hasta aproximadamente $t = 10$ años $U = 70\%$), a medida que crece el tiempo y por ende el grado de consolidación, éstas se van asemejando. Esto se objetiviza en el siguiente inciso.

11.A.10. - PORCENTAJE DE $S_{e,t}$ CON RESPECTO AL TIEMPO.

En la tabla 11.A.10.1, se resumen los datos que se emplearon para trazar la Fig. 11.A.10.1, en esta figura la No. 1, se refiere al caso de considerar en la expansión relativa total los diferentes tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación arcillosa; la curva No. 2 se refiere al caso de suponer iguales los tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación. De la figura se se observa lo siguiente:

a) Que la discrepancia al principio del proceso es considerable.

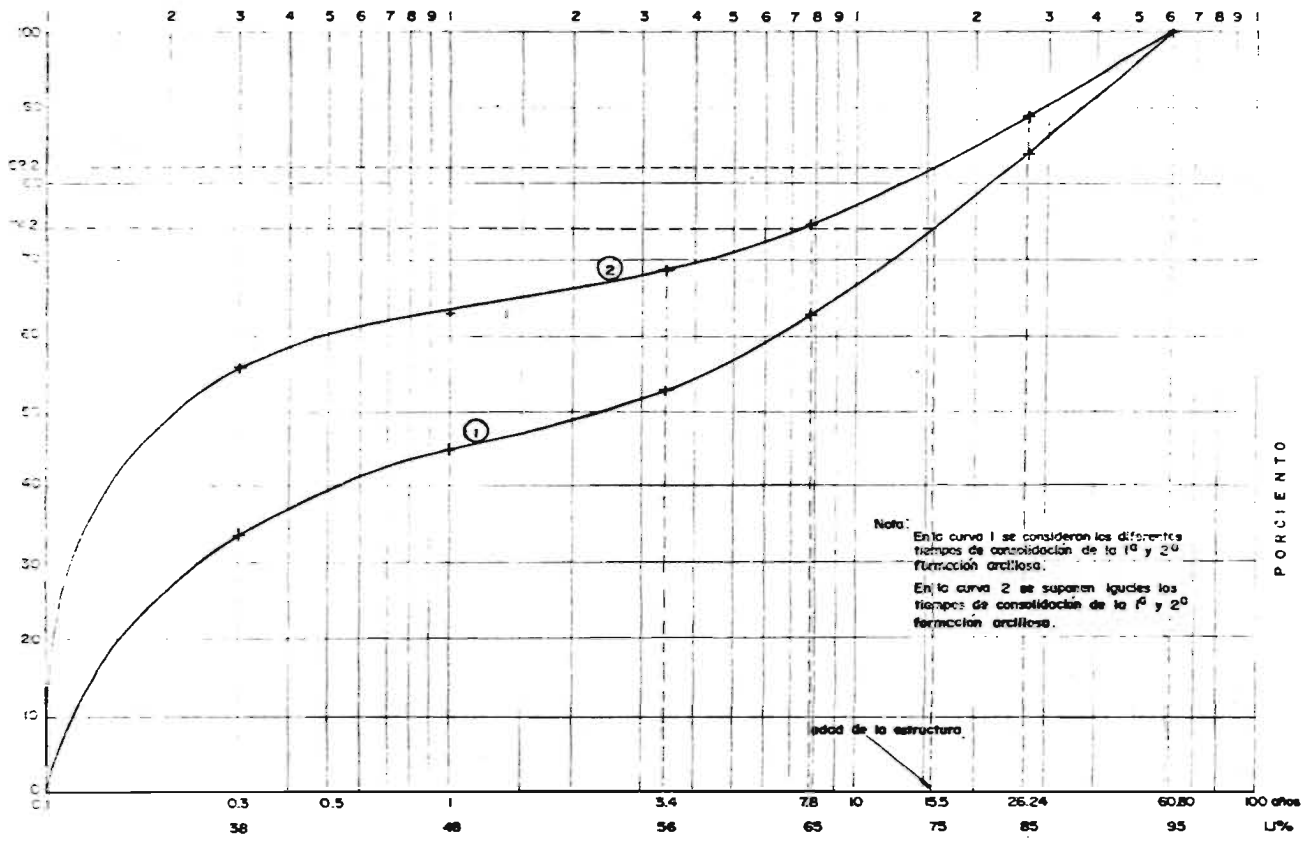


Fig. II. A. 10. I. RELACION: PORCENTAJE DE EXPANSION RELATIVA ALCANZADA, TIEMPO-GRADO DE CONSOLIDACION.

PORCIENTO

U	EXPANSION RELATIVA TOTAL				
	Tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación arcillosa				
	Diferentes		Iguales		
	δ_{ct}		δ_{ct}		
%	cm	%	cm	%	
100	115.55	100	115.55	100	
85	97.23	84	103.26	89	
75	85.57	74	95.07	82	
65	72.80	63	86.87	75	
56	61.70	53	79.50	69	
48	51.42	45	72.95	63	
38	39.20	34	64.75	56	

Tab. II. A. 10.1.

Porcentaje de la expansión relativa total -- (δ_{ct}) con respecto al grado de consolidación.

- b) Que, conforme avanza el proceso de consolidación esta diferencia tiende a decrecer.
- c) Para la edad de la estructura (15.5 años), las discrepancias no son importantes (aproximadamente 10%).

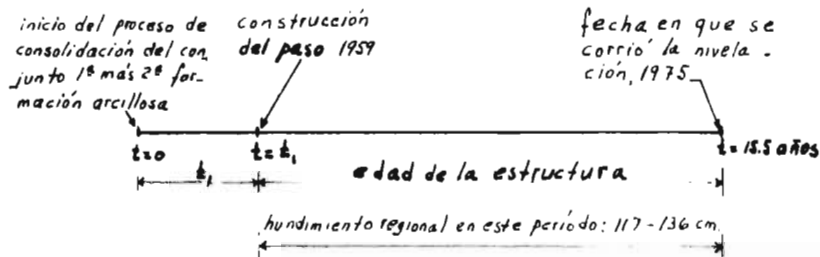
II.A.11. - DIFERENTES GRADOS DE CONSOLIDACION (PRECONSOLIDACION) DE LA 2ª FORMACION ARCILLOSA.

En este estudio se ha supuesto que la segunda formación arcillosa estaba normalmente consolidada en la fecha en que se construyeron los pasos a desnivel; sin embargo, hay probabilidades fundadas de que lo más seguro es que hubiera tenido una pequeña carga de preconsolidación (véase inciso 5.2).

A continuación se tratará de conocer cuál es el efecto que una determinada preconsolidación en esta formación tiene en los resultados (grados de consolidación y expansiones relativas totales).

Vamos a suponer que en la fecha en que se construyeron los pasos la segunda formación ya se había consolidado (preconsolidación) una determinada cantidad $U\% \Delta h_2$ (proporcional al asentamiento que tendría para la condición de 100% de consolidación). Esto es equivalente a decir que el proceso de consolidación en el conjunto primera mas segunda formación arcillosa, se había iniciado un determinado tiempo antes de que se construyeran los pasos; entonces, el error en considerar la segunda formación como normalmente consolidada (en el supuesto caso que así fuera), es equivalente a considerar el inicio del proceso de consolidación t_{sc} en la fecha en que se construyeron los pasos, en lugar de un tiempo t antes. Por lo tanto al encontrar el grado de consolidación alcanzado en los sitios de los pasos, desde

su construcción 1959, hasta la fecha de la nivelación (1975), - se está subestimando el grado de consolidación; esto se objetiva en el siguiente diagrama (Xola-Napoleón):



Por otro lado, el hundimiento regional desde la construcción de - el paso hasta cuando se corrió la nivelación, varió entre 117 y 136 cm, según datos de la nivelación y de la C.A.V.M. Sabemos también que el asentamiento total Δh_t para las condiciones de abastecimiento prevalecientes y suponiendo normalmente consolidada la 1ª y 2ª formación arcillosa, resultó de 209.75 cm. Este asentamiento es el que se llevó a cabo durante todo el proceso de consolidación, desde $t=0$ hasta $t=\infty$. (independientemente de cuando haya sido el inicio; 1959-t, ó 1959). Cabe apuntar que de los 209.75 cm, 129.63 cm corresponden a la primera formación (Δh_1) y 80.12 cm a la segunda formación (Δh_2).

Por ejemplo para el caso de normalmente consolidado, el grado de consolidación se obtuvo de la siguiente forma (véase inciso 11.8.5):

$$U = \frac{117 \text{ ó } 136 \text{ cm}}{209.75 \text{ cm}} \times 100 ; U = 56 \text{ ó } 65\% \text{ (entre 1959 y 1975)}$$

Para el caso de una cierta preconsolidación en la segunda formación, el grado de consolidación se modifica como sigue:

$$U = \frac{(117 + x \text{ ó } 136 + x) \text{ cm}}{209.75 \text{ cm}} \times 100$$

donde:

$x =$ asentamiento para $t = t_1$, ($U\% \Delta h_2$) debido a cierta preconsolidación de la 2ª formación arcillosa

Suponiendo que cuando se construyeron los pasos la consolidación en la segunda formación, se consolidó en un 25% equivalente al 25% de toda la contribución de esta formación, x valdrá:

$$X = 0.25 \times 80.12 ; \quad X = 20.03 \text{ cm}$$

Por lo tanto el grado de consolidación alcanzado en la fecha en que se corrió la nivelación (1975), se modificará a:

$$U = \frac{(117 + 20.03) \text{ o } (136 + 20.03) \text{ cm}}{209.75 \text{ cm}} \times 100$$

$$U = 65 \text{ o } 74\% \text{ (entre (1959-t,) y 1975)}$$

Entonces, dependiendo de la preconsolidación en la segunda formación arcillosa (25% del total en este caso) en la fecha de la construcción, el grado de consolidación cuando se corrió la nivelación, cambiará de:

$$U = 56 - 65\% \text{ a } 65 - 74\%$$

Para conocer el efecto que esta variación en los grados de consolidación tiene en las expansiones relativas totales, bastará encontrar éstas para $U = 65 - 74\%$ y restarle la correspondiente a $t = t_1$, que sería:

$$(65 - 74) - (56 - 65) = 9\%$$

Sin embargo, desde $t = 0$ hasta $t = t_1$, no existe ningún paso a desnivel, por lo tanto no se genera ningún movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia de la cimentación (hasta $U = 40\%$ no se genera mov. relativo; ver inciso 11.A.7.2). Por lo tanto para conocer la afectación que una determinada carga de preconsolidación en la segunda formación tiene en la expansión, bastará encontrar la expansión relativa total para el grado de consolidación resultante de al conjunto 1º más 2º formación arcillosa.

11.A.11.1. - Grados de consolidación resultantes.

- a) Suponiendo normalmente consolidada la 2ª formación arcillosa.

Este es el caso que se ha venido tratando a lo largo de este análisis (hipótesis de partida, inciso 5.2).

Para este caso según se vio en el inciso 11.A.5, el grado de consolidación resultante vale:

$$U = 56\%^{(1)} \text{ o } 65\%^{(2)}$$

- (1) según nivelación
 (2) según datos de la C.A.V.M.

b) Suponiendo una consolidación de 25% de Δh_2 en la 2ª - formación arcillosa.

Este caso se acaba de tratar, resultando el grado de consolidación de:

$$U = \text{entre } 65\% \text{ y } 74\%$$

c) Suponiendo una consolidación de 50% de Δh_2 en la 2ª - formación arcillosa.

Haciendo lo mismo, pero ahora para una consolidación de 50%, se obtiene:

$$X = 0.50 \times 80.12 \text{ cm} ; X = 40.06 \text{ cm}$$

$$U = \frac{(17 + 40.06) \text{ cm} \text{ o } (36 + 40.06) \text{ cm}}{209.75 \text{ cm}} \times 100$$

$$U = 75 \text{ ó } 84\%$$

11.A.11.2.- Expansiones relativas totales resultantes.

Para los grados de consolidación $U = 65$ y 75% , ya se conocen las expansiones (inciso 11.A.9); ahora nos falta conocerlas para $U = 74$ y 84% .

Para calcular las expansiones se recurrirá a la expresión que considera los diferentes tiempos de consolidación de las formaciones. Se estima que ésta da mejores resultados por ser más racional que la que supone iguales los tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación.

$$S_{e,t} = [45.62 - (U\% \cdot 3.72 + 8.28)] + [(u\% \cdot 129.63 + 80.12) - \{u\% [65.28 - (3.72 + 8.28)] + (1 - u\%) \cdot 3.72\} + 74.54]$$

$$\text{Para } U = 74\% ; u = \frac{0.74 - 0.38}{1.00 - 0.38} \times 100 = 58\%$$

$$S_{e,t} = [37.34 - 2.75] + [(95.93 + 80.12) - (89.43 + 0.97 + 74.54)] \\ = [34.59] + [(176.05) - (164.94)] \\ = 95.70 \text{ cm}$$

Haciendo lo mismo para $U = 84\%$, se tiene:

$$u = \frac{0.84 - 0.38}{1.00 - 0.38} \times 100 ; u = 74\%$$

$$\sigma_{e_{rL}} = 34.22 + 61.48 \\ = 95.70 \text{ cm}$$

11.A.11.3. - Aproximaciones

A continuación se obtendrán las aproximaciones de las expansiones relativas totales obtenidas con respecto a la medida en el lado Oriente (68 cm), la cual se ha supuesto como la más representativa (véase inciso B.3.1).

a) Para el caso de normalmente consolidada

$$\text{Aproximación} = \frac{(72.80 \text{ ó } 61.70) - 68 \text{ cm}}{68 \text{ cm}} \times 100$$

$$A = +7\% \text{ y } -9\%$$

b) Para el caso de una consolidación del 25% de Δh_z en la 2ª formación arcillosa.

$$A = \frac{(83.49 \text{ ó } 72.80) \text{ cm} - 68 \text{ cm}}{68 \text{ cm}} \times 100$$

$$A = 23\% \text{ y } 7\%$$

c) Para el caso de una consolidación del 50% de Δh_z en la 2ª formación arcillosa.

$$A = \frac{(95.70 \text{ ó } 85.57) \text{ cm} - 68 \text{ cm}}{68 \text{ cm}} \times 100$$

$$A = 41\% \text{ y } 26\%$$

Promedios:

$$a) \frac{0.07 - 0.09}{2} = -0.01 \text{ ; } A_p = -1\%$$

$$b) \frac{0.23 + 0.07}{2} = 0.15 \text{ ; } A_p = 15\%$$

$$c) \frac{0.41 + 0.26}{2} = 0.335 \text{ ; } A_p = 33.5\%$$

A continuación en la tabla N. 11.A.11.1 se resumen los resultados.

Grado de consolidación de la 2ª formación arcillosa.	Grado de consolidación resultante - considerando los diferentes tiempos de consolidación de la 1ª y 2ª formación.	Expansión relativa total ($\delta_{e,t}$).	Aproximación promedio con respecto a la $\delta_{e,t}$ medida en campo (68cm).
%	%	cm	%
0 ⁽¹⁾	56 - 65	61.70 - 72.80	-1
25	65 - 74	72.80 - 83.49	15
50	75 - 84	83.57 - 95.70	33.5

(1) Normalmente consolidada

TAB. II.A.11.1. Aproximaciones en la expansión relativa total para los diferentes grados de consolidación (preconsolidación) supuestos en la segunda formación arcillosa.

Al analizar esta tabla se concluye, que la mejor aproximación se logra considerando la segunda formación arcillosa como normalmente consolidada en la fecha en que se construyeron los pozos; esto está acorde con la hipótesis de partida (véase inciso 5.2).

LORENZO BOTURINI

.

B. LORENZO BOTURINI

11.B.1. - CARGAS - DESCARGAS - DESCARGAS NETAS.

11.B.1.1. - Cargas.

1. - Paso a desnivel para vehículos

Para calcular éstas, se recurrió al plano de la sección transversal de la estructura (proyecto) Clz. de Tlalpan, Fig. 11.B.1.1, al topográfico, Fig. 11.B.1.2 y a la Tab. 11.B.1.1. En esta última se consiguen las mediciones hechas en el campo para corroborar la geometría del paso, además se consideró la figura 11.B.1.3, en la cual se muestran las diferentes alturas de los muros, tanto en el lado Oriente como Poniente, desde la salida del túnel hasta el final del paso.

Las diferentes áreas de carga se eligieron considerando la Tabla 2.3.1: "Características de los muros de retención" (véase inciso 2.3). Estas áreas se muestran en la Fig. 11.B.1.3, así como los diferentes espesores de la losa de piso.

Hecha esta subdivisión, se procederá a calcular el peso de estas áreas.

a) Zona de muros y losa.

Para obtener la longitud promedio entre muros, se promediaron las medidas que se hicieron en el campo, tanto en el lado Oriente como Poniente; véase tabla 11.B.1.1.

Longitud promedio a paños exterior de muros

$$L = \frac{16.71 + 16.67}{2} ; \quad L = 16.69 \text{ m}$$

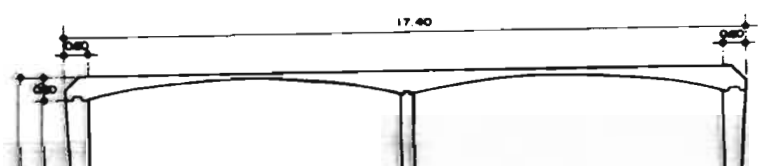
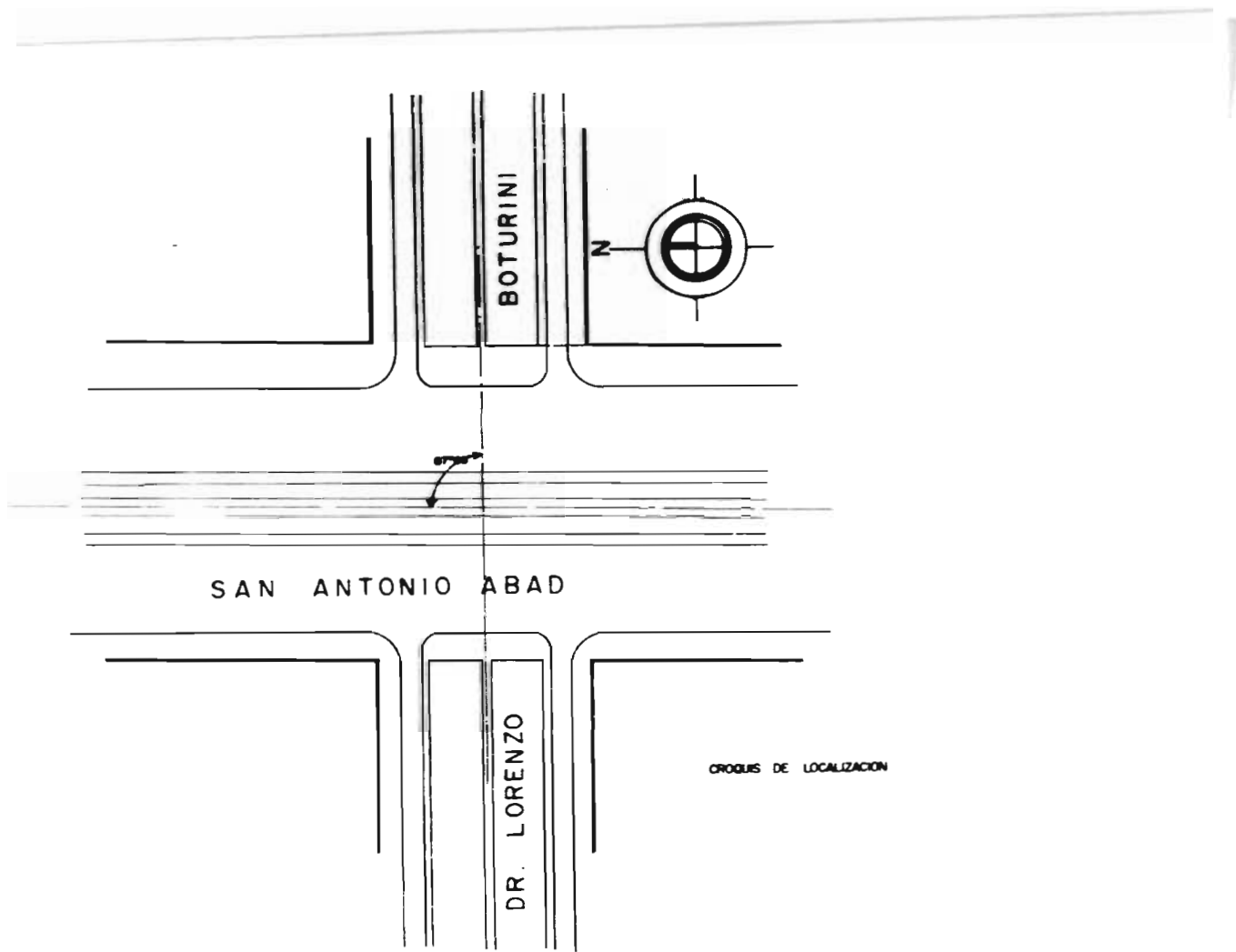
La longitud a paños interiores (promedio) será:

$$L' = 16.69 - 2 \times 0.2 ; \quad L' = 16.29 \text{ m}$$

$$0.2 \text{ m} = \text{espesor del muro}$$

En la Fig. 11.B.1.4 se muestra la sección transversal en esta zona, la cual se utilizó para los cálculos.

Inicialmente se obtendrán los pesos que se consideran constantes como son el del filtro, base, asfalto, murito divisorio y la banqueta. Para obtenerlos se tomarán como base los valores obtenidos al analizar el paso en Xola - Napoleón; estos fueron los si -



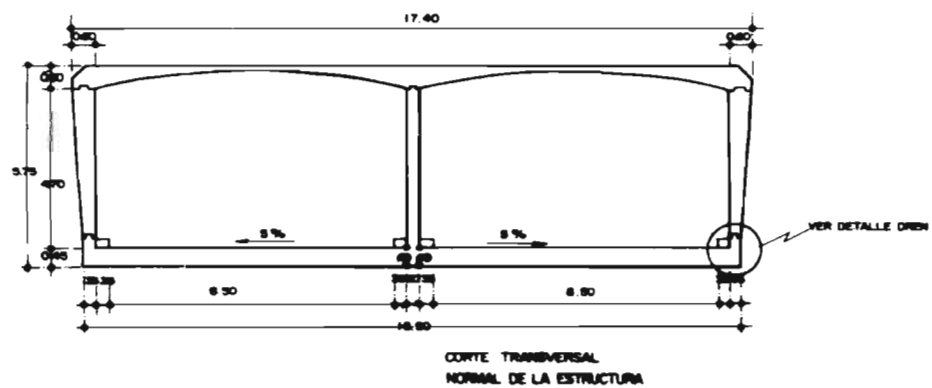
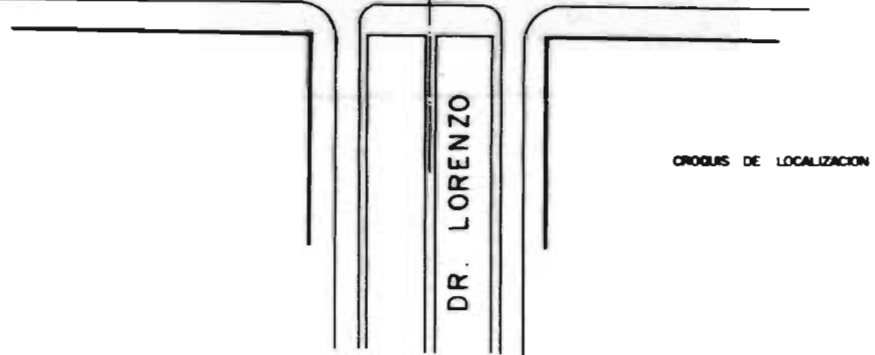


FIG. II. B. I. I. SECCION TRANSVERSAL DE LA ESTRUCTURA (proyecto) Y CALZADA DE TLALPAN.

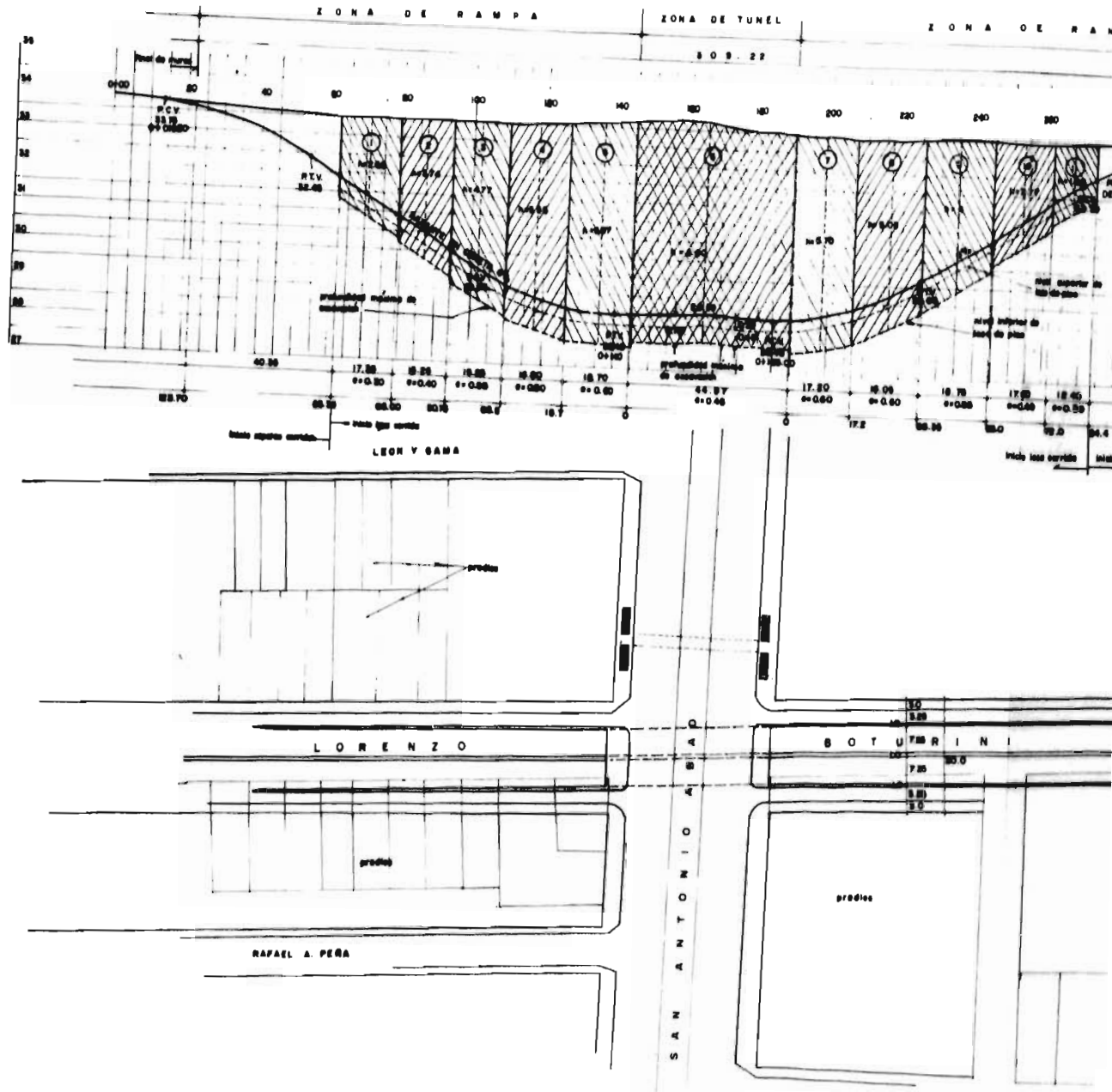
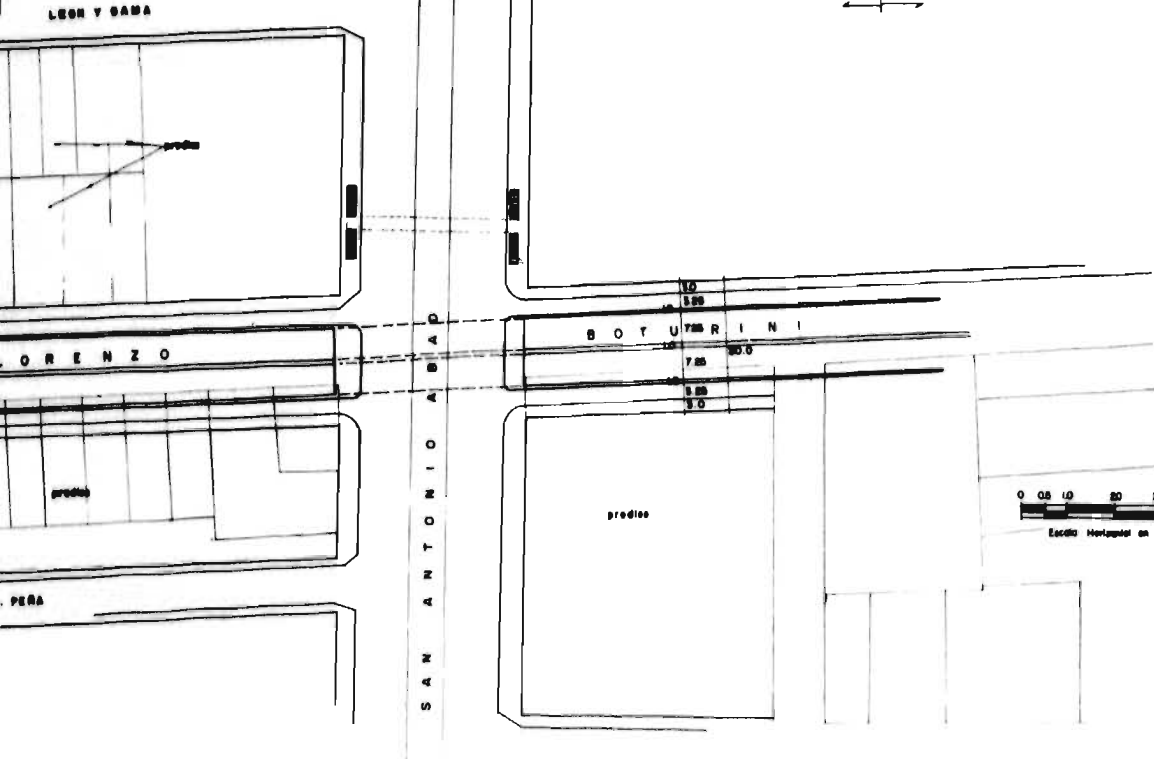
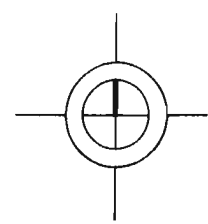
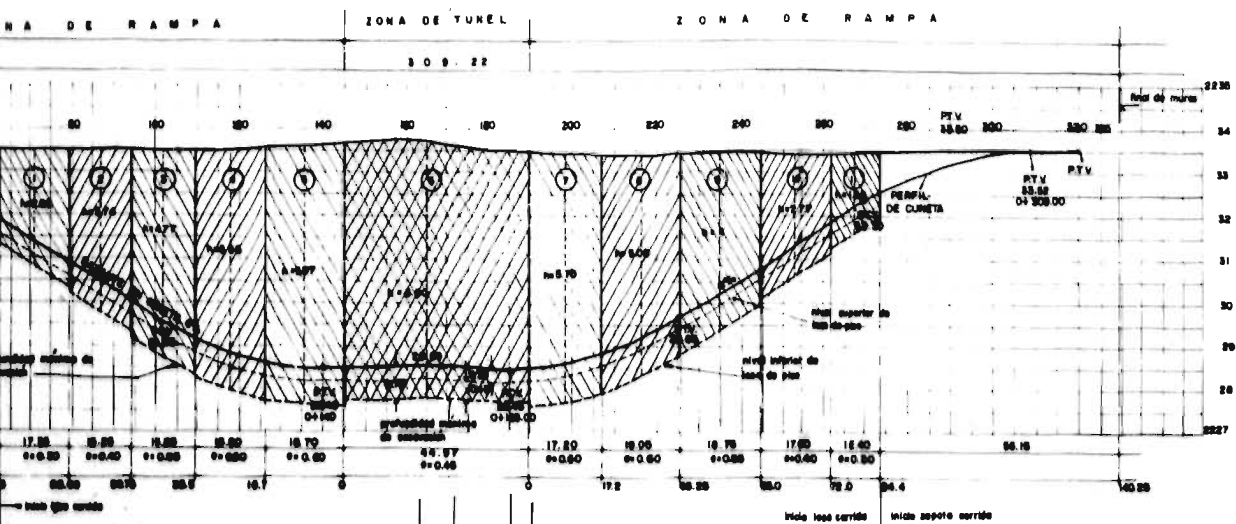


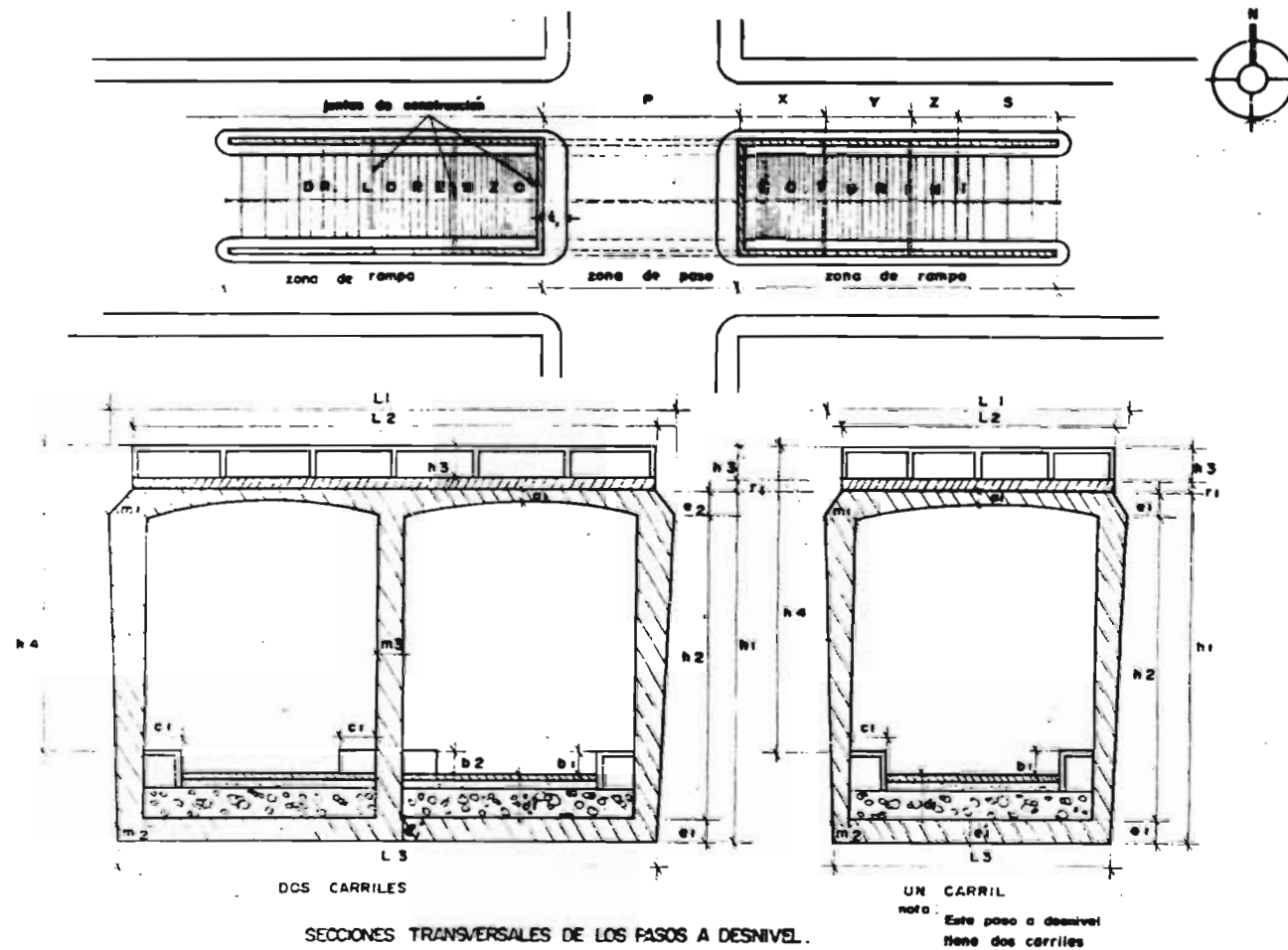
Figura 11 B 1 2

PLANO TOPOGRAFICO. AREAS DE DESCARGA



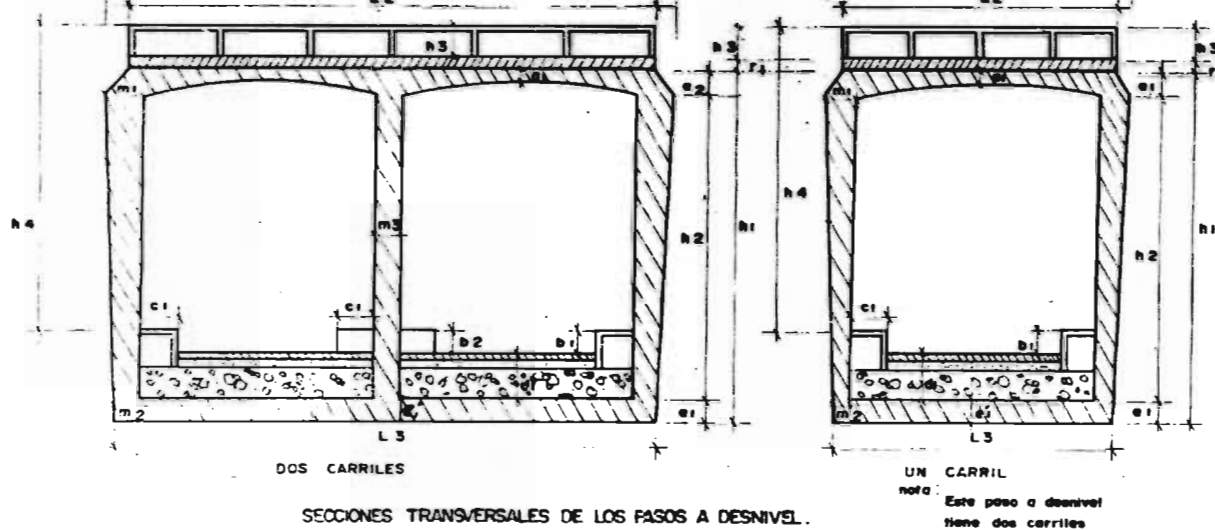
- Notas:
1. - 0+00 superior de la línea de piso
 2. - 0+00 inferior de la línea de piso
 3. - las elevaciones están referidas al nivel del mar
 4. - la profundidad de excavación

1. 2 PLANO TOPOGRAFICO. AREAS DE DESCARGA



LORENZO BOTURINI

Nomen- clatura	DIMENSIONES DE PROYECTO			DIMENSIONES MEDIDAS EN CAMPO						ALTURA MUROS DE RETENCION (1)			
	N	C	S	LADO ORIENTE			LADO PONIENTE			ORIENTE		PONIENTE	
				N	C	S	N	C	S	Disten- cia	Altura	Disten- cia	Altura
h ₁	5.75		5.75	5.70		5.77	5.76		5.83				



LORENZO BOTURINI

Nomenclatura	DIMENSIONES DE PROYECTO			DIMENSIONES MEDIDAS EN CAMPO					
	N	C	S	LAZO ORIENTE			LAZO PONIENTE		
				N	C	S	N	C	S
h ₁	5.75		5.75	5.70		5.77	5.76		5.83
h ₂	4.70		4.70	4.65		4.72	4.71		4.78
h ₃	-		-	1.01		1.02	0.98		1.02
h ₄	-		-	6.13		6.13	6.17		6.18
L ₁		17.90							
L ₂					16.71			16.67	
L ₃		16.90			17.01			16.97	
m ₁	0.60		0.60						
m ₂	0.35		0.35						
m ₃		0.30			0.30			0.30	
e ₁	0.45		0.45						
e ₂		0.49							
e ₃	0.60		0.60						
a ₁		0.20							
b ₁	0.25		0.25	0.23		0.20	0.24		0.25
b ₂					0.19			0.17	
c ₁	0.35		0.35	0.35		0.35	0.35		0.35
f ₁				0.40		0.39	0.47		0.33
d ₁		0.30							
z ₁					4.30			4.30	

NOMENCLATURA	ALTURA MUROS DE RETENCION (1)			
	ORIENTE		PONIENTE	
	Distancia	Altura	Distancia	Altura
Inicio rampa (1ª junta)	0.00	6.36	0.00	6.36
X (2ª junta)	30.65	5.55	31.25	5.32
X+Y (3ª junta)	70.25	3.30	67.55	3.09
X+Y+Z (final zona de piso)	84.40	2.45	83.35	2.27
X+Y+Z+S (final del paso)	142.55	1.17	123.70	1.03

(1) La medida se hizo desde la parte más alta del muro, hasta la elevación del pavimento.

P = ancho del paso perpendicular a Ciz. de Tlalpan.

P (proyecto) = 45.80 m

P (medido) = 44.97 m

N = Norte C = Centro S = Sur

TAB. II. B. 1.1. MEDICIONES EN CAMPO DE LA GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA.

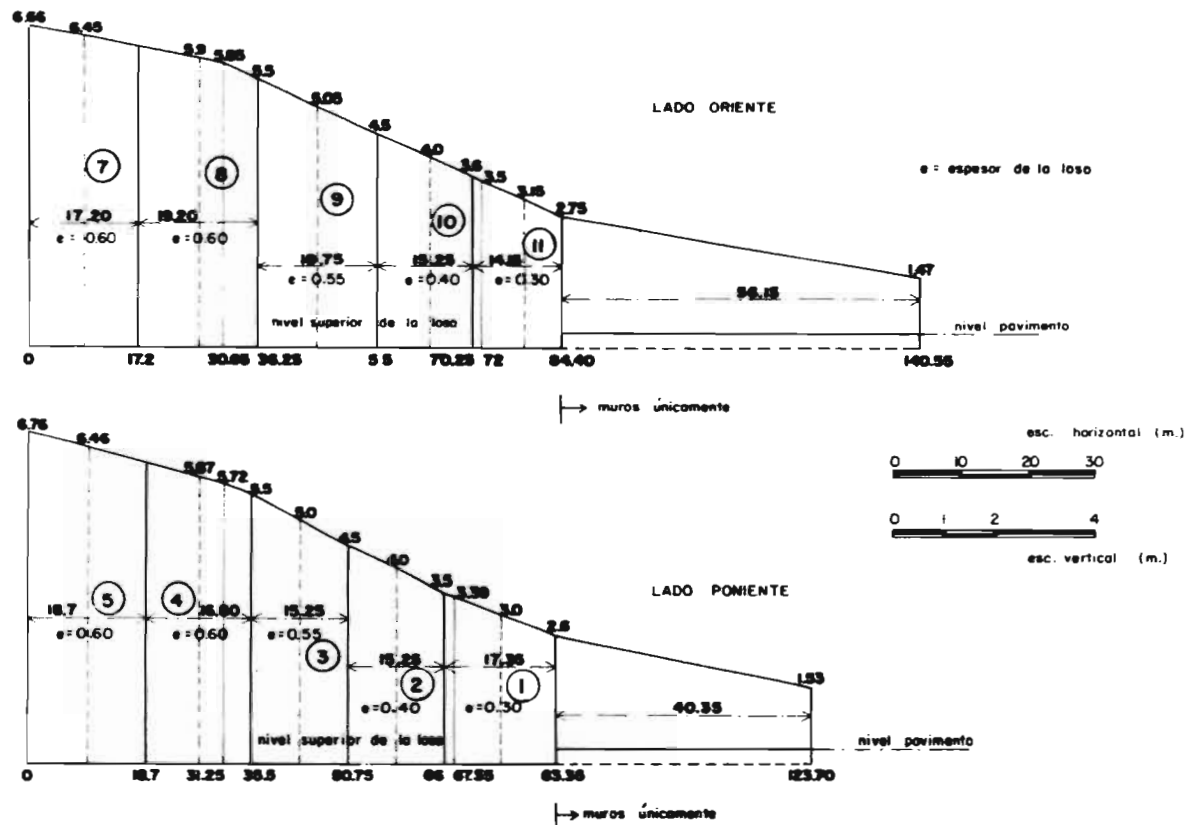


Fig. II. B. I. 3. PERFILES DE LOS MUROS DE RETENCION. DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE PISO

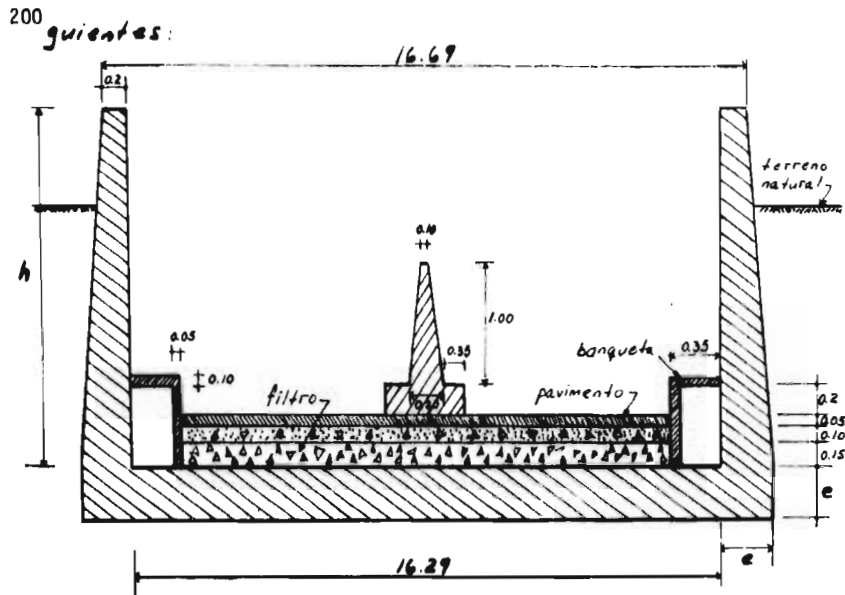


FIG. 11.0.1.4. SECCION TRANSVERSAL EN ZONA DE MUROS DE RETENCION CON LOSA CORRIDA.

$$\begin{aligned} \text{Filtro + base + asfalto} &= \frac{9.98 \text{ T/ml}}{15.59 \text{ m}} \\ &= 0.61 \text{ T/m}^2 \\ \text{Banqueta + muro divisorio} &= 1.01 \text{ T/ml} \end{aligned}$$

Entonces los pesos para este caso serán:

$$\begin{aligned} \text{Filtro + base + asfalto} &= 0.61 \text{ T/m}^2 \times 15.59 \\ &= 9.51 \text{ T/ml} \end{aligned}$$

Este peso más el de la banqueta y muro divisorio será:

$$\begin{aligned} W_T &= 9.51 + 1.01 \\ &= 10.52 \text{ T/ml} \end{aligned}$$

Enseguida se calculará el peso de los muros y losa en las diferentes áreas.

Se hace notar que en este análisis no se consideran las descargas en el paso para peatones ni en las áreas 1 y 11. Esto se hace considerando el efecto tan pequeño que estas descargas tienen en los esfuerzos en la masa de suelo (zona del túnel); esto se concluyó al analizar el peso Xola-Nayo-

león (véase inciso 11.A.2).
 A continuación se presenta la tabla 11.B.1.2, en la cual se proporcionan las características de los muros y losa en cada área de carga.

AREA	N.º	2	3	4	5	7	8	9	10
ALTURA MURO (h)	m	4.00	5.00	5.87	6.46	6.45	5.90	5.05	4.00
ESPESOR LOSA (e)	m	0.90	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.90

TAB. 11.B.1.2. DIMENSIONES DE LOS MUROS Y LOSA PARA LAS DIFERENTES AREAS DE CARGA.

Peso de la losa áreas N.º 4, 5, 7, 8:

$$\text{Peso de la losa: } W = 0.60 (16.29 + 2 \times 0.6) \times 2.4 \text{ T/m}^3 = 25.19 \text{ T}$$

$$\text{Peso de los muros: } W = \left[\frac{(0.6 + 0.2) \times h}{2} \times 1 \times 2.4 \text{ T/m}^3 \right] \times 2$$

$$W_4 = 11.28 \text{ T}; W_5 = 12.90 \text{ T}; W_7 = 12.38 \text{ T}; W_8 = 11.14 \text{ T}$$

La presión será: $p = \frac{W_T}{L \times l}$

$$p_4 = \frac{(10.52 + 25.19 + 11.28) \text{ T}}{[16.29 + 2(0.6)] \times 1 \text{ m}}$$

$$p_4 = 2.69 \text{ T/m}^2$$

Haciendo la misma operación para las otras áreas:

$$p_5 = 2.75 \text{ T/m}^2; p_7 = 2.75 \text{ T/m}^2; p_8 = 2.68 \text{ T/m}^2$$

Áreas N.º 3, 9:

$$\text{Peso de la losa: } W = (16.29 + 2 \times 0.55) \times 0.55 \times 1 \times 2.4 \text{ T/m}^3 = 22.95 \text{ T}$$

$$\text{Peso de los muros: } W = \left[\frac{(0.55 + 0.20) \times h}{2} \times 1 \times 2.4 \right] \times 2$$

$$W_3 = 9 \text{ T}; W_9 = 9.10 \text{ T}$$

$$\text{presión} = \frac{(10.52 + 22.95 + 9) \text{ T}}{(16.29 + 2 \times 0.55) \times 1 \text{ m}}$$

$$p_3 = p_9 = 2.44 \text{ T/m}^2$$

Áreas N.º 2, 10:

$$\text{Peso de la losa: } W = 0.4(16.29 + 2 \times 0.4) \times 1 \times 2.4 \text{ T/m}^2 \\ = 16.41 \text{ T}$$

$$\text{Peso muros: } W = \left[\frac{0.4 + 0.2}{2} \times 4 \times 1 \times 2.4 \text{ T/m}^2 \right] \\ = 7.68 \text{ T}$$

$$\text{Presión: } p = \frac{\sum W}{(16.29 + 2 \times 0.55) \times 1 \text{ m}} \\ p_2 = p_0 = 1.99 \text{ T/m}^2$$

b) Zona del túnel

En vista de que las medidas hechas en el campo son muy parecidas a las de proyecto (véase tabla 11.B.1.1. y 11.A.1.1), se considerarán estas últimas para los cálculos. Ya que las de proyecto son iguales a las de Xola-Napoleón, se transcribirán las obtenidas en el inciso 11.A.1.1.C. La única modificación que se hará, será la concerniente a los diferentes anchos en la Clz. de Tlalpan y el espesor del relleno.

Los pesos que se transcribirán son los siguientes (véase Fig. 11.A.1.5):

$$\begin{aligned} \text{Peso de las banquetas} &= 0.55 \text{ T/ml} \\ \text{Peso del filtro, base y as-} \\ &\text{falto} &= 0.61 \text{ T/m}^2 \text{ (9.27 T/ml)} \\ \text{Peso de la losa de piso} &= 18.31 \text{ T/ml} \\ \text{Peso de los muros laterales} &= 15.50 \text{ T/ml} \\ \text{Peso del muro interior} &= 4.14 \text{ T/ml} \\ \text{Peso de intrados} &= 12.03 \text{ T/ml} \end{aligned}$$

Entonces, la presión ejercida por la estructura sin considerar el peso del relleno ni el barandal será:

$$\text{presión} = \frac{(0.55 + 18.31 + 15.50 + 4.14 + 12.03 + 9.27) \text{ T/ml}}{16.90 \text{ m}} \\ = 3.59 \text{ T/m}^2$$

Ahora calculemos los pesos que dependen del ancho de la Clz. de Tlalpan:

Peso del asfalto de los carriles de automóviles:

Ancho total de los carriles: (l)

$$\begin{aligned} l &= \text{ancho Clz. Tlalpan} - (\text{ancho carril ferrocarril} + \text{ancho banquetas}) \\ l &= 44.97 - (10 + 2 \times 5.4) \\ &= 34.17 \text{ m} \end{aligned}$$

Haciendo una proporción de este ancho con el que se tiene.

en Xola - Napoleón y el peso obtenido en este mismo, se obtiene para Boturini:

$$W = \frac{34.17 \text{ m} \times 176.52 \text{ T}}{46.65 \text{ m}} ; \quad W = 129.30 \text{ T}$$

La relación entre anchos, se refiere al sentido perpendicular a Clz. Tlalpan.

Peso del carril de la vía:

Este es el mismo que en Xola: $W = 103.20 \text{ T}$

Peso vía: $W = 2.32 \text{ T}$

Peso barandal: $W = 2.16 \text{ T}$ (igual al de Xola)

Peso de las banquetas: (relleno)

$$W = 2 [5.4 \times 0.4 \times (16.20 \times 0.48) \times 2.2 \text{ T/m}^2] \\ = 158.53 \text{ T}$$

El peso de estos elementos es:

$$W_T = 129.30 + 103.20 + 2.32 + 2.16 + 158.53 \\ = 395.51 \text{ T}$$

Y la presión será:

$$p = \frac{W_T}{\text{área}} ; \quad p = \frac{395.51 \text{ T}}{(16.90 \times 44.97) \text{ m}^2} \\ p = 0.52 \text{ T/m}^2$$

44.97 m = ancho del fudo perpendicular a Clz. de Tlalpan

16.90 m = ancho del cajón en el contacto horizontal - suelo-estructura
(véase figura 11.A.1.5, de Xola - Napoleón)

Por lo tanto la presión total ejercida por el peso de la estructura será:

$$p_T = 3.59 + 0.52 \\ = 4.11 \text{ T/m}^2$$

Esta presión corresponde al área No 6 (zona del túnel).

11.B.1.2. - Descargas

1. - Paso a desnivel para vehículos.

Estas se calcularán para cada área, siguiendo la misma secuela que para Xola - Napoleón, estas áreas de descarga se muestran en la Fig. 11.B.1.2.

Para conocer la estratigrafía y las características de los diferentes estratos en el sitio, se recurrió a dos sondos, según se apuntó en el texto (anexo 9.3). En el primero, Fig. 11.8.1.6, se muestra la perforación desde la superficie del terreno hasta -25m; al segundo, Fig. 11.8.1.6, de esta profundidad hasta el final de la segunda formación arcillosa (-46.60m). Para conocer la presión de descarga a las profundidades medias de excavación en cada área (véase Fig. 11.8.1.2) se presentan en la siguiente tabla los pesos volumétricos reportados u obtenidos. En el caso de los pesos volumétricos que se obtuvieron, se empleó la expresión para suelos saturados y las siguientes densidades de sólidos:

$$\text{Arcillas} = 2.4 ; \text{Limos} 2.44 ; \text{Arenas} = 2.58$$

Estos valores medios vienen consignados en la tabla X-4, de la Referencia 1.

Profundidad m	Tipo de material	Contenido (w) de agua %	Peso volu- métrico (γ) T/m ³	Observaciones
0.0-1.5	relleno	40	1.65	supuesto
1.5-2.0	arcilla	60	1.57	obtenido
2.0-3.0	limo con arena	75	1.59	reportado
3.0-3.5	arcilla	70	1.52	obtenido
3.5-4.0	arena con limo	90	1.40	obtenido
4.0-4.5	limo	75	1.52	obtenido
4.5-5.0	arena con limo	60	1.60	obtenido
5.0-6.6	arcilla	150	1.30	obtenido
6.6-12.3	arcilla	360	1.13	reportado
12.3-13.9	arcilla	220	1.22	obtenido
13.9-15.10	arcilla y limo	120	1.37	obtenido
15.10-19.00	arcilla	325	1.12	reportado
19.0-25.0	arcilla	280	1.18	obtenido
25.0-25.4	limo	125	1.36	obtenido
25.4-30.0	arcilla	350	1.13	reportado
30.0-30.65	arcilla con vidrio v.	175	1.27	obtenido
30.65-35.0	arcilla	275	1.18	obtenido
35.0-37.0	arcilla	325	1.14	reportado
37.0-39.6	limo arenoso	60	1.60	obtenido
39.6-40.65	arcilla	300	1.17	obtenido
40.65-41.50	arcilla	180	1.26	obtenido
41.5-42.0	vidrio v.	25	1.75	reportado
42.0-43.5	arcilla	180	1.26	obtenido
43.5-44.10	vidrio v.	30	1.75	reportado
44.10-46.6	arcilla	200	1.24	obtenido

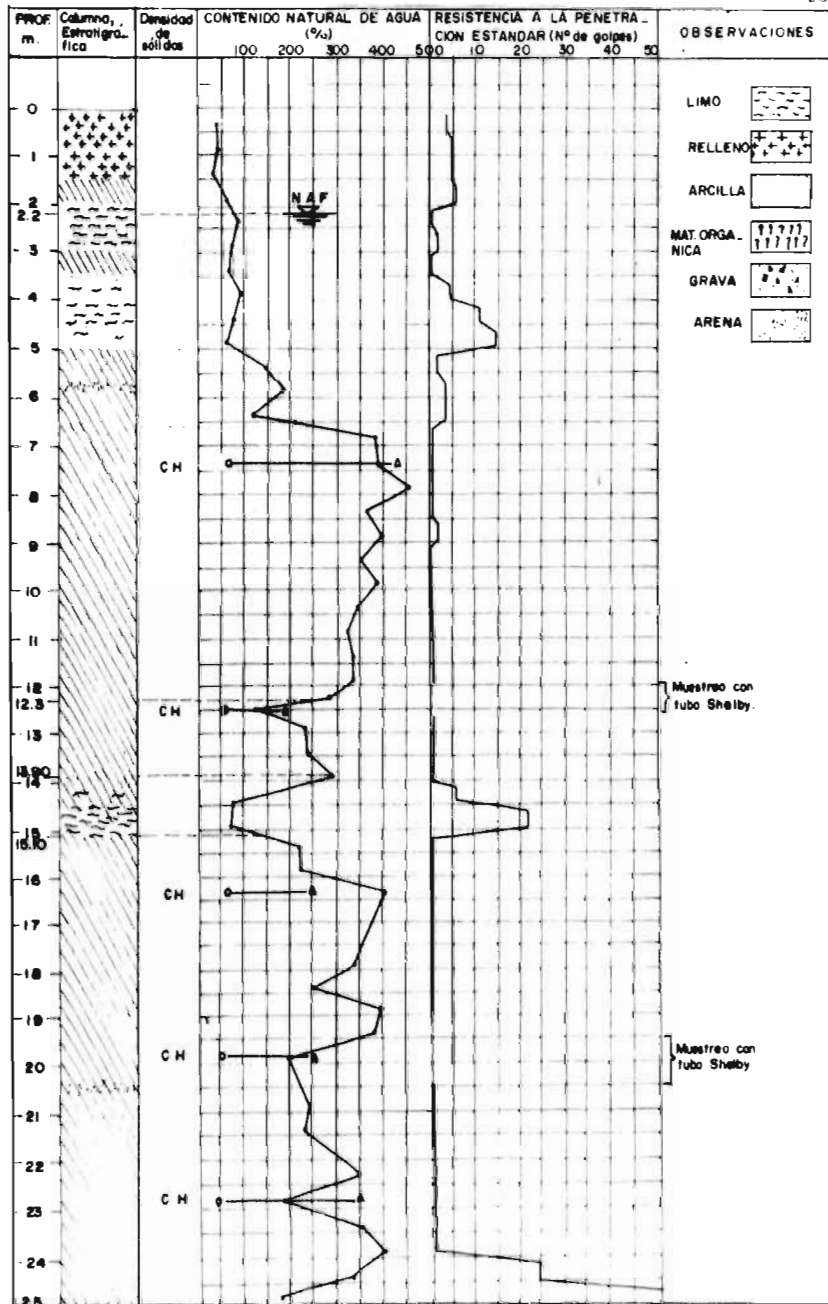


Figura: II. B. I. 5. PERFIL ESTRATIGRAFICO. REPRESENTACION GRAFICA DE LOS ENSAYES (Ixtillochitl y A. Delgado).

A continuación se tabulan las presiones totales a las diferentes profundidades de los estratos, y hasta la profundidad máxima de excavación.

Profundidad m	Espesor del estrato m	Peso vol. netico T/m ³	Esfuerzo total parcial T/m ²	Esfuerzo total T/m ²
0.0 - 1.5	1.5	1.65	2.48	2.48
1.5 - 2.0	0.5	1.57	0.79	3.27
2.0 - 3.0	1.0	1.59	1.59	4.86
3.0 - 3.5	0.5	1.52	0.76	5.62
3.5 - 4.0	0.5	1.46	0.73	6.35
4.0 - 4.5	0.5	1.52	0.76	7.11
4.5 - 5.0	0.5	1.60	0.80	7.91
5.0 - 6.6	1.6	1.30	2.08	9.99

A partir de estas presiones se determinará la presión total (a las diferentes profundidades medias) de los áreas en cuestión.

$$\begin{aligned}
 A-1 (h_1 = 2.68 \text{ m}) & ; \text{ presión} = 3.27 + 0.68 \times 1.59 & ; p_1 = 4.35 \text{ T/m}^2 \\
 A-2 (h_2 = 3.74 \text{ m}) & ; p_2 = 5.62 + 0.24 \times 1.46 & ; p_2 = 5.97 \text{ T/m}^2 \\
 A-3 (h_3 = 4.77 \text{ m}) & ; p_3 = 7.11 + 0.27 \times 1.60 & ; p_3 = 7.54 \text{ T/m}^2 \\
 A-4 (h_4 = 5.55 \text{ m}) & ; p_4 = 7.91 + 0.35 \times 1.30 & ; p_4 = 8.63 \text{ T/m}^2 \\
 A-5 (h_5 = 5.97 \text{ m}) & ; p_5 = 7.91 + 0.97 \times 1.30 & ; p_5 = 9.17 \text{ T/m}^2 \\
 A-6 (h_6 = 5.90 \text{ m}) & ; p_6 = 7.91 + 0.90 \times 1.30 & ; p_6 = 9.08 \text{ T/m}^2 \\
 A-7 (h_7 = 5.70 \text{ m}) & ; p_7 = 7.91 + 0.70 \times 1.30 & ; p_7 = 8.82 \text{ T/m}^2 \\
 A-8 (h_8 = 5.05 \text{ m}) & ; p_8 = 7.91 + 0.05 \times 1.30 & ; p_8 = 7.98 \text{ T/m}^2 \\
 A-9 (h_9 = 4.00 \text{ m}) & ; p_9 = 6.35 & ; p_9 = 6.35 \text{ T/m}^2 \\
 A-10 (h_{10} = 2.77 \text{ m}) & ; p_{10} = 3.27 + 0.77 \times 1.59 & ; p_{10} = 4.49 \text{ T/m}^2 \\
 A-11 (h_{11} = 1.82 \text{ m}) & ; p_{11} = 2.48 + 0.32 \times 1.57 & ; p_{11} = 2.98 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

11.B.1.3. Descargas netas.

1.- Paso a desnivel para vehículos.

Para visualizar la obtención de estas descargas netas -

se ha construido la siguiente tabla:

AREA	PRESION DEBI- DA A LA DES- CARGA	PRESION DEBI- DA AL PESO DE LA ESTRUCTURA	DESCARGA NETA.
N ^o	T/M ²	T/M ²	T/M ²
2	2.97	1.99	3.98
3	7.54	2.44	5.10
4	8.63	2.69	5.94
5	9.17	2.75	6.42
6	9.08	4.11	4.97
7	8.82	2.75	6.07
8	7.98	2.68	5.30
9	6.35	2.45	3.90
10	4.49	1.99	2.50

En la Fig. 11.B.1.7, se muestra en planta la localización de las áreas elegidas así como la magnitud de las descargas netas.

11.B.2. - ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO

11.B.2.1. Obtención de los esfuerzos mediante la carta de Newmark.

En este caso la profundidad de desplante en la zona del túnel es de 5.90 m., las profundidades a las cuales se obtendrán los esfuerzos se referirán a esta profundidad (-5.90 m). A continuación se dan las profundidades referidas a este nivel.

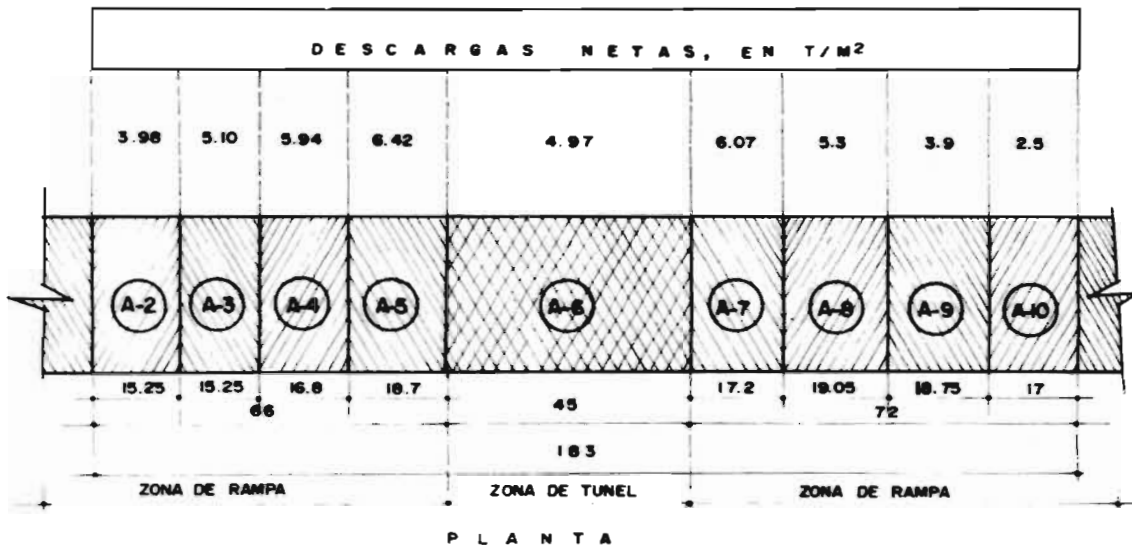
PROFUNDIDADES A LAS CUALES SE CALCULARAN LOS ESFUERZOS (M)									
Referidas a nivel del terreno	5.90	10.90	15.90	20.90	25.90	30.90	35.90	40.90	45.90
Referidas a -5.90 m.	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00

Se utilizó una sola carta de Newmark con una $z = 2.6$ cm. Las escalas a las cuales se construyeron las plantillas fueron tales, que a cada profundidad a la cual se determinaron los esfuerzos quedó representada por 2.6 cm.; a continuación se muestra la obtención de estas escalas.

Escala para $z = -5$ m:

$$2.6 \text{ cm representan } 5 \text{ m (500 cm)}$$

$$1 \text{ cm representa } \frac{500 \text{ cm}}{2.6} = 192.31 \text{ cm}$$



ocotaciones en mts.

Figura: 11. B . 1.7. DESCARGAS NETAS SEGUN LAS DIFERENTES AREAS CONSIDERADAS .

Luego la escala es: 1:192.31
 Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron las demás, también se obtuvieron para cada escala encontrada, las dimensiones de las áreas cargadas para así poder dibujar la plantilla, a continuación se muestran:

DIMEN- SION EN M.	REPRESENTACION EN CM. DE LAS DIFERENTES DIMENSIONES EN LAS ESCALAS RESPECTIVAS							
	Z=5m	Z=10m	Z=15m	Z=20m	Z=25m	Z=30m	Z=35m	Z=40m
	1:192.31	1:384.62	1:576.92	1:769.23	1:961.54	1:1153.85	1:1346.15	1:1538.46
45	23.90	11.70	7.80	5.85	4.68	3.9	3.34	2.93
19.05				2.98	1.98		1.42	1.24
18.75					1.95	1.62	1.39	1.22
18.70		4.86	3.24	2.43	1.94	1.62	1.39	1.22
17.20		4.47	2.98	2.24	1.79	1.49	1.25	1.12
17.00							1.26	1.11
16.90	8.79	4.39	2.93	2.2	1.76	1.46	1.26	1.10
16.80					1.75	1.46	1.25	1.09
16.08				2.09				
15.25					1.59	1.32	1.13	0.99

Los puntos en los cuales se determinaron a diferentes profundidades los esfuerzos, están localizados en la zona del túnel y se muestran en la siguiente figura:



A continuación se muestra el número de elementos de área de la celda que cubrieron las diferentes áreas cargadas.

Z=0				Z=5m				Z=10m					
Punto	n ₅	n ₆	n ₇	Punto	n ₅	n ₆	n ₇	Punto	n ₅	n ₆	n ₇	n ₈	n ₉
1		800		1		192				164			
2		100		2		100		2		96			
4		100	100	4		96	96	4		96	76	2	
5		50	50	5		50	50	5		48	47	2	
7		100	100	7	96	96		7	1	78	96		
9		50	50	9	50	50		9	1	47	48		

Z = 15 m					
Punto	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8
1			128		
2			82		
4			64	62	2
5			42	40	4
7	4	62	64		
9	3	41	42		

Z = 20 m					
Punto	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8
1		2.5	100	2.5	
2		2.5	72	2.5	
4			54	48	4.5
5			40	33	4
7	4	50	54		
9	3.5	33	40		

Z = 25 m								
Punto	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9
1			1.5	3	80	3.5	1.5	
2			1.5	2.5	60	3.5	1.5	
4				1	46	38	5.5	1.5
5				1	36	28	5.5	1.5
7	1	1.5	7.5	38	46	1		
9	1	1.5	6	27	36	1		

Z = 30 m								
Punto	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9
1			1.5	4.5	68	4	1.5	$\frac{1}{2}$
2		$\frac{1}{2}$	1	3.5	54	3.5	2	$\frac{1}{2}$
4				1.5	40	28	6.5	1.5
5				1.5	31	24	6.5	1.5
7		1	6	31	40	1		
9	1	1	5.5	24	31	1.5		

Z = 35 m								
Punto	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9
1		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	4.5	52	4.5	1.5	1
2		$\frac{1}{2}$	1	4.5	47	4	1	$\frac{1}{2}$
4			$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	34	24	6.5	1.5
5			$\frac{1}{2}$	1	28	20	6	1.5
7	$\frac{1}{2}$	2	6	26	34	1	1	
9	1	1.5	6	21	28	1	$\frac{1}{2}$	

Z = 40 m									
Punto	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₆	n ₇	n ₈	n ₉
1	1/2	1/2	1.5	6	49	4	1.5	1	
2	1/2	1/2	1.5	9.5	40	4	1.5	1	
4			1/2	2	30	20	6.5	2	
5			1	1	26	18	6	1.5	
7	1	1	5	22	30	1.5	1		
9	1	1	5	17	25	1	1		

Para conocer el valor del esfuerzo vertical por debajo de cada punto, (para $h = z$) se aplicara la siguiente expresion:

$$\bar{T}_z = 0.005 \sum_{i=1}^{i=n} n_i w_i ; \text{ donde}$$

n_i = número de elementos de área de la carta cubiertos por el área cargada i .

w_i = intensidad de la carga correspondiente al área de carga i

0.005 = valor de influencia correspondiente a cada uno de los segmentos circulares considerados en la carta.

Tomando en consideración los valores arriba tabulados y la magnitud de las descargas netas en las diferentes áreas se obtuvieron los valores de \bar{T}_z , éstos se muestran en la tabla 11.B.2.1. (Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad

TAB. 11.B.2.1

PRO-FUN- ALIDAD	ESFUERZOS DE DESCARGA					
	T/M ²					
	P U N T O S					
M	1	2	4	5	7	9
0.0	4.97	2.49	5.52	2.76	5.70	2.85
5	4.77	2.49	5.30	2.76	5.47	2.85
10	4.08	2.39	4.74	2.66	4.92	2.73
15	3.18	2.04	3.51	2.36	3.65	2.45
20	2.65	1.95	2.91	2.10	3.07	2.15
25	2.28	1.76	2.50	1.95	2.68	2.04
30	2.04	1.67	2.09	1.74	2.24	1.81
35	1.75	1.52	1.88	1.62	1.97	1.64
40	1.53	1.38	1.63	1.45	1.75	1.47

en los diferentes puntos; zona del túnel).

11.8.3. DETERMINACION DE LA VARIACION DE LOS ESFUERZOS - EFECTIVOS DEBIDOS A PESO PROPIO, DESCARGA Y ABATIMIENTO.

11.8.3.1. Esfuerzos efectivos por peso propio con respecto a la profundidad.

Considerando el valor del peso volumétrico para los diferentes estratos que se reportan en el inciso 11.8.1.2, se calculará la variación de los esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad. Se hace notar que el nivel freático se localiza a -2.2 m de profundidad; en la siguiente tabla se muestra el procedimiento:

Profundidad m	Espesor del estrato m	Peso volu- métrico T/m ³	Esfuerzos efectivos	
			Parcial T/m ²	Total T/m ²
0.0-1.5	1.5	1.65	2.48	2.48
1.5-2.0	0.5	1.57	0.79	3.27
2.0-2.2	0.2	1.59	0.32	3.59
2.2-3.0	0.8	1.59	0.47	4.06
3.0-3.5	0.5	1.52	0.26	4.32
3.5-4.0	0.5	1.46	0.23	4.55
4.0-4.5	0.5	1.52	0.26	4.81
4.5-5.0	0.5	1.60	0.30	5.11
5.0-6.6	1.6	1.30	0.48	5.59
6.6-12.3	5.7	1.13	0.74	6.33
12.3-13.9	1.6	1.22	0.35	6.68
13.9-15.10	1.2	1.37	0.44	7.12
15.1-19.0	3.9	1.12	0.47	7.59
19.0-25.0	6.0	1.18	1.08	8.67
25.0-25.4	0.4	1.36	0.14	8.81
25.4-30.0	4.6	1.13	0.60	9.41
30.0-30.65	0.65	1.27	0.18	9.59
30.65-35.00	4.35	1.18	0.78	10.37
35.0-37.0	2.00	1.14	0.28	10.65
37.0-39.6	2.60	1.60	1.56	12.21
39.6-40.65	1.05	1.17	0.18	12.39
40.65-41.50	0.85	1.26	0.22	12.61
41.50-42.0	0.50	1.75	0.38	12.99
42.0-43.5	1.50	1.26	0.39	13.38
43.5-44.1	0.60	1.75	0.45	13.83
44.1-46.6	2.50	1.24	0.60	14.43

11.8.3.2. Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad.

En la Fig. 11.8.3.1 se muestra la variación tanto de los esfuerzos de descarga como los efectivos por peso propio con respecto a la profundidad. Únicamente se graficaron los puntos 1, 2, 4, 5, 7, 9, debido a la simetría que existe entre 2-3, 5-6, 8-9. Para conocer el cambio en esfuerzos efectivos producidos por la descarga a una profundidad Z , bastará determinar mediante la figura arriba mencionada el valor del esfuerzo efectivo por peso propio y por descarga a esa profundidad Z , y sustraer el segundo del primero.

11.8.3.3. Variación de los abatimientos con respecto a la profundidad.

En la Fig. 11.8.3.2 se muestra la variación del abatimiento geométrico con respecto a la profundidad, según lo discutido en el inciso 5.1 del texto.

En la Fig. 11.8.3.3 se han sobrepuesto en la distribución de esfuerzos efectivos por peso propio, el aumento en esfuerzos efectivos debido al abatimiento. Para conocer la variación en esfuerzos efectivos a una determinada profundidad Z debido al abatimiento, bastará conocer a esa profundidad Z el esfuerzo por peso propio y el correspondiente a peso propio más abatimiento.

Posteriormente cuando se calculen los asentamientos por abatimiento y las expansiones por descarga, se recurrirá a las Figs. 11.8.3.1 y 11.8.3.3 para determinar el cambio en esfuerzos efectivos. En la Fig. 11.8.3.4 se muestran los esfuerzos efectivos por peso propio abatimiento y descarga.

11.8.4. - EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

11.8.4.1. - Construcción de las curvas de compresibilidad.

Estas se trazaron siguiendo los mismos lineamientos que para el caso Xola-Napoleón (inciso 11.A.4). Ellas se muestran de la Fig. 11.8.4.1 a 11.8.4.8.

En la tabla 11.8.4.1 se presentan los valores de los índices de compresibilidad y relación de vacíos que se emplearon para los diferentes contenidos de agua, en la construcción de estas curvas.

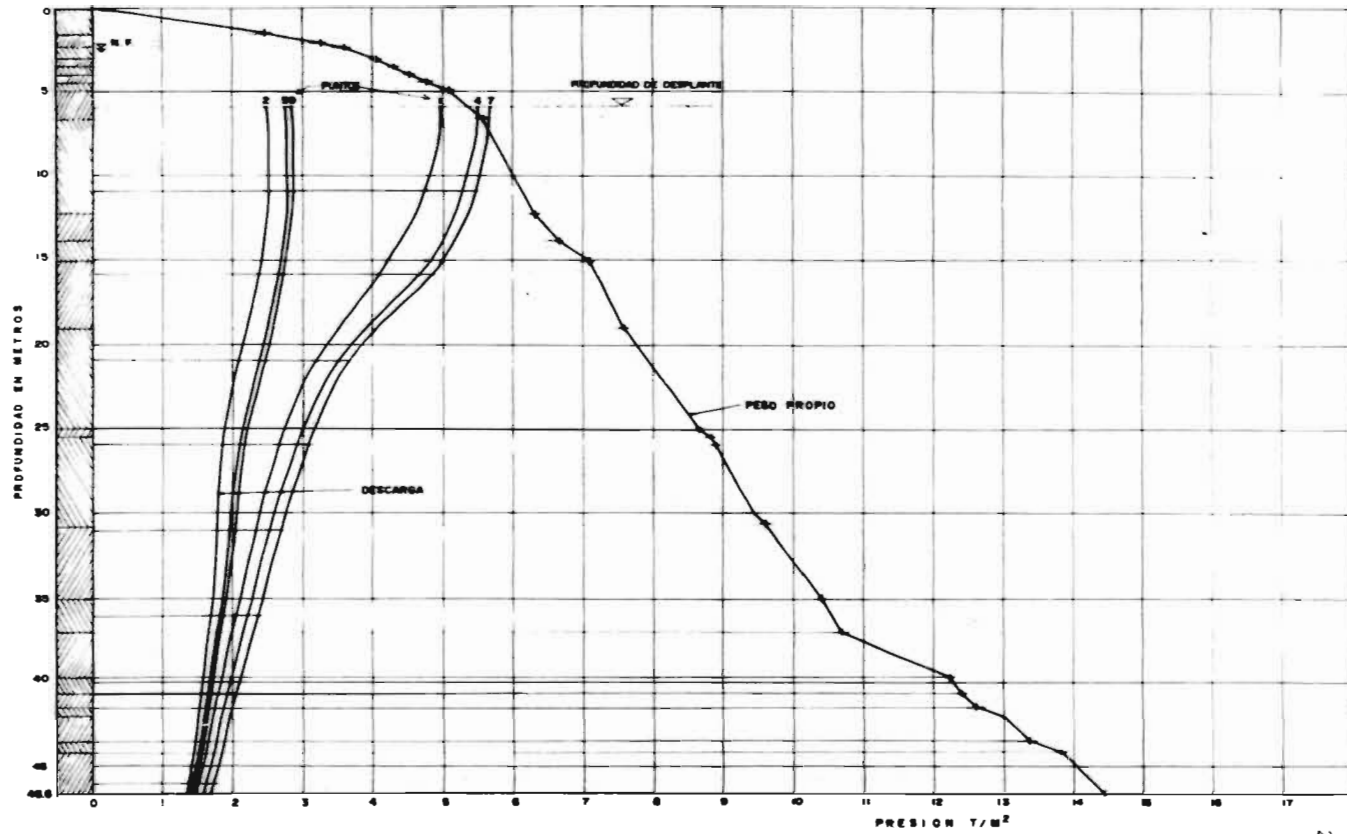


Figura II. B. 3. 1. VARIACION CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO Y POR DESCARGA EN LOS DIFERENTES PUNTOS.

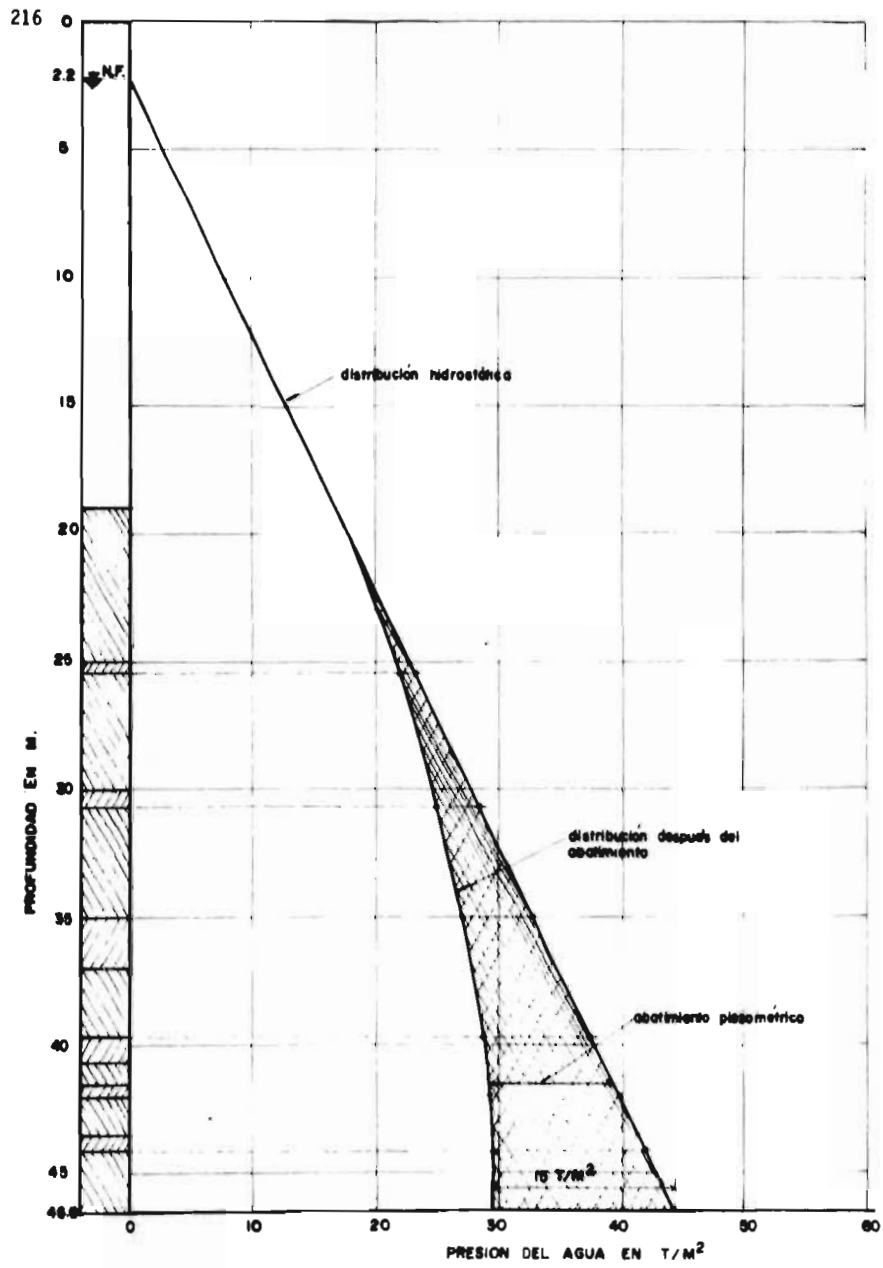


Figura II. B. 3. 2. DISTRIBUCION DE LOS ABATIMIENTOS PIEZOMETRICOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD.

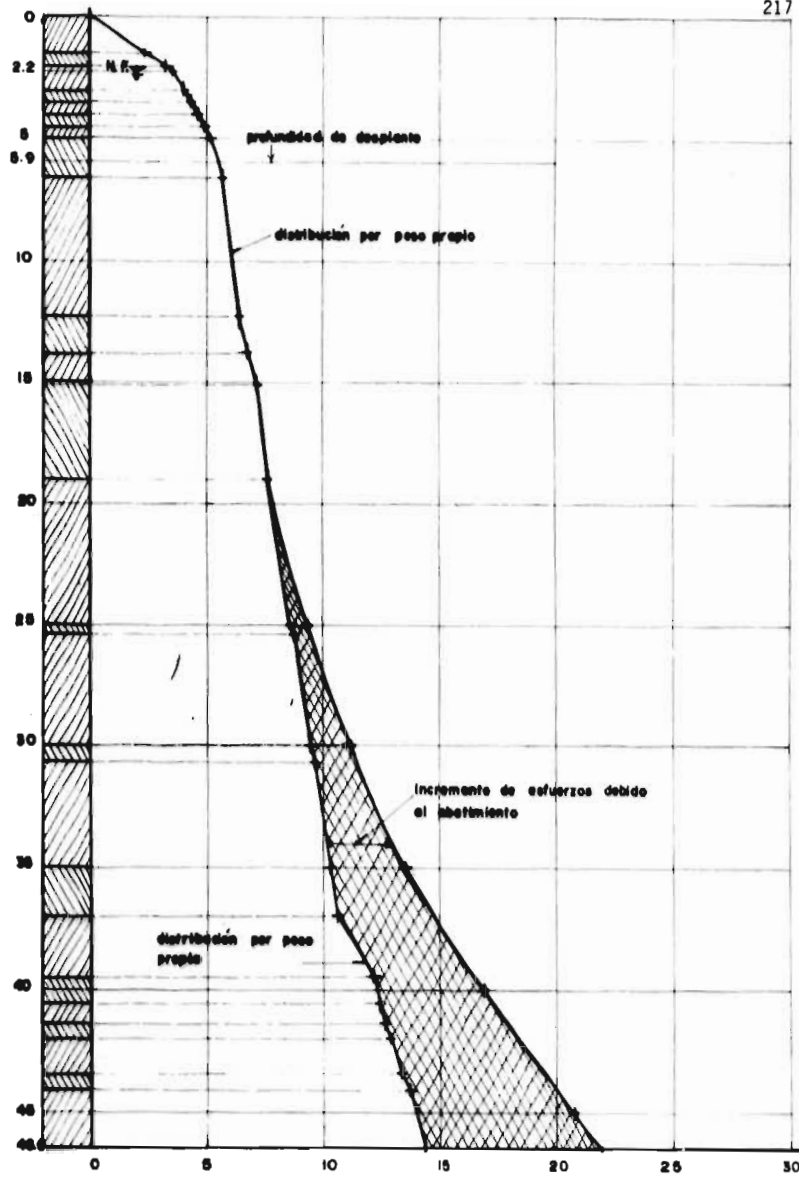


Figura 11. B. 3. 3. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO E INCREMENTO DE ESTOS POR ABATIMIENTO.

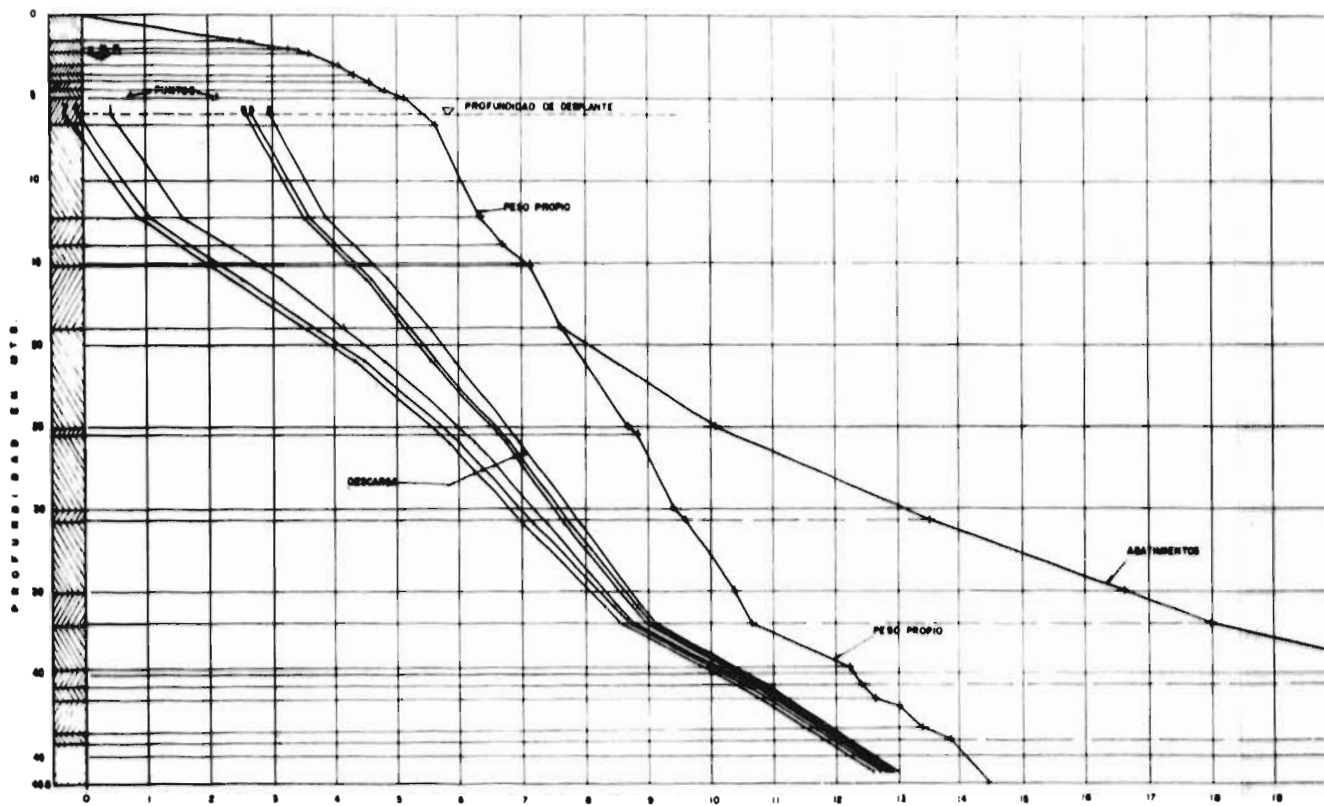


Figura 11 B 3 4 ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO ABATIMIENTO Y DESCARGA

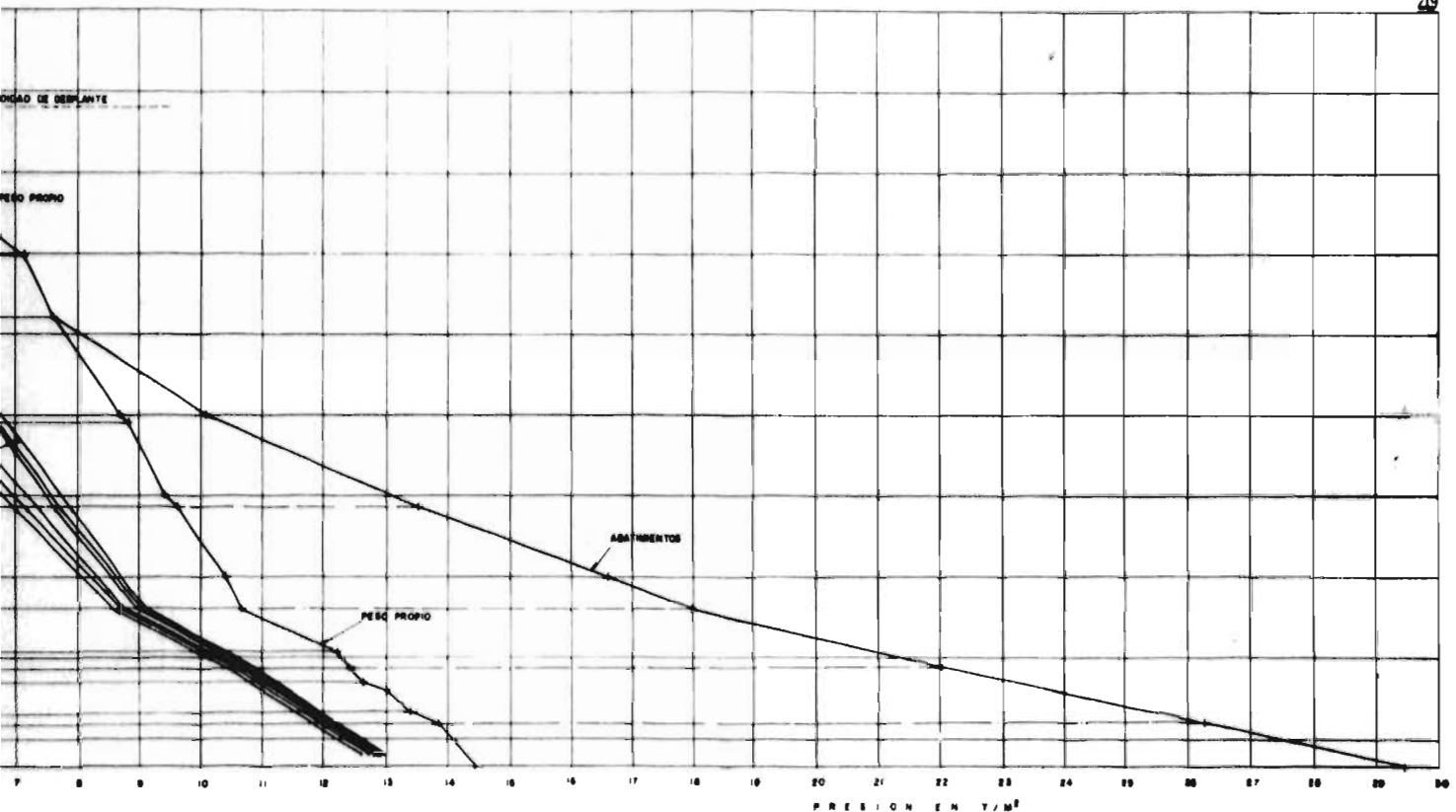


Figura II. B 3. 4. ESFUERZOS EFECTIVOS POR PESO PROPIO ABATIMIENTO Y DESCARGA

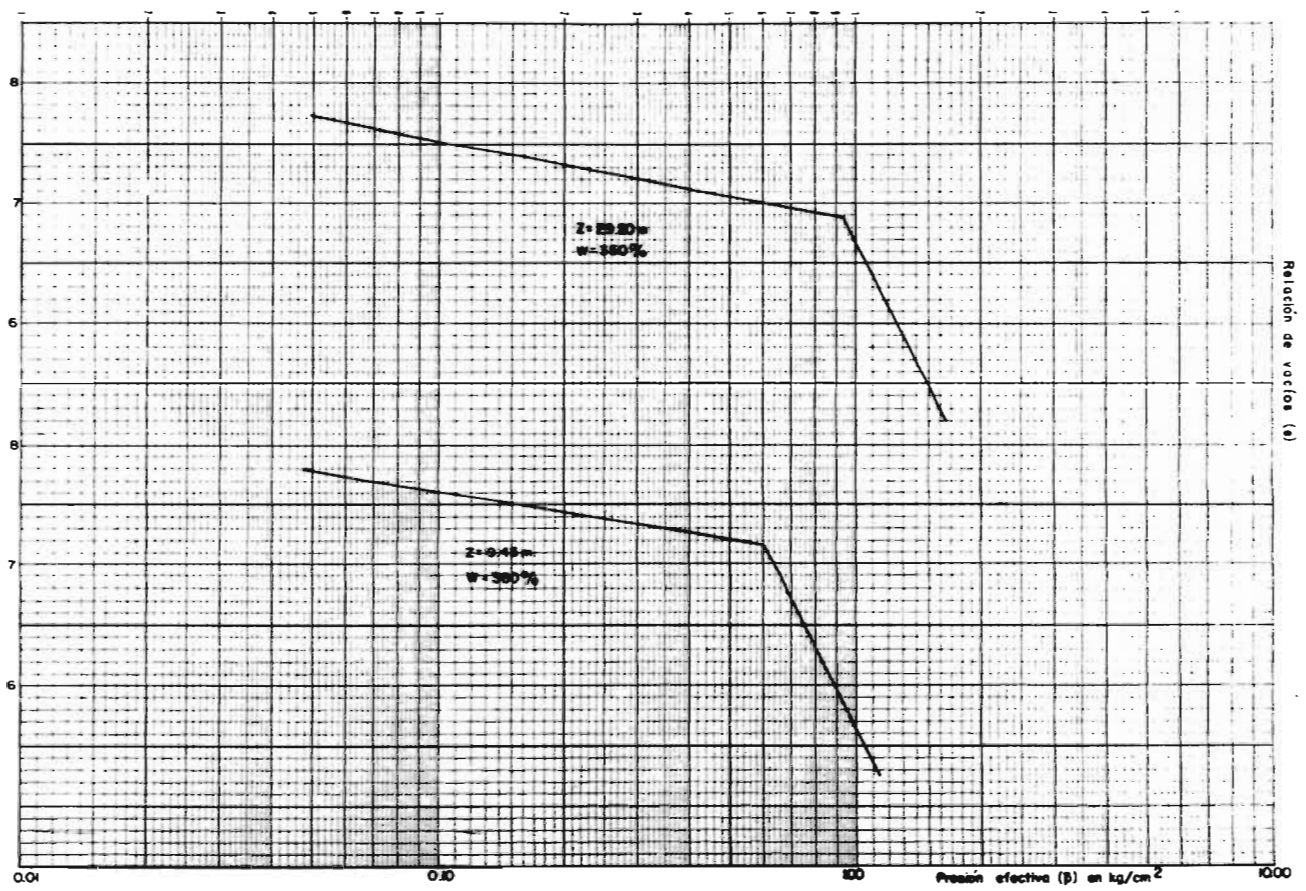


FIG. II. B. 4. I. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z = 29.20m , 9.45m)

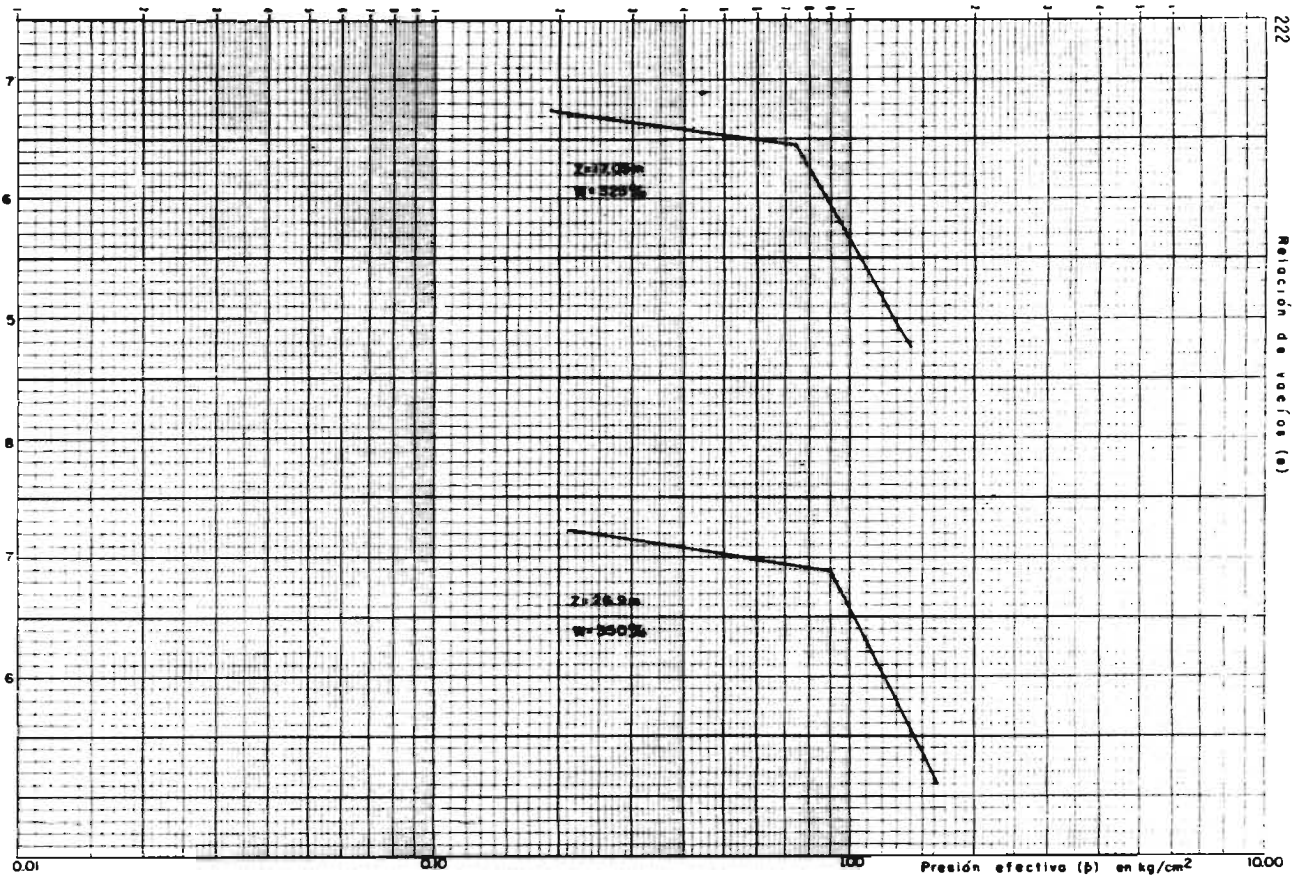


FIG. II. B. 4. 2. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z = 26.9m. 17.05m)

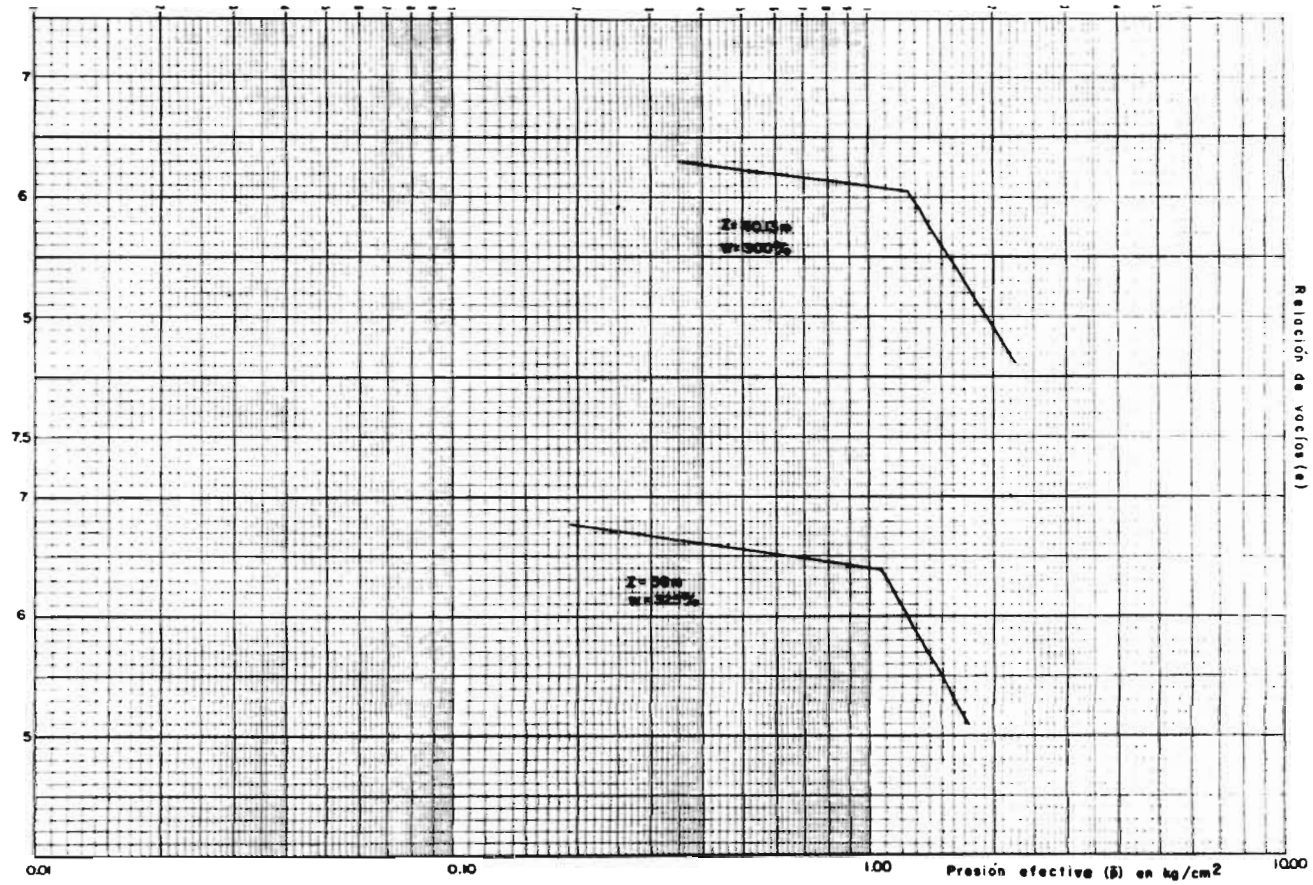


FIG. II. B. 4. 3. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z = 40.13m , 36m)

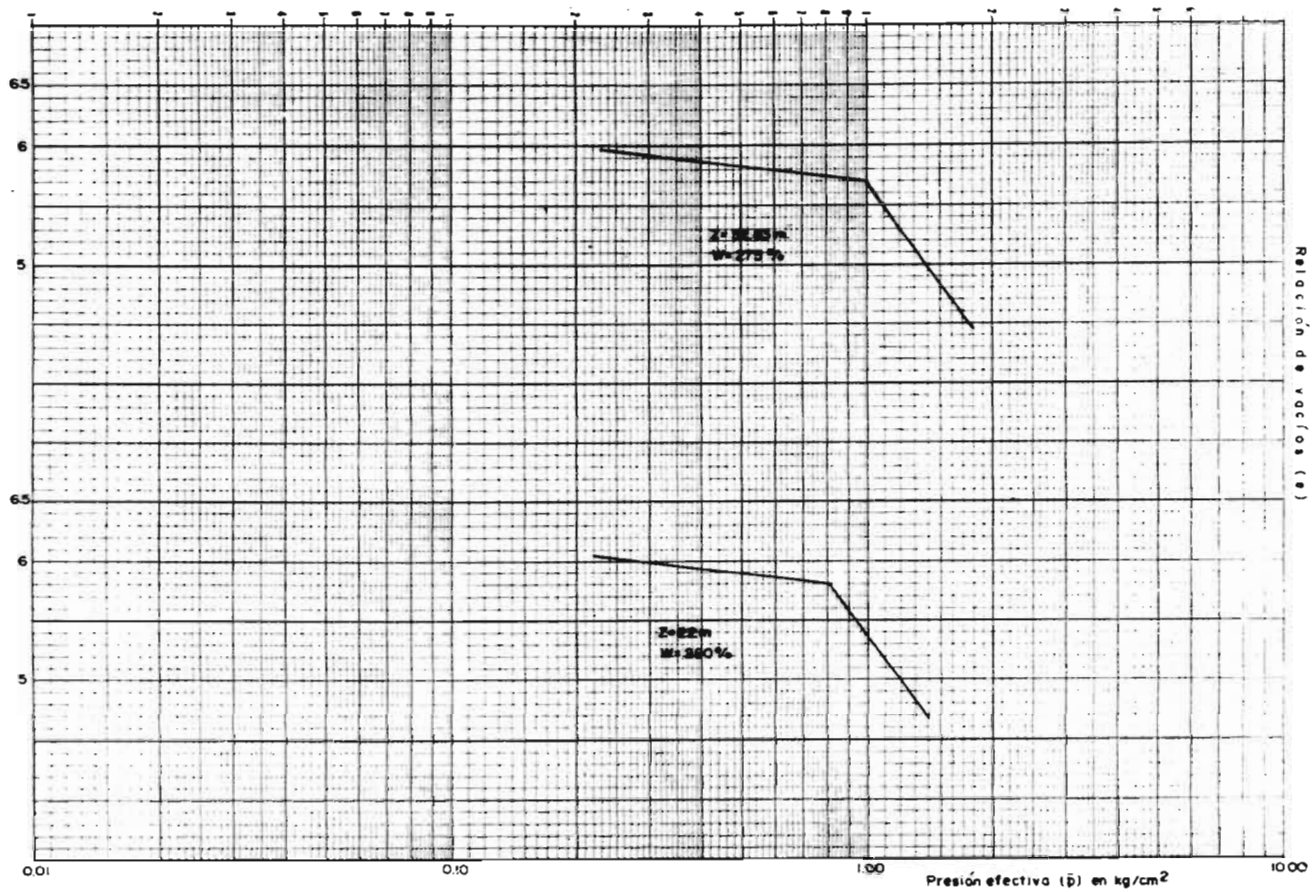


FIG. 11. B. 4. 5. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=32.83m, Z=22m)

Relación de vacíos (g)

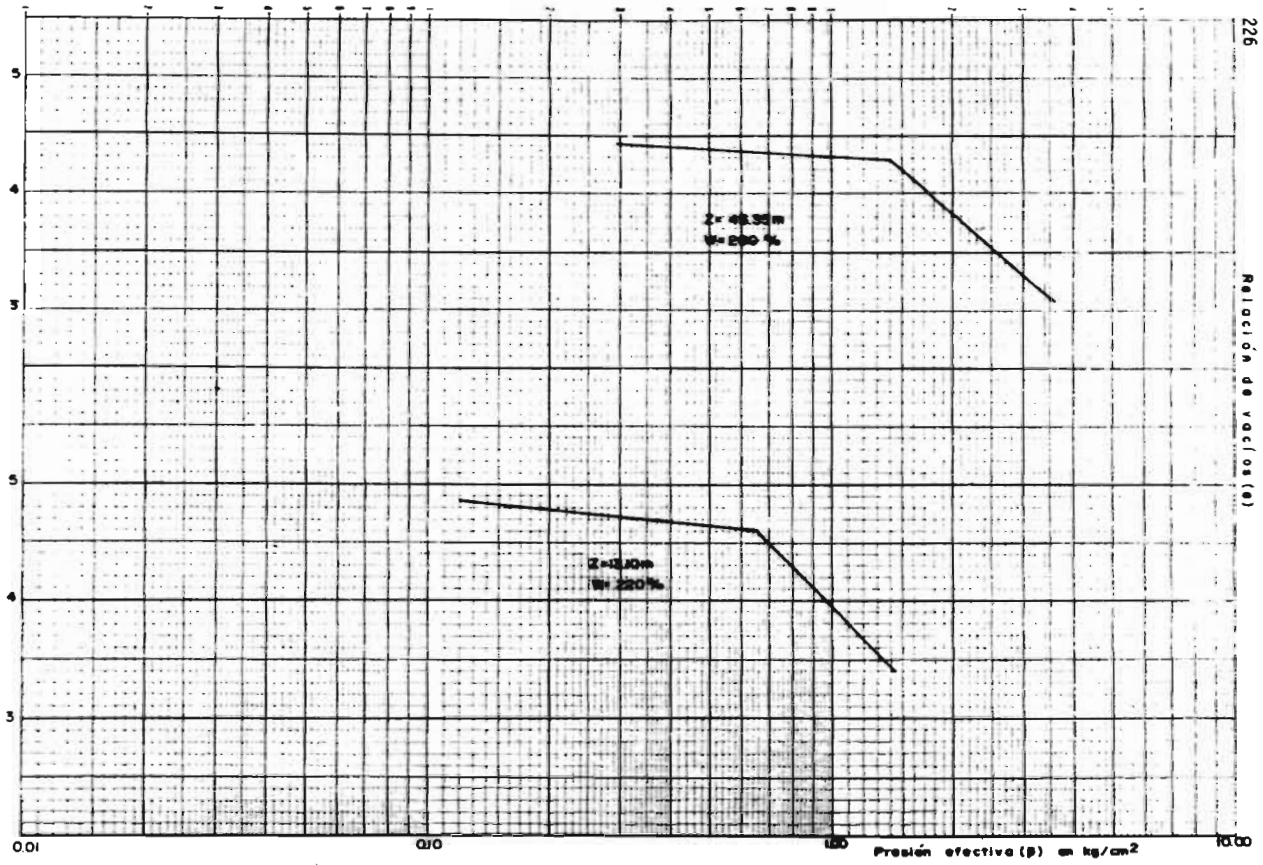


FIG. II. B. 4. 6. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=45.35m, Z=13.10m)

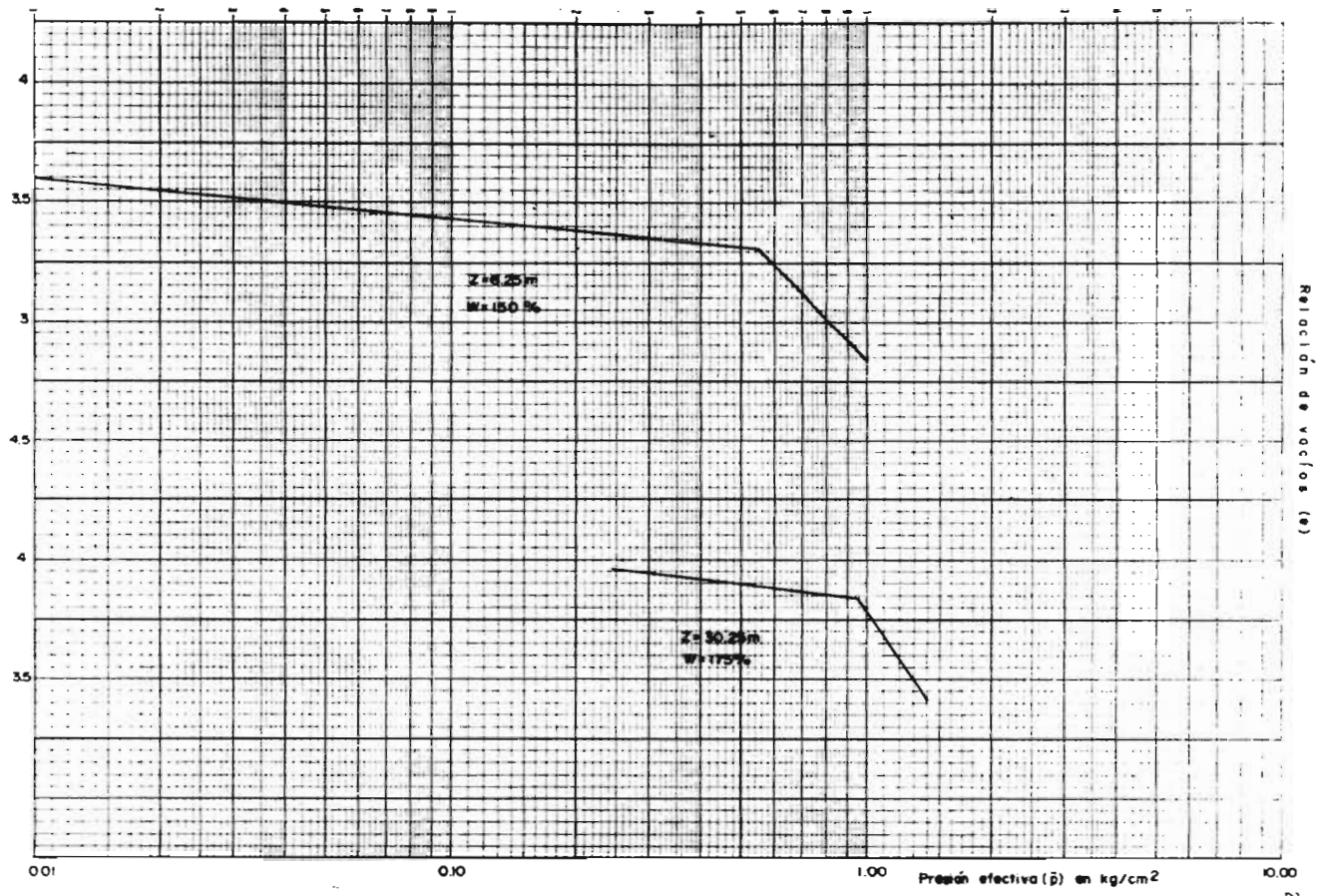


FIG. II. B. 4. 7. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=6.25m , Z=30.25m)

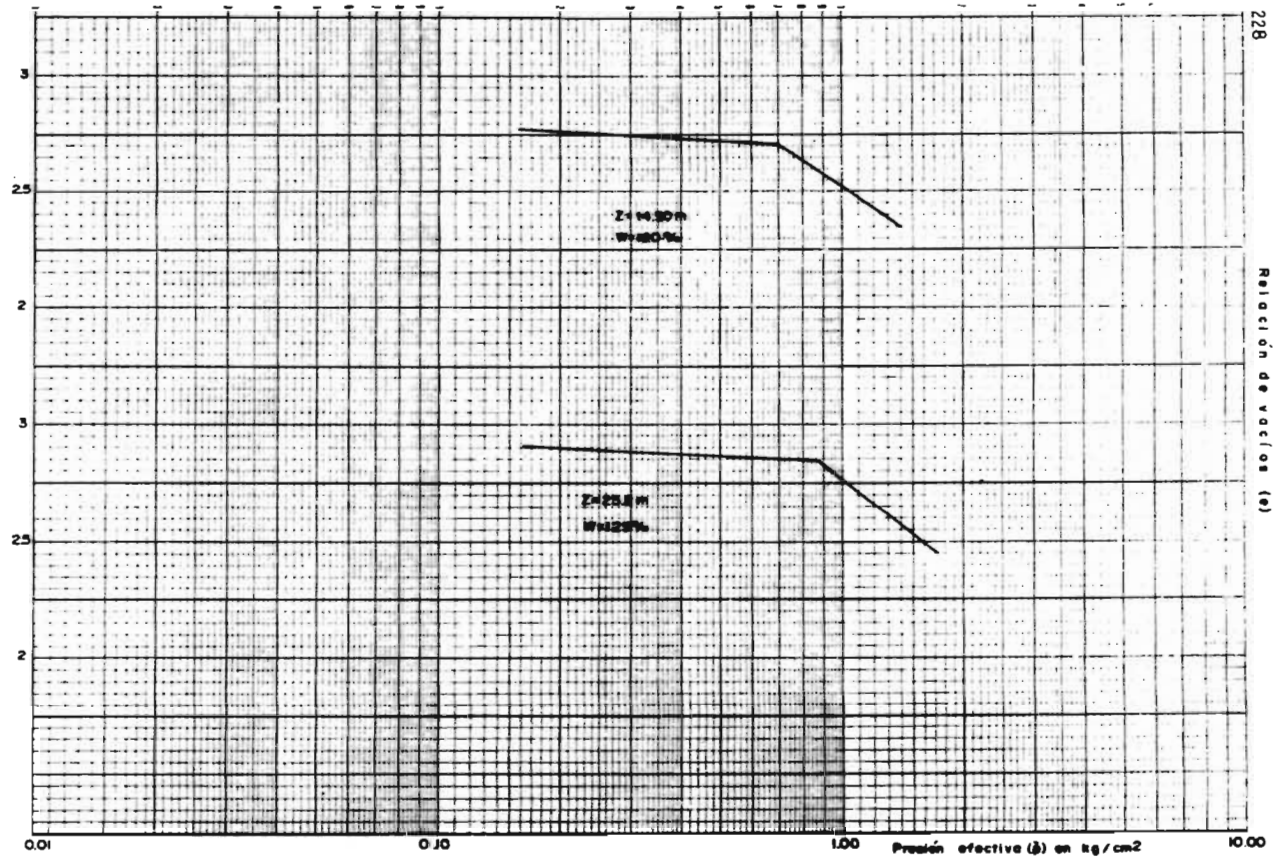


FIG. 11. 8. 4. 8. CURVAS DE COMPRESIBILIDAD (Z=14.30m, Z=25.2m)

Conenido natural de agua (w) %	Relación de vacíos inicial			Indice de compresibilidad	
	De refe. rencia. N.º 1	De Fij. 12.1.1	Promedio	Curva de recom- presión - descarga (C _s) cm ² /kg	Rama vir- gen (C _v) cm ² /kg
360	8.20	8.08	8.14	0.588	6.92
350	8.00	7.90	7.95	0.568	6.70
325	7.50	7.30	7.40	0.517	6.10
300	7.00	6.74	6.87	0.468	5.45
280	6.75	6.32	6.54	0.427	4.79
275	6.80	6.20	6.50	0.417	4.86
220	5.30	5.00	5.15	0.307	3.58
200	5.00	4.60	4.80	0.267	2.95
180	4.50	4.36	4.43	0.227	2.32
175	4.28	4.20	4.24	0.216	2.50
150	3.70	3.50	3.60	0.170	1.88
125	3.15	2.92	3.04	0.118	1.30
120	3.00	2.80	2.90	0.107	1.17

Tab. 11.B.4.1. - Parámetros que se emplearon para la construcción de las curvas de compresibilidad.

11.B.4.2. - Obtención de las expansiones y asentamientos.

Contando con las curvas de compresibilidad y conociendo la variación de los esfuerzos efectivos por descarga y por abatimiento, se procederá a encontrar las expansiones y asentamientos, en la tabla 11.B.4.2.1 se muestra esta obtención. A continuación se obtendrá la expansión y el asentamiento promedio según se trata en el inciso 7.4.7.

a) Para el caso de expansiones sin hundimiento regional:

$$\delta_e = \frac{2 \times 63.95 + 2 \times 29.75 + 82.76 + 34.38 + 86.48 + 35.10}{8} = 53.27 \text{ cm}$$

b) Para el caso asentamientos (sin corregir) dentro del área de influencia:

$$\delta_a = \frac{2 \times 157.23 + 2 \times 172.31 + 183.65 + 167.56 + 150.91 + 164}{8} = 161.90 \text{ cm}$$

11.B.5. - GRADO DE CONSOLIDACION.

Se procederá de la misma forma que se hizo al analizar el paso Xola - Napoleón.

a) Mediante los datos de la C.A.V.M.

CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS				CONDICIONES INICIALES			ABATIMIENTO	PUNTO N. 1 EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					PUNTO N. 2 EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL										
h	h _m	d	w	p _i	e _i	p _r	Δp	p _f	e _f	Δe / 1+e _i	Δh	p _f	e _f	Δe / 1+e _i	Δh	Δp	p _f	e _f	Δe / 1+e _i	Δh	p _f	e _f	
m	m	cm	%	Kg/cm ²		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²		
5.9-6.6	6.25	70	150	0.552	3.32		0.485	0.067	3.47	0.035	2.43					0.256	0.296	3.36	0.009	0.65			
6.6-12.3	9.45	570	360	0.600	7.17		0.487	0.113	7.58	0.050	28.60					0.255	0.345	7.30	0.016	9.07			
12.3-13.9	13.10	160	220	0.654	4.61		0.445	0.209	4.77	0.029	4.56					0.242	0.412	4.68	0.012	2.00			
13.9-15.1	14.50	120	120	0.675	2.72		0.440	0.255	2.76	0.011	1.29					0.253	0.440	2.75	0.008	0.97			
15.1-19.0	17.05	390	325	0.740	6.45		0.390	0.350	6.61	0.021	8.38					0.240	0.500	6.54	0.012	4.71			
19.0-25.0	22.0	600	280	0.815	5.79	0.07	0.302	0.513	5.885	0.014	8.39	0.583	5.86	0.004	2.18	0.200	0.615	5.895	0.008	4.86	0.685	5.82	
25.0-25.4	25.2	40	125	0.872	2.84	0.15	0.265	0.607	2.85	0.003	0.10	0.757	2.845	0.001	0.05	0.265	0.684	2.85	0.003	0.10	0.834	2.84	
25.4-28.4	26.9	300	350	0.899	6.885	0.22	0.250	0.649	6.96	0.010	2.85	0.869	6.89	0.009	2.64	0.185	0.714	6.94	0.007	2.09	0.934	6.78	
28.4-30.0	29.2	160	350	0.913	6.88	0.32	0.228	0.703	6.95	0.009	1.42	1.023	6.6	0.044	7.04	0.168	0.763	6.92	0.005	0.81	1.083	6.45	
30.0-30.65	30.25	65	175	0.951	3.84	0.375	0.223	0.727	3.86	0.004	0.27	1.102	3.67	0.039	2.54	0.168	0.782	3.85	0.002	0.13	1.157	3.62	
30.65-35.0	32.83	435	275	1.00	5.69	0.505	0.220	0.780	5.73	0.006	2.60	1.285	5.16	0.085	36.84	0.172	0.828	5.72	0.004	1.95	1.333	5.06	
35.0-37.0	36.0	200	325	1.05	6.385	0.675	0.200	0.850	6.43	0.006	1.22	1.525	5.45	0.132	26.38	0.162	0.888	6.42	0.005	0.95	1.563	5.39	
39.6-40.65	40.13	105	300	1.23	6.05	0.920	0.200	1.03	6.09	0.006	0.60	1.95	4.99	0.155	16.29	0.168	1.062	6.085	0.005	0.52	1.982	4.96	
40.65-41.5	41.08	85	180	1.252	4.08	0.990	0.175	1.077	4.09	0.002	0.17	2.067	3.57	0.102	9.02	0.150	1.102	4.09	0.002	0.17	2.092	3.55	
42.0-43.5	42.75	150	180	1.320	4.02	1.125	0.170	1.15	4.04	0.004	0.60	2.275	3.49	0.109	16.37	0.140	1.180	4.03	0.002	0.30	2.308	3.48	
44.1-46.6	45.35	250	200	1.415	4.27	1.370	0.162	1.253	4.28	0.002	0.47	2.673	3.48	0.152	37.88	0.140	1.275	4.28	0.002	0.47	2.648	3.46	

NOTAS:
 1.- EN LA COLUMNA Δh DE "ASENTAMIENTOS DEBIDOS AL ABATIMIENTO", SE HA INDICADO SUBRAYADO EL ASENTAMIENTO PARCIAL EL CUAL CORRESPONDE A LA PROFUNDIDAD DONDE LOS ESFUERZOS EN LA MASA DEL SUELO POR ABATIMIENTO Y POR EXPANSION SON IGUALES, EL ASENTAMIENTO HASTA ESTA PROFUNDIDAD ESTA INDICADO POR (1).
 2.- LA PRESION Y RELACION DE VACIOS INICIAL EN EL CASO DE "ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO" CORRESPONDEN A LA PRESION Y RELACION DE VACIOS FINAL PARA EL CASO DE "EXPAN-

SION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL". 4.- NO SE M CAPA DL SUPLES SIMBOLOS h = PROFUN h_m = PROF. A
 3.- CADA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVO DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$\Delta h = \frac{\Delta e \times d}{1 + e_i}$$

TAB. I.I.B. 4.2.1. OBTENCION DE LAS EXPANSIONES

PUNTO N. 1										PUNTO N. 2										PUNTO N. 4										
EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO REGIONAL					
Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_f	e_f	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	
Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²			cm	
0.985	0.067	3.47	0.035	2.43						0.256	0.296	3.36	0.009	0.65	0.538	0.014	3.58	0.060	4.21											
0.987	0.113	7.58	0.050	28.60						0.255	0.345	7.30	0.016	9.07	0.540	0.060	7.74	0.070	39.77											
0.945	0.209	4.77	0.029	4.56						0.242	0.412	4.68	0.012	2.00	0.500	0.154	4.80	0.039	5.42											
0.940	0.235	2.76	0.011	1.29						0.255	0.440	2.75	0.008	0.97	0.492	0.203	2.77	0.013	1.61											
0.930	0.350	6.61	0.021	8.38						0.240	0.500	6.54	0.012	4.71	0.455	0.285	6.68	0.031	12.04											
0.902	0.573	5.885	0.014	8.39	0.583	5.86	0.004	2.18	0.200	0.615	5.845	0.008	4.86	0.330	0.485	5.89	0.015	8.84	0.555	5.88	0.001	0.87								
0.265	0.607	2.85	0.003	0.10	0.757	2.845	0.001	0.05	0.265	0.684	2.85	0.003	0.10	0.287	0.585	2.85	0.003	0.09	0.735	2.845	0.001	0.10								
0.250	0.699	6.96	0.010	2.85	0.869	6.89	0.009	2.64	0.185	0.714	6.94	0.007	2.09	0.270	0.629	6.97	0.011	3.23	0.849	6.90	0.009	2.63								
0.228	0.703	6.95	0.009	1.42	1.023	6.6	0.044	7.04	0.168	0.763	6.92	0.005	0.81	0.248	0.683	6.95	0.009	1.42	1.003	6.67	0.035	3.67								
0.223	0.727	3.84	0.004	0.27	1.102	3.67	0.039	2.54	0.168	0.782	3.85	0.002	0.13	0.243	0.705	3.86	0.004	0.27	1.080	3.68	0.037	2.41								
0.220	0.780	5.73	0.006	2.60	1.285	5.16	0.085	36.84	0.172	0.828	5.72	0.004	1.95	0.235	0.765	5.73	0.006	2.60	1.270	5.17	0.083	36.20								
0.200	0.850	6.43	0.006	1.22	1.525	5.45	0.132	26.38	0.162	0.888	6.42	0.005	0.95	0.208	0.842	6.42	0.005	0.95	1.517	5.47	0.128	26.61								
0.200	1.03	6.09	0.006	0.60	1.95	4.99	0.155	16.29	0.168	1.062	6.085	0.005	0.52	0.207	1.023	6.095	0.006	0.67	1.943	5.00	0.159	16.21								
0.173	1.077	4.09	0.002	0.17	2.067	3.57	0.102	9.02	0.150	1.102	4.09	0.002	0.17	0.187	1.065	4.100	0.004	0.33	2.055	3.57	0.109	8.83								
0.170	1.15	4.04	0.004	0.60	2.275	3.49	0.109	16.37	0.140	1.180	4.03	0.002	0.30	0.180	1.140	4.04	0.004	0.60	2.265	3.50	0.107	16.07								
0.162	1.253	4.28	0.002	0.47	2.623	3.48	0.152	37.88	0.140	1.275	4.28	0.002	0.47	0.155	1.245	4.285	0.003	0.71	2.613	3.48	0.152	38.08								

$\Sigma = 63.95 \text{ cm}$ $\Sigma = 157.23 \text{ cm}$ $\Sigma = 29.75 \text{ cm}$ $\Sigma = 172.31 \text{ cm}$ $\Sigma = 82.76 \text{ cm}$ $\Sigma = 153.65 \text{ cm}$
 $\Sigma = 4.87 \text{ cm}$ $\Sigma = 2.29 \text{ cm}$ $\Sigma = 3.60 \text{ cm}$

3. - CADA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVO DE LA SIGUIENTE FORMA:
 4. - NO SE MUESTRA LA PRIMERA CAPA DURA, PORQUE SE HA SUPUESTO INCOMPRESIBLE.

SIMBOLOGIA:
 h = PROFUNDIDAD DEL ESTRATO.
 h_m = PROF. MEDIA DEL ESTRATO.

d = ESPESOR DEL ESTRATO.
 w = CONTENIDO NATURAL DE AGUA.
 P_i = PRESION INICIAL.
 e_i = RELACION DE VACIOS INICIAL.
 Δp = INCREMENTO DE PRESION (NEGATIVA O POSITIVA).
 Δh = ASENTAMIENTO O EXPANSION.

ENCIÓN DE LAS EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

ORIGINAL EN EL CASO DE...
 CORRESPONDEN A LA...
 PARA EL CASO DE EXPAN...

$\Delta h = \frac{\Delta e}{1+e_i} \times d$

PUNTO N. 5					PUNTO N. 7					PUNTO N. 9					ASENTAMIENTO POR ABATIMIENTO FUERA DEL AREA DE INFLUENCIA								
ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO DEBIDO AL ABATIMIENTO REGIONAL					EXPANSION SIN HUNDIMIENTO REGIONAL					ASENTAMIENTO FUERA DEL AREA DE INFLUENCIA			
Δp	P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh	Δp	P_i	e_i	$\frac{\Delta e}{1+e_i}$	Δh				
kg/cm ²	kg/cm ²			cm	kg/cm ²	kg/cm ²			cm	kg/cm ²	kg/cm ²			cm	kg/cm ²	kg/cm ²			cm				
0.12	0.81				0.552	0.0	3.6	0.007	0.65	0.293	0.259	3.37	0.012	0.81	0.885	5.61	0.027	15.91					
0.18	10.97				0.552	0.05	7.185	0.075	42.91	0.290	0.310	7.32	0.018	10.97	1.022	2.75	0.023	0.94					
0.14	2.28				0.520	0.134	4.83	0.039	6.21	0.270	0.384	4.69	0.014	2.28	1.119	6.21	0.078	23.40					
0.03	0.32				0.518	0.177	2.78	0.06	7.94	0.277	0.418	2.74	0.005	0.65	1.251	6.09	0.107	17.06					
0.12	4.71				0.460	0.28	6.68	0.031	12.04	0.260	0.480	6.55	0.013	5.23	1.326	3.47	0.076	4.97					
0.10	4.19	0.66	5.83	0.004	2.62	0.350	0.485	5.90	0.016	9.72	0.535	5.88	0.003	1.74	1.505	4.82	0.130	56.57					
0.03	0.10	0.82	2.84	0.003	0.10	0.300	0.572	2.855	0.094	0.16	0.722	2.845	0.003	0.10	1.725	5.12	0.171	24.26					
0.07	3.61	0.92	6.82	0.015	4.53	0.290	0.609	6.98	0.012	3.61	0.829	6.70	0.010	3.01	2.242	3.48	0.111	16.67					
0.06	1.02	1.071	6.77	0.055	8.88	0.263	0.666	6.91	0.011	1.83	0.966	6.70	0.034	5.42	2.445	3.42	0.120	17.93					
0.02	0.13	1.145	3.62	0.291	3.08	0.260	0.67	3.86	0.004	0.21	1.065	3.70	0.031	2.14	2.783	3.49	0.109	16.37					
0.09	1.45	1.323	5.10	0.092	20.13	0.249	0.751	5.74	0.007	3.25	1.256	5.21	0.079	34.21	2.287	3.48	0.111	16.67					
0.05	0.95	1.555	5.38	0.140	28.03	0.220	0.83	6.42	0.006	1.22	1.525	5.48	0.128	25.57	2.783	3.48	0.150	31.24					
0.05	0.52	1.970	4.98	0.156	16.38	0.217	1.013	6.025	0.007	0.67	1.933	5.015	0.152	15.98	2.150	4.76	0.183	19.21					
0.03	0.25	2.082	3.55	0.107	9.09	0.112	1.060	4.10	0.040	0.33	2.050	3.57	0.104	8.83	2.242	3.48	0.118	10.04					
0.02	0.60	2.287	3.49	0.109	16.37	0.190	1.130	4.05	0.006	0.90	2.255	3.50	0.109	16.07	2.445	3.42	0.120	17.93					
0.02	0.47	2.632	3.47	0.153	38.35	0.182	1.233	4.285	0.003	0.71	2.603	3.485	0.151	37.84	2.632	3.47	0.150	31.24					

$\Sigma = 34.38 \text{ cm}$ $\Sigma = 16.756 \text{ cm}$ $\Sigma = 86.48 \text{ cm}$ $\Sigma = 150.91 \text{ cm}$ $\Sigma = 35.10 \text{ cm}$ $\Sigma = 16.911 \text{ cm}$ $\Sigma = 227.53 \text{ cm}$

$\Sigma = 2.72 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 4.85 \text{ cm}^{(1)}$ $\Sigma = 2.72 \text{ cm}^{(1)}$

4. - NO SE MUESTRA LA PRIMERA CAPA DURA, PORQUE SE HA SUPUESTO INCOMPRESIBLE.
 SIMBOLOGIA:
 h = PROFUNDIDAD DEL ESTRATO.
 h_m = PROF. MEDIA DEL ESTRATO.
 d = ESPESOR DEL ESTRATO.
 w = CONTENIDO NATURAL DE AGUA.
 P_i = PRESION INICIAL.
 e_i = RELACION DE VACIOS INICIAL.
 Δp = INCREMENTO DE PRESION (NEGATIVA O POSITIVA).
 Δh = ASENTAMIENTO O EXPANSION.

Y DE LAS EXPANSIONES Y ASENTAMIENTOS.

3. - CADA ASENTAMIENTO PARCIAL SE OBTUVE DE LA SIGUIENTE FORMA:
 $\Delta h = \frac{\Delta e \cdot d}{1 + e_i}$

Este paso se construyó en el mes de Julio de 1959 y el estudio se hizo en Mayo de 1975. Aprovechando los datos de hundimiento regional proporcionados por la C.A.V.M., se construyó la tabla 5.1.2. Estos datos se emplearán para la obtención del hundimiento en este período (edad de la estructura).

Período	Tiempo años	Velocidad de hundimiento cm/año
Julio 1959 - Junio 1963	3.92	22.50
Junio 1963 - Junio 1966	3.00	6.67
Junio 1966 - Marzo 1970	3.75	5.33
Marzo 1970 - Agosto 1973	3.42	7.31
Agosto 1973 - Mayo 1975	1.75	7.31

$$\begin{aligned} \text{Hundimiento en el período} &= 3.92 \times 22.50 + 3 \times 6.67 + 3.75 \times 5.33 + \\ & \quad (\text{edad de la estructura, 15.84 años}) \quad + 3.42 \times 7.31 + 1.75 \times 7.31 \\ &= 165.99 \text{ cm} \end{aligned}$$

a) Según la nivelación corrida

De la Fig. 14.IV.B se obtienen los siguientes hundimientos en el período considerado (véase Anexo IX):

$$\begin{aligned} \text{Lado Oriente} &= 0.84 \text{ m} \\ \text{Lado Poniente} &= 1.48 \text{ y } 1.65 \text{ m} \end{aligned}$$

Se hace notar que en los planos que proporcionó la Oficina de Proyecto y Construcción de Estructuras y Viaductos, no viene consignado el perfil del parapeto; lo único que se presenta es el perfil del pavimento cuando se construyó el paso. Por tal razón se supuso que el nivel del parapeto tendría una elevación 25 cm mayor que el nivel del pavimento; esto se hizo tomando como base medidas que se hicieron en éste y otros pasos.

Considerando el lado Poniente como representativo (véase inciso 8.3.2), el grado de consolidación alcanzado será:

$$\begin{aligned} L &= \frac{1.48 \times 165.99 \text{ cm}}{227.53 \text{ cm}} \\ &= 65 \text{ a } 73 \% \end{aligned}$$

El asentamiento máximo esperado es de 227.53 cm, según se puede constatar en la columna "asentamiento por abatimiento fuera del área de influencia" de la tabla 11.B.4.2.1.

11.B.6. - VERIFICACION DE LA CONDICION QUE DEBE SATISFACER EL PROBLEMA.

VELOCIDAD DE HUNDIMIENTO (cm./año)					
PASO A DESNIVEL	PERIODO				
	Junio 59 - Junio 63	Junio 63 - Junio 66	Junio 66 - Marzo 70	Marzo 70 - Agosto 73	Agosto 73 - Mayo 75
					(1)
RIO CHURUBUSCO	0.0	6.67	10.67	2.92	2.92
POCATEPETL - IXTAPALAPA	2.5	5.67	12.80	4.39	4.39
NATIVITAS - AV. NUEVE - MORELOS	5.75	12.33	7.73	4.68	4.68
1º MAYO - RAMOS MILLAN	5.75	9.67	10.40	5.56	5.56
NIÑOS HEROES DE CH. - SUR 124	8.77	8.00	11.67	5.85	5.85
CORRESPONDENCIA - SANTIAGO	8.77	8.00	11.67	7.31	7.31
XOLA - NAPOLEON	8.77	8.00	11.67	6.25	6.25
VIADUCTO MIGUEL ALEMAN	11.25	6.67	7.73	7.60	7.60
J. P. CONTRERAS - CHAVACANO	12.50	6.67	6.67	7.31	7.31
J. T. CUELLAR - AV. DEL TALLER	16.25	7.50	6.67	7.31	7.31
LORENZO BOTURINI	22.50	6.67	5.33	7.31	7.31
CHIMALPOPOCA	19.25	7.67	4.53	6.73	6.73
FRAY SERVANDO TERESA DE MIER	18.25	7.33	4.80	6.43	6.43
PERIODO EN AÑOS	4.00	3.00	3.75	3.42	1.75

(1) Valores Supuestos.

TABLA 5.1.2 VELOCIDADES DE HUNDIMIENTO EN LOS PASOS A DESNIVEL.

El procedimiento será igual que para el análisis del caso Xola-Napoleón (inciso 11. A. 6).

Esta se enuncia como sigue: la magnitud y distribución de los abatimientos piezométricos, así como los parámetros del suelo deberán ser tales que para $t = 15.84$ años (edad de la estructura) el hundimiento regional deberá ser igual al obtenido por la nivelación o por las curvas de la c.A.V.M.

En la Fig. 11.8.6.1 se muestra la posición de los drenes (de acuerdo al perfil estratigráfico) y la ley de abatimientos, también se muestra un resumen de los parámetros del suelo y los resultados.

En la figura mencionada se observa que la parte de la primera formación arcillosa afectada por el abatimiento se consolidará con tiempos diferentes de -19 a -23 m y de -23 a -37 m, por la presencia de los drenes. En la segunda formación arcillosa ocurrirá lo mismo, por lo tanto se obtendrán por separado los tiempos para obtener el 65, 73 y 95% de consolidación, que son los que nos interesan.

Se empleará la expresión:

$$t = \frac{H^2 T}{C_v}$$

Obtención de los términos de la ecuación:

Factor tiempo (T): de la Referencia 12, se obtuvieron los siguientes resultados.

$$T_{95} = 1.127$$

$$T_{65} = 0.342$$

$$\begin{aligned} T_{73} &= T_{70} + 0.017 \times 3 \\ &= 0.405 + 0.051 \\ &= 0.456 \end{aligned}$$

Para obtener el coeficiente de consolidación se recurrió a la Referencia 1, Fig. X-20, este parámetro viene en función del contenido natural de agua.

En vista de que la parte de la primera formación afectada por el abatimiento comprende varios estratos, se obtendrá el contenido de agua promedio de éstos.

De -19 a -23 m el contenido de agua varió entre 280 y 250%, según el sondeo (véase Figs. 11.8.1.5 y 11.8.1.6).

De -23 m a -37 m el promedio es:

$$W_{prom.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i l_i}{\text{espesor total (14m)}} ; \text{ donde:}$$

W_i = contenido natural de agua del estrato i

l_i = espesor del estrato i

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{i=n} W_i l_i &= 325\% \times 2 \text{ m} + 125\% \times 0.4 \text{ m} + 850\% \times 4.6 \text{ m} + 175\% \times 0.65 \text{ m} \\ &\quad + 275\% \times 4.35 \text{ m} + 325\% \times 2 \text{ m} \end{aligned}$$

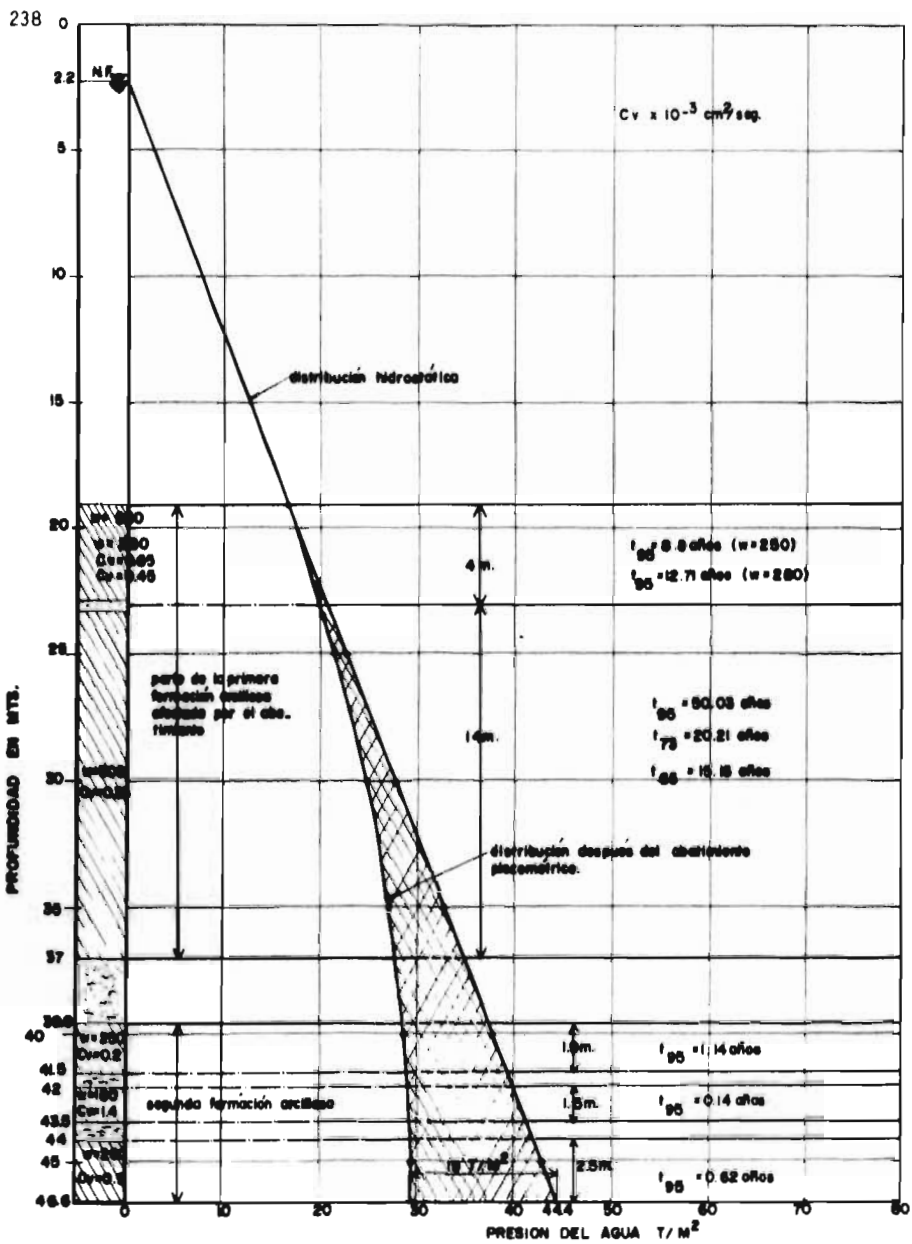


Figura 11. B. 6. 1. TIEMPOS DE CONSOLIDACION EN 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA. LEY DE ABATIMIENTOS.

$$W_{prom} = \frac{4270}{\text{espesor (14 m)}} \quad ; \quad U'_{prom} = 305\%$$

239

Se considerará por sencillez $W_{prom} = 300\%$
 Para estos contenidos de agua, se obtuvieron de la mencionada referencia (grupo 2⁽¹⁾), los siguientes valores:

Formación arcillosa superior

W(%)	$C_N \times 10^{-3} \text{ (cm}^2/\text{seg)}$
300	0.35
280	0.45
250	0.65

Formación arcillosa inferior

W(%)	$C_N \times 10^{-3} \text{ (cm}^2/\text{seg)}$
250	0.2 ⁽²⁾
200	0.9
180	1.4

Con estos datos estamos en la posibilidad de determinar los tiempos de consolidación.

Según se había visto antes, el tiempo se encuentra de la siguiente manera:

$$t = \frac{(H \text{ cm})^2 T}{C_N \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg} \times 31536 \times 10^3} \quad (\text{años})$$

$$\text{de } -23 \text{ m a } -37 \text{ m}$$

$$t_{95} = \frac{(400/2 \text{ cm})^2 \times 1.127}{0.35 \times 31536} \quad ; \quad t_{95} = 50.03 \text{ años}$$

Realizando lo mismo únicamente substituyendo el apropiado factor tiempo, se obtiene:

$$t_{73} = 20.21 \text{ años}$$

$$t_{65} = 15.16 \text{ años}$$

$$\text{de } -19 \text{ m a } -23 \text{ m}$$

$$t_{95} = \frac{(400)^2 \times 1.127}{(0.45 \text{ o } 0.65) \times 31536}$$

$$t_{95} = 12.71 - 8.8 \text{ años}$$

(1) Véase inciso 4.2

(2) Valor poco confiable por escasez de determinaciones

Para los otros tiempos basta substituir el correspondiente factor tiempo.

$$t_{75} = 5.14 \text{ ó } 3.56 \text{ años}$$

$$t_{65} = 3.86 \text{ ó } 2.67 \text{ años}$$

De -37 a -46.6 m

para $w = 250\%$

$$t_{95} = \frac{(190/2)^2 \times 1.127}{0.2 \times 31536} ; t_{95} = 1.14 \text{ años}$$

para $w = 180\%$

$$t_{95} = \frac{(150/2)^2 \times 1.127}{1.4 \times 31536} ; t_{95} = 0.14 \text{ años}$$

para $w = 200\%$

$$t_{95} = \frac{(250/2)^2 \times 1.127}{0.9 \times 31536} ; t_{95} = 0.62 \text{ años}$$

Para estos pequeños estratos yo no se obtienen los tiempos t_{75} y t_{65} , en vista de que el t_{95} resultante es muy pequeño, comparado con el t_{95} de la formación arcillosa superior, entre las elevaciones -23 y -37 m (50.03 años).

De esto se deduce que cuando en la formación arcillosa superior (entre -23 y -37 m) se ha alcanzado un grado de consolidación entre 65 y 73%, la formación arcillosa inferior ya se ha consolidado. Lo mismo sucede con el estrato localizado entre las elevaciones -19 y -23 m.

En base a estas deducciones se puede construir la Fig. 11.8.6.2; en ella, con la curva No. 2 se muestra la contribución que con el tiempo (o los grados de consolidación) van teniendo en el hundimiento regional teórico la segunda formación arcillosa y la parte de la primera formación (entre elevaciones -19 y -23 m); con la curva No. 1 se muestra la contribución de la primera formación (entre elevaciones -23 y -37 m); con la No. 3 se muestra la suma de ambas, la cual representa el hundimiento regional teórico. Para la construcción de estas curvas se recurrió a los datos obtenidos en la tabla 11.8.4.2.1.

En puntos alejados del área de influencia, S_{af} (el asentamiento total debido al abatimiento) es de 227.53 cm; de estos, 84.42 cm corresponden a la segunda formación arcillosa y 143.11 cm a la primera formación. Por lo que respecta a la parte de la primera formación entre -19 y -23 m, se obtendrá como sigue: en la misma tabla 11.8.4.2.1. se puede observar que el asentamiento del estrato localizado entre las elevaciones -19 y -23 m es de 15.91 cm; la parte

- ① : CONTRIBUCION DE LA 1ª FORMACION ARCILLOSA EN EL HUNDIMIENTO
- ② : CONTRIBUCION DE LA 2ª FORMACION ARCILLOSA EN EL HUNDIMIENTO
- ③ : HUNDIMIENTO REGIONAL TEORICO (suma de ① y ②)

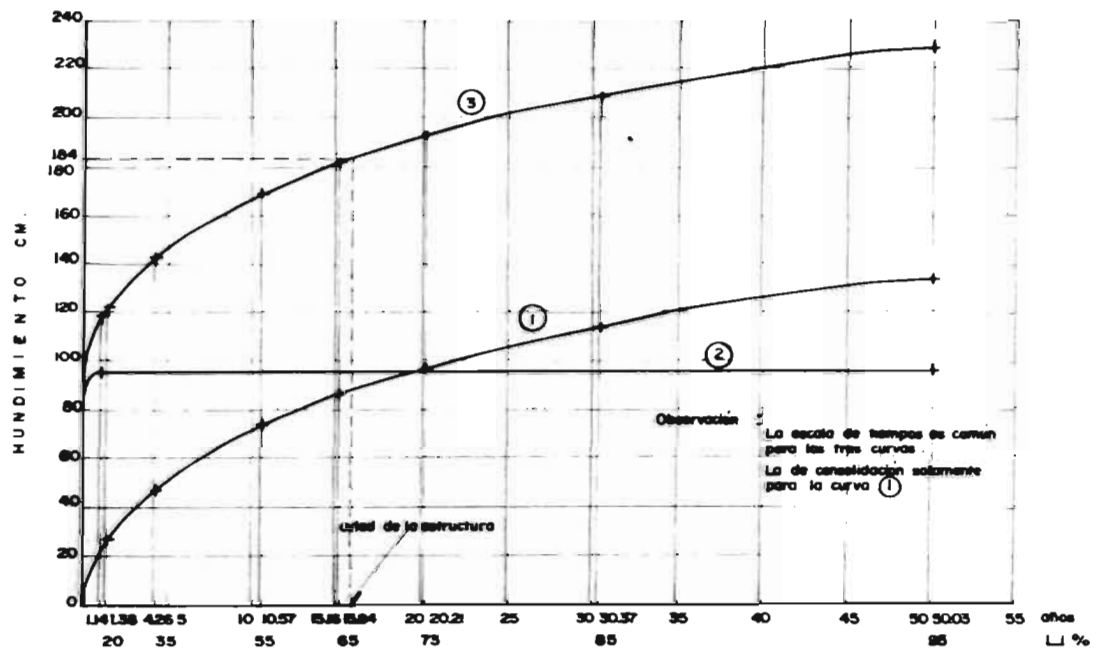


Figura: 11. B. 6. 2. CONTRIBUCIONES TEORICAS EN EL HUNDIMIENTO REGIONAL DE LA 1ª Y 2ª FORMACION ARCILLOSA.

242

proporcional de este asentamiento para el estrato entre -19 y -23 m, será:

$$\frac{(23 - 19)}{(25 - 19)} \times 15.91 \text{ cm} = 10.61 \text{ cm}$$

Luego la contribución total (para $U=100\%$) de la segunda formación y la parte de la primera formación (entre -19 y -23 m) será:

$$84.42 + 10.61 = 95.03 \text{ cm.}$$

En vista de que la contribución en el asentamiento de la segunda formación es bastante mayor que la del estrato entre -19 y -23 m, se supondrá que este último tiene el mismo tiempo de consolidación que la segunda formación. Además como la segunda formación, en sí tiene varios tiempos de consolidación, se supondrá como representativo el mayor ($t_{95} = 1.14$ años); véase Fig. 11.8.6.1.

A continuación se expresarán como porcentaje las diferentes contribuciones:

a) primera formación arcillosa (entre -23 y -37 m)

$$\frac{227.53 - 95.03}{227.53} = 0.58 (58\%)$$

b) segunda formación arcillosa, más primera formación (entre elevaciones -19 y -23 m)

$$\frac{84.42 + 10.61}{227.53} = \frac{95.03}{227.53}$$

$$\text{porcentaje} = 42\%$$

El trazo de la curva N. 1 se hará de la siguiente forma: se partirá de la hipótesis de que las deformaciones de un determinado estrato son proporcionales a los grados de consolidación (inciso 7.4.5), por lo tanto el hundimiento para un determinado grado de consolidación ($U\%$) se encontrará de la siguiente forma: se multiplicará la contribución total de la primera formación arcillosa (de -23 a -37 m) por el grado de consolidación respectivo. El tiempo para alcanzar dicho grado de consolidación se calculará a partir de la expresión derivada de la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi:

$$t_{(U\%)} = \frac{H^2 T_{(U\%)}}{C_v}$$

Por ejemplo para $U=55\%$, el hundimiento vale: $0.55 \times 132.5 = 72.80 \text{ m}$ y el tiempo para alcanzar este grado de consolidación será, según se había visto anteriormente (inciso 11.8.6):

$$t \text{ (años)} = \frac{H \text{ (cm)}^2 T}{c_v \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg} \times 31536 \times 10^{-3}}$$

$$t (U=55\%) = \frac{(400/2)^2 \times 0.238}{0.35 \times 10^{-3} \times 31536 \times 10^{-3}} = 10.57 \text{ años}$$

A continuación se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Grado de consolidación %	Hundimiento to cm	Factor tiempo	Tiempo de consolidación años
100-95	132.95	1.127	50.03
85	113.01	0.684	30.37
73	96.73	0.456	20.21
65	86.13	0.392	15.16
55	72.88	0.238	10.57
35	46.38	0.096	4.26
20	26.50	0.031	1.39

Con estos datos estamos en la posibilidad de construir la curva No. 1. En la Fig. 11.8.6.2, como se había dicho anteriormente, vienen mostradas las curvas No. 1 y 2 y la suma de ambas, la No. 3. Se hace hincapié en el hecho de que la escala de tiempos es común para todas las curvas; la escala de grados de consolidación sólo lo es para la curva No. 1.

De la curva No. 3 se puede obtener el grado de consolidación para $t = 15.84$ años (edad de la estructura) y compararlo con el obtenido por medio de la nivelación y por medio de las curvas de la C.A.V.M. ($U = 65$ y 73% , respectivamente); a continuación se dan los resultados:

Para $t = 15.84$ años, el hundimiento regional vale:

$$\Delta h = 184 \text{ cm}$$

$$\text{Entonces, } U = \frac{184 \text{ cm}}{227.53 \text{ cm} (\Delta s_f)}$$

$$U = 0.81 (81\%)$$

Δs_f = asentamiento máximo por abatimiento en puntos fuera del área de influencia.

Siguiendo el mismo procedimiento se puede construir la Fig. 11.8.6.3, la cual nos relaciona el tiempo con los grados de consolidación alcanzados por el conjunto primera más segunda formación arcillosa. A continuación se explica la obtención de los puntos, por ejemplo ---

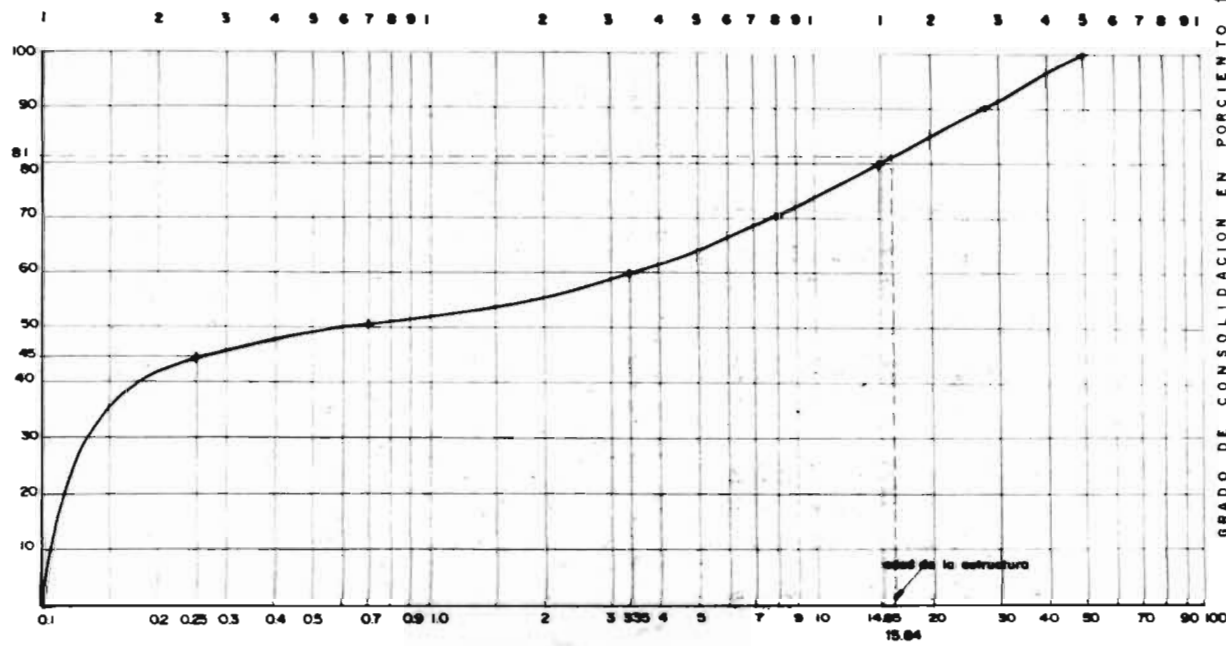


Fig. : 11. B. 6. 3. PORCENTAJE DE CONSOLIDACION ALCANZADO (1^a más 2^a formación orgánica) CON RESPECTO AL TIEMPO.

para $U=50\%$, el hundimiento regional debe valer:

$$0.50 \times 227.53 (\delta_{af}) = 113.76 \text{ cm}$$

Para este valor (ordenada) en la curva N.º 3, se obtiene un tiempo (abscisa) de 0.7 años. En la siguiente tabla se resumen los datos para la construcción de esta figura.

Grado de con. solidación (U)	Hundimiento regional	Tiempo
%	cm	años
100-95	227.53	50.03
90	204.78	27.70
80	182.02	14.85
70	159.27	8.00
60	136.52	3.85
50	113.76	0.70
45	102.39	0.35

De esta figura podemos obtener directamente el porcentaje de consolidación (hundimiento regional teórico) para $t = 15.84$ años (edad de la estructura).

A continuación se obtendrá la aproximación con respecto a los grados de consolidación medidos:

$$\begin{aligned} \text{Según nivelación: } A &= \frac{0.81 - 0.65}{0.65} \times 100 \\ &= 25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{según curvas O.A.U.M.: } A &= \frac{0.81 - 0.73}{0.73} \times 100 \\ &= 11\% \end{aligned}$$

11.8.7. - EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES.

Se seguirá la misma secuela que en el caso Xola - Napoléon.

11.8.7.1. - Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa.

A continuación se obtendrán las correcciones C_1 y C_2 (véase inciso 7.4.2, 7.4.3 y 11.8.7).

La primera (C_1), está definida entre las profundidades G e $I-U$, entre curvas 2 y 4 (Fig. 7.4.1.II). La segunda (C_2), de la profundidad $I-U$ hasta $C-D$, entre las curvas 1 y 2.

En este primer caso se supondrá por simplicidad que tanto C_1 ,

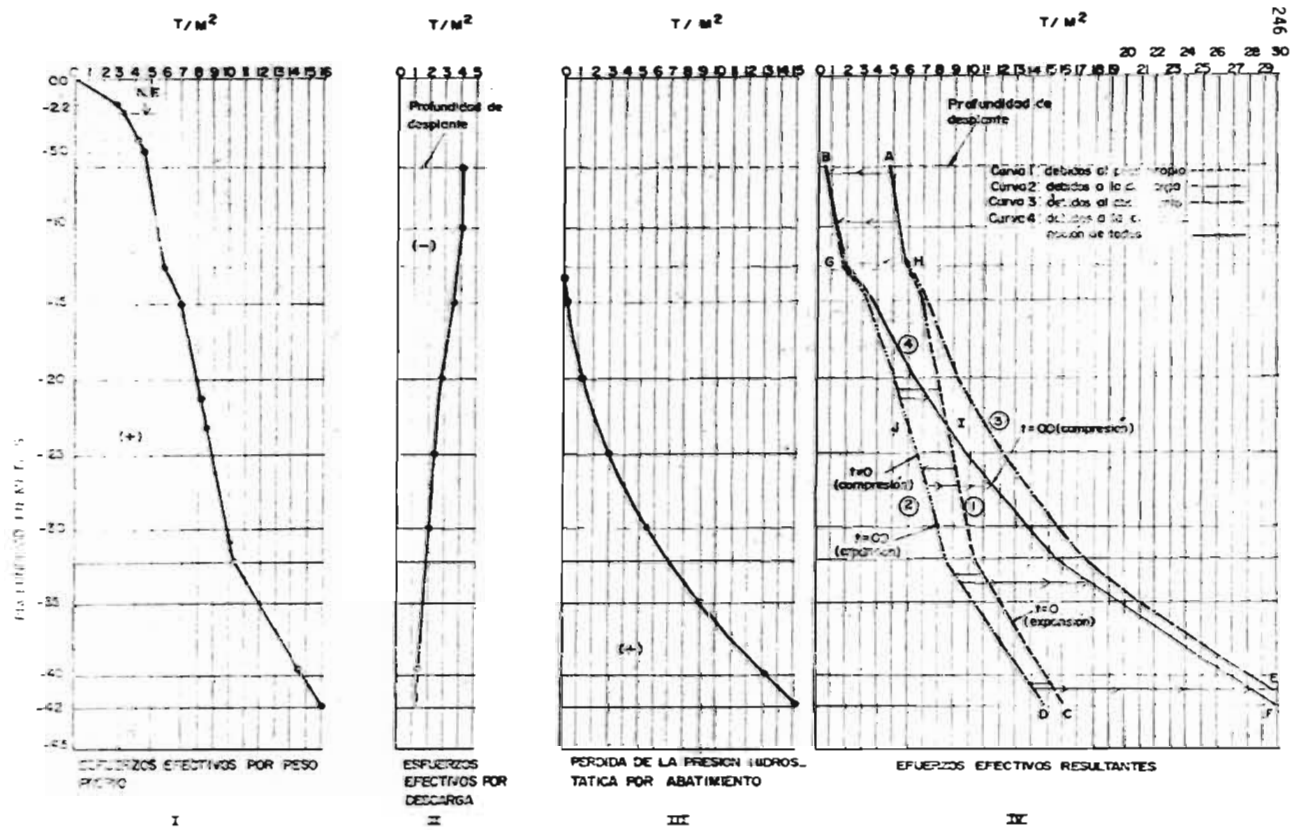


FIG. 7.4.1. ESFUERZOS EFECTIVOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD, POR PESO PROPIO, POR DESCARGA Y POR ABATIMIENTO. COMBINACION DE TODOS.

como C_2 , son independientes del grado de consolidación alcanzado. A continuación se mostrará la obtención de estas correcciones, con datos extraídos de la tabla 11.B.4.2.1 (Cálculo de expansiones y asentamientos).

Punto	Obtenida de: "asentamiento debido al abatimiento"	Obtenida de: "expansión sin hundimiento regional"
	Profundidad desde donde se inicia el abatim. hasta $h_{z_0} = h_{z_1}$	Profundidad desde $h_{z_0} = h_{z_1}$, hasta profundidad máxima.
	$h_{z_0} = h_{z_1}$ (m)	C_1 (cm)
1	25.4 - 20.4	4.87
2	25.0 - 25.4	2.29
4	25.4 - 20.4	3.60
5	25.0 - 25.4	2.72
7	25.4 - 20.4	4.85
9	25.0 - 25.4	2.72

$h_{z_0} = h_{z_1}$: significa la profundidad a la cual se encuentra el estrato donde los esfuerzos producidos por la descarga y por el abatimiento son iguales.

A continuación se obtendrán los promedios:

$$\text{Promedio} = \frac{2\Delta h_1 + 2\Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_5 + \Delta h_6 + \Delta h_7}{8}$$

Substituyendo:

$$C_1 = \frac{2 \times 4.87 + 2 \times 2.29 + 3.60 + 2.72 + 4.85 + 2.72}{8}$$

$$C_1 = 3.53 \text{ cm}$$

$$C_2 = \frac{2 \times 7.35 + 2 \times 7.39 + 7.55 + 9.5 + 9.18 + 9.37}{8}$$

$$C_2 = 8.14 \text{ cm}$$

Planteamiento de la ecuación

$$\begin{aligned} (\delta e)_{rd} &= \left[\delta e - (C_1 + C_2) \right] + \left\{ U\% \delta a_f - U\% [\delta a'_d - (C_1 + C_2)] \right\} \\ &= \left[\delta e - (C_1 + C_2) \right] + \left[U\% (\delta a_f - \delta a'_d + C_1 + C_2) \right] \end{aligned}$$

donde:

δe = expansión sin considerar hundimiento regional
 δa_f = asentamiento en puntos fuera del área de influencia.

δa_j = asentamiento sin corregir en puntos dentro del área de influencia.

El valor numérico de estos términos se encuentra en la tabla 11.8.4.2.1 y en el inciso 11.8.4.2.

Substituyendo valores se tiene:

$$(\delta e_{rt})_{U\%} = [53.27 - (3.53 + 8.14)] + [U\% (227.53 - 161.90 + 3.53 + 8.14)]$$

Para $U = 100\%$; $\delta e_{rt} = 41.60 + 77.30$; $\delta e_{rt} = 118.90 \text{ cm}$

Para $U = 73\%$; $\delta e_{rt} = 41.60 + 56.43$; $\delta e_{rt} = 98.03 \text{ cm}$

Para $U = 65\%$; $\delta e_{rt} = 41.60 + 50.25$; $\delta e_{rt} = 91.85 \text{ cm}$

11.8.7.2. - Considerando los diferentes tiempos de consolidación de la primera y segunda formación arcillosa.

En este caso se introducirá una pequeña modificación, ya que a -23 m de profundidad existe un dren, esto hace que de -19 a -23 m de profundidad se consolida mucho más rápido que de -23 a -37 m. Este hecho se refleja en la corrección C_1 , de la siguiente manera:

- de -19 a -23 m la corrección se lleva a cabo relativamente rápido (C_1').
- de -23 a -25 m la corrección se lleva a cabo lentamente (C_1'').

Sabemos que la corrección C_1 se refiere a las siguientes profundidades:

- Límite superior: donde se empieza a manifestar el abatimiento (punto G. de Fig. 7.4.1. II)
- Límite inferior: donde los esfuerzos de descarga son iguales a los de abatimiento (nivel I-U, misma figura)

En este caso el punto G está a -19 m de profundidad y el nivel I-U oscila entre -25 y -28.4 m de profundidad.

En vista de que la subdivisión de estratos es de -25 m a -25.4 m y de -28.4 a -28.4 m, es imposible precisar el nivel I-U. En la tabla 11.8.4.2.1, se encuentran subrayados los asentamientos parciales, desde la profundidad G, hasta el nivel I-U, estos asentamientos son precisamente el valor de C_1 , según se vio en el anterior inciso (11.8.7.1). Por simplicidad en este análisis se supondrá que el promedio del nivel I-U de todos los puntos analizados en la zona del túnel, está a la profundidad de -25 m.

Para obtener C_1' y C_1'' a partir de C_1 , se hará lo siguiente: la propor-

ción de -19 a -23m y de -23m a -25m es de $4/6$ y $2/6$ respectivamente, por lo tanto en esa misma proporción se afectará C_1 para obtener C_1' y C_1'' . En la tabla que sigue se objetiviza:

Punto	Valor de C_1 (de tabla anterior)	C_1' ($2/3$ de C_1)	C_1'' ($1/3$ de C_1)
	cm	cm	cm
1	4.87	3.25	1.62
2	2.29	1.53	0.76
4	3.60	2.40	1.20
5	2.72	1.81	0.91
7	4.85	3.23	1.62
9	2.72	1.81	0.91

Obtención de los promedios:

$$C_1' = \frac{3.25 \times 2 + 2 \times 1.53 + 2.4 + 1.81 + 3.23 + 1.81}{8}$$

$$= 2.35 \text{ cm}$$

$$C_1'' = \frac{2 \times 1.62 + 2 \times 0.76 + 1.20 + 0.91 + 1.62 + 0.91}{8}$$

$$= 1.18 \text{ cm}$$

Se hace notar que precisamente $C_1' + C_1'' = C_1$

$$2.35 + 1.18 = 3.53 (C_1) \text{ ; como se había visto anteriormente.}$$

Al obtener la expansión relativa total (S_{ert}) en este caso, se considera que la corrección C_1 es dependiente del grado de consolidación alcanzado. Sin embargo, dado que la corrección C_1' se lleva a cabo con bastante mayor rapidez que C_1'' , por las condiciones de drenaje vistas anteriormente (también véase figura 11.8.6.1), se supondrá que solamente C_1'' es proporcional al grado de consolidación.

Respecto a la afectación del factor $(S_{a1} - S_{a2})$ (movimiento relativo entre puntos fuera y dentro del área de influencia) conforme se alcanzan diferentes grados de consolidación, se analizará de la siguiente manera: en el inciso 11.8.6 se concluyó lo siguiente:

- En la actualidad la primera formación arcillosa (entre -23 y -37m) es la que está sufriendo consolidación debido al abatimiento piezométrico.
- La parte de la primera formación arcillosa (entre -19 y -23m) ya se ha consolidado totalmente.

e) La segunda formación arcillosa también ha dejado de consolidarse; a los 1.14 años alcanzó en teoría el 95% de consolidación.

En base a estas deducciones se trazó la Fig. 11.8.6.2; de esta figura se desprende que la segunda formación arcillosa solamente contribuye en el hundimiento regional (y por ende en los grados de consolidación) al principio del proceso.

Por otro lado sabemos de inciso 11.8.4.2 y tabla 11.A.4.2.1, que la diferencia máxima (para $U=100\%$) del factor $(\delta_{a1} - \delta_{a2})$ es de:

$$227.53 - 161.90 = 65.63 \text{ cm.}$$

De éstos, únicamente 4.48 cm. son contribución de la segunda formación.

De lo que precede se deduce que el movimiento relativo como consecuencia de la diferencia en asentamientos entre puntos fuera y dentro de la zona afectada por la cimentación $(\delta_{a1} - \delta_{a2})$, es debido principalmente a la primera formación arcillosa.

En base a esto, la afectación solo se hará entre los grados de consolidación 42 y 100%; el 42% según se vio en el inciso 11.8.6, corresponde a lo siguiente (véase tabla 11.8.9.2.1):

El asentamiento máximo en puntos fuera del área de influencia (δ_{a1}) vale 227.53 cm.; de éstos, 84.42 cm. corresponden a la contribución de la segunda formación (δ_{a2}) .

Por otro lado, la contribución de la primera formación arcillosa (la llamaremos b'') que se consolida rápidamente (entre elevaciones -19 y -23 m) es de 10.61 cm. Se hace notar que b'' únicamente tiene sentido para puntos fuera del área de influencia; para puntos dentro del área de influencia el correspondiente es C_1 , como se vio anteriormente.

El total de la consolidación relativamente rápida es:

$$84.42 + 10.61 = 95.03 \text{ cm}$$

Por lo tanto: $\frac{95.03}{227.53} = 0.42$ (42%) del asentamiento total se efectúa rápidamente.

El restante 58% se lleva a cabo con bastante menor rapidez y es debido a la primera formación (entre elevaciones -23 y -37 m). Por lo tanto para ajustar el grado de consolidación general ($U\%$) al particular ($U\%$) para ser utilizado en el factor $(\delta_{a1} - \delta_{a2})$, se empleará la expresión:

$$U\% = \frac{U - 0.42}{1 - 0.42} \times 100$$

$$\text{para } U = 42\% ; U = 0$$

$$\text{para } U = 100\% ; U = 100\%$$

Estos límites están de acuerdo con los resultados teóricos.

Aplicando lo que precede y las consideraciones que se hicieron a cerca de las correcciones C_1, C_1', C_2 , la expresión para calcular

la expansión relativa total ($\delta e_{r,t}$) toma la siguiente fórmula:

$$(\delta e_{r,t})_{U\%} = [\delta e - (c_1' + U\%c_1'' + c_2)] + \{ [U\%(\delta a_1' - b) + b + \delta a_1''] - \{ [U\%[(\delta a_1' - (c_1' + c_1'' + c_2))] + (1 - U\%)c_1''] + \delta a_1'' \} \}$$

donde:

- δe = expansión sin considerar hundimiento regional
- $\delta a_1'$ = asentamiento debido a la primera formación arcillosa en puntos fuera del área de influencia
- $\delta a_1''$ = igual, nada más que se refiere a la segunda formación
- b = asentamiento entre elevaciones -19 y -23 m, en puntos fuera del área de influencia
- $\delta a_1'$ = asentamiento sin corregir, debido a la primera formación en puntos dentro del área de influencia.
- $\delta a_1''$ = igual, sólo que se refiere a la segunda formación
- $U\%$ = grado de consolidación alcanzado
- $U\%$ = porcentaje de la contribución (asentamiento) de la primera formación arcillosa, para el grado de consolidación ($U\%$) considerado.

A continuación se obtendrán los valores de: $\delta a_1'$, $\delta a_1''$, $\delta a_2'$, $\delta a_2''$ y b .

El asentamiento total en puntos dentro del área de influencia es de (véase inciso 11.8.4.2. b):

$$\delta a_2 = 161.90 \text{ cm}$$

Sobemos que: $\delta a_2' + \delta a_2'' = 161.90 \text{ cm}$

La contribución en el asentamiento de la segunda formación arcillosa (de -39.6 a -46.6 m) es (véase tabla 11.8.4.2.1):

Punto No. 1:	16.29 + 9.02 + 16.37 + 37.08 = 79.56 cm
Punto No. 2:	16.67 + 9.02 + 16.40 + 38.83 = 80.92 cm
Punto No. 4:	16.21 + 8.83 + 16.07 + 38.08 = 79.19 cm
Punto No. 5:	16.38 + 9.07 + 16.37 + 38.35 = 80.17 cm
Punto No. 7:	15.98 + 8.83 + 16.07 + 37.84 = 78.72 cm
Punto No. 9:	16.38 + 8.85 + 16.67 + 38.55 = 80.45 cm

Y el promedio será:

$$\delta a_j' = \frac{2 \times 79.56 + 2 \times 80.92 + 79.19 + 80.19 + 78.72 + 80.95}{8}$$

$$= 79.94 \text{ cm}$$

Entonces: $\delta a_j' = 161.90 - 79.94$
 $= 81.96 \text{ cm}$

Haciendo lo mismo pero para puntos fuera del área de influencia. (véase tabla 11.B.4.2.1):

$$\delta a_f = 227.53 \text{ cm}$$

$$\delta a_f' = 19.21 + 10.04 + 17.93 + 37.24$$

$$= 84.42 \text{ cm}$$

Luego: $\delta a_f' = 227.53 - 84.42$
 $= 143.11 \text{ cm}$

Sabemos de los párrafos anteriores que el valor de "b" es de 10.61 cm; substituyendo estos valores en la ecuación de δe_{rl} , obtenemos:

$$(\delta e_{rl})_{U\%} = [53.27 - (2.35 + U\% \cdot 1.18 + 0.14)] + \{ [U\% (143.11 - 10.61) + 10.61 + 0.14] - [U\% (81.96 - 2.35 + 1.18 + 0.14)] + (1 - U\%) (1.18 + 79.94) \}$$

Para $U = 100\%$; $\mu = 100\%$

$$\delta e_{rl} = 41.60 + 77.30 ; \quad \delta e_{rl} = 118.90 \text{ cm}$$

Para $U = 73\%$; $\mu = \frac{0.73 - 0.42}{1 - 0.42} \times 100$; $\mu = 53\%$

$$\delta e_{rl} = 41.92 + 47.75 ; \quad \delta e_{rl} = 89.67 \text{ cm}$$

Para $U = 65\%$; $\mu = \frac{0.65 - 0.42}{1 - 0.42} \times 100$; $\mu = 40\%$

$$\delta e_{rl} = 42.01 + 39.56 ; \quad \delta e_{rl} = 81.57 \text{ cm}$$

11.B.8. - APROXIMACIONES EN LAS EXPANSIONES

Los porcentajes se obtendrán de las expansiones obtenidas de la teoría con respecto a las expansiones medidas en el campo.

$$\text{Aproximación} = \frac{\text{expansión teórica} - \text{expansión medida en campo}}{\text{expansión medida en campo}}$$

11.B.B.1. - Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la -- primera y segunda formación arcillosa.

Lado Oriente:

para $U = 73\%$

$$A = \frac{98.03 - 40}{40} \times 100 ; A = 145\%$$

para $U = 65\%$

$$A = \frac{91.85 - 40}{40} \times 100 ; A = 130\%$$

Lado Poniente:

para $U = 73\%$

$$A = \frac{98.03 - (113.0'91)}{113.0'91} \times 100 ; A = -13\% \text{ ó } +8\%$$

para $U = 65\%$

$$A = \frac{91.85 - (113.0'91)}{113.0'91} \times 100 ; A = -19\% \text{ ó } +1\%$$

11.B.B.2. - Considerando los diferentes tiempos de consolidación -- de la primera y segunda formación arcillosa.

Lado Oriente:

para $U = 73\%$

$$A = \frac{89.67 - 40}{40} \times 100 ; A = 124\%$$

para $U = 65\%$

$$A = \frac{81.57 - 40}{40} \times 100 ; A = 104\%$$

Lado Poniente:

para $U = 73\%$

$$A = \frac{89.67 - (113.0'91)}{113.0'91} \times 100 ; A = -21\% \text{ ó } -1\%$$

para $U = 65\%$

$$A = \frac{0.57 - (113.0'91)}{113.0'91} \times 100 \quad ; \quad A = -28\% \text{ ó } -10\%$$

11.8.8.3. - Promedios

Obtenemos ahora los promedios para el caso en que se obtuvieron dos valores.

- a) Suponiendo iguales los tiempos de consolidación de la primera y segunda formación.

Lado Poniente:

para $U = 73\%$; $A = -13\% \text{ ó } +8\%$

$$A_{prom.} = \frac{-0.13 + 0.08}{2} \times 100 \quad ; \quad A_p = -2.5\%$$

para $U = 65\%$; $A = -19\% \text{ ó } +1\%$

$$A_{prom.} = \frac{-0.19 + 0.01}{2} \times 100 \quad ; \quad A_p = -9\%$$

- b) Considerando diferentes los tiempos de consolidación de la primera y segunda formación.

para $U = 73\%$; $A = -21\% \text{ ó } -1\%$

$$A_{prom.} = \frac{-0.21 - 0.01}{2} \times 100 \quad ; \quad A_p = -11\%$$

para $U = 65\%$; $A = -28\% \text{ ó } -10\%$

$$A_{prom.} = \frac{-0.28 - 0.10}{2} \times 100 \quad ; \quad A_p = -19\%$$

12.- ANEXO II
DETERMINACION ESTADISTICA DE LOS
PARAMETROS DEL SUELO

LINEAS DE REGRESION

Se emplea la siguiente ecuación de la línea de regresión (véase Referencia 13; capítulo 11)

$$\bar{Y}_x = \bar{Y} + b(x - \bar{x}) \quad ; \quad \text{donde}$$

$$b = \frac{\frac{\sum X_i Y_i}{N} - \frac{\sum X_i}{N} \frac{\sum Y_i}{N}}{\frac{\sum X_i^2}{N} - \left(\frac{\sum X_i}{N}\right)^2}$$

X = cualquier valor de la variable independiente

\bar{x} = media aritmética de los valores escogidos (variable independiente)

\bar{Y} = media aritmética de los valores escogidos (variable dependiente)

\bar{Y}_x = valor estimado de la variable Y , cuando se da X .

N = número de valores escogidos.

A continuación se muestran tabuladas las características de los muestros que se consideraron para obtener las líneas de regresión.

En vista de que al graficar la relación de vacíos iniciales - contenido natural de agua, la dispersión de los puntos es pequeña (definen bastante bien una línea recta), se analizaron menos pares de valores (e_s, w) que en el caso de los índices de compresibilidad.

Clasificación	Profund. m	w %	e_s	C_s	C_r	C_u	P_c kg/cm ²	S_s
				cm ³ /kg				
Limo con arcilla	29.87	33	0.813	0.027	0.039	0.10	1.0	2.41
Limo	10.20-11.2	71	1.90	0.07	0.14	0.42	2.7	
Arcilla arenosa	38.50	77	1.84	0.075	0.055	0.27	1.0	2.47
Limo	8.0-9.0	93	2.29	0.07	0.24	0.79	3.4	
Arcilla con mat. org.	24.00	77	5.19		0.170	1.04	1.0	2.44
—	9.0-10.0	98	2.62	0.05	0.15	0.76	2.45	
Arcilla con mat. org.	21.25	100	2.47		0.085	0.755	1.5	2.36
Limo	6.65-7.45	106	2.56	0.05	0.11	0.52	3.7	

Clasificación	Profund. m	w %	e _x	cm ³ /kg			P _c	S _s
				C _s	C _r	C _v		
Arcilla	47.2-47.7	109	2.58	0.19	0.12	2.26	3.8	
Arcilla con mat. org.	29.85	114	3.53	0.21	0.178	1.57	1.7	2.18
Arcilla	48.0-48.8	120	2.91	0.12	0.18	2.68	3.5	
Arcilla con mat. org.	32.25	124	2.53	0.168	0.109	0.78	1.5	1.93
Arcilla con poco vidrio	31.70	129	-	0.14	0.08	1.09	1.6	2.30
Arcilla	36.35	139	3.32	0.12	0.056	0.28	1.5	2.33
-	17.0-18.0	141	3.63	0.15	0.13	2.31	2.8	
Arcilla	28.7-29.58	143	3.75	0.21	0.10	2.76	2.0	
Arcilla	40.8-41.2	143	3.22	0.22	0.09	2.60	3.8	
Arcilla con mat. org.	25.48	145	3.57	0.13	0.29	2.62	1.7	2.24
Arcilla con mat. org.	32.33	146	3.65	0.23	0.20	1.22	1.6	2.34
Arcilla	41.65-42.35	152	3.45	0.23	0.10	2.74	3.8	
Arcilla	22.10-22.7	164	3.56	0.15	0.10	2.63	1.6-1.8	
Arcilla (C.N)	32.00	165	3.58	0.31	0.12	1.27	-	2.17
Arcilla con mat. org.	25.2	166	3.95	0.18	0.17	2.04	1.8	2.3
Arcilla	34.00	170	3.88	0.32	0.14	3.81	3.5	2.23
Arcilla	40.85-41.35	173	4.20	0.31	0.17	3.58	4.2	
Arcilla con mat. org.	37.08	173	4.64	0.17	0.12	0.82	1.6	2.55
Arcilla	35.20	173	4.10	0.19	0.085	0.92	1.5	2.30
Materia org. con amid.	21.25	176	-	0.27	0.17	1.38	1.6	2.24
Arcilla	12.0-12.6	177	4.22	0.26	0.45	2.87	0.95	
Arcilla	45.0-45.8	184	4.31	0.23	0.10	4.22	3.80	
Arcilla con poco limo	31.80	184	4.02	0.19	0.06	1.36	1.70	2.26
Arcilla	18.75-19.55	187	4.43	0.23	0.28	2.63	1.60	
Arcilla	19.6-20.4	188	5.60	0.23	0.11	2.74	2.80	
Arcilla con mat. org.	25.15	192	3.70	0.33	0.10	3.51	1.5	1.87
Arcilla	37.18	192	4.38	0.215	0.087	-	1.8	2.28
Arcilla	17.05	193	4.45	-	0.12	3.02	1.6	2.27
Arcilla	12.45-12.25	193	4.65	0.21	0.18	3.14	1.75	
Arcilla	35.6-36.4	195	4.43	0.35	0.16	3.97	3.5	2.29
Arcilla	33.80	196	4.75	0.35	0.26	2.98	1.0-1.5	2.35
Arcilla con mat. org.	22.95	196	4.50	0.17	0.46	2.31	1.6	2.18
Arcilla	37.70	206	4.38	0.39	0.159	2.10	1.6	2.11
Arcilla	25.25	206	4.76	-	0.21	3.09	1.7	2.27
Arcilla con mat. org.	26.20	209	4.70	0.270	0.21	2.25	1.9	2.19
Arcilla (C.C) con fósiles y arena	24.75	209	4.69	0.42	0.20	1.97	1.4	2.28
Arcilla	19.10-19.70	213	6.17	0.19	0.25	3.00	1.0-1.3	
Arcilla con mat. org.	24.05	220	4.94	0.40	0.17	2.18	1.4	2.22
Arcilla	28.0-26.5	221	4.96	0.26	0.12	3.50	1.8	2.31
Arcilla	23.9-26.9	225	5.36	0.31	0.28	4.18	2.0	
Arcilla	24.35-25.15	226	5.16	0.30	0.28	3.68	1.95	
Arcilla	33.10-33.9	227	5.55	0.20	0.17	2.90	1.7	
Arcilla	15.2-16.0	227	6.19	0.36	0.12	5.37	1.9	
Arcilla	21.05	230	5.5	0.30	0.40	3.07	1.8	2.31

Clasificación	Profund. m	w %	e _i	cm ³ /kg			P _c	S _s
				C _s	C _r	C _v		
Arcilla	26.5	231	5.33	0.35	0.16	5.37	2.8	2.25
Arcilla	20.75	232	5.8	0.40	0.20	4.75	1.8	2.33
Arcilla	32.9-33.4	233	5.76	0.26	0.08	4.54	3.0	
Arcilla	21.65-21.55	234	5.62	0.32	0.12	5.32	2.10	
Arcilla (CH) con fósiles	25.5	238	5.08	0.39	0.10	2.66	2.04	2.13
Arcilla	27.8	239	5.60	0.29	0.19	—	1.90	2.28
Arcilla	35.5-36.3	240	5.79	0.38	0.17	5.10	2.9	
Arcilla (CH) con fósiles	24.80	241	5.53	0.35	—	2.78	2.6	2.28
Arcilla	16.40-17.20	241	5.30	0.40	0.18	4.00	1.7	
Arcilla	25.0	245	5.67	0.41	0.19	3.14	2.4	2.30
Arcilla	20.0-21.3	248	5.80	0.40	0.15	4.50	1.8	2.32
Arcilla	34.1-15.2	250	5.94	0.31	0.54	5.99	1.7	
Arcilla	29.9-30.7	250	6.00	0.37	0.10	4.92	2.2	
Arcilla	36.4-36.85	253	6.15	0.38	0.12	—	2.95	
Arcilla	24.6-25.6	256	6.37	0.34	0.21	4.25	1.6	
Arcilla	29.0-29.8	262	6.70	0.40	0.20	5.32	2.0	
Arcilla (CH)	25.3	262	6.18	0.35	0.21	3.44	1.9	2.31
Arcilla	26.55	266	5.70	0.44	0.24	3.91	2.2	2.19
Arcilla	19.0-18.0	268	6.28	0.43	0.43	3.94	1.4	
Arcilla	22.05	270	6.00	0.28	0.18	4.8	1.8	2.24
Arcilla	25.95-26.75	277	6.89	0.37	0.38	—	1.55	
Arcilla	21.05	280	7.13	0.34	0.25	—	2.1	2.27
Arcilla con fósiles	20.45	280	5.87	—	0.19	3.47	2.8	2.09
Arcilla	21.00	280	6.63	0.42	0.15	5.45	1.8	2.27
Arcilla (CH) con fósiles	19.13	281	6.31	0.45	—	5.80	3.0	2.23
—	15.0-16.0	282	6.61	0.29	0.88	3.72	1.5	
Arcilla limosa	20.6	283	6.52	—	0.47	5.64	1.3	2.25
Arcilla (CH)	20.75	284	6.42	0.31	0.34	—	2.4	2.25
Arcilla (CH)	19.55	285	4.65	—	0.18	4.65	1.8	2.16
Arcilla	17.6-18.6	287	6.98	0.32	0.53	4.20	0.7	
Arcilla	21.2-22.0	288	6.54	0.50	0.27	4.75	1.8	
—	11.0-12.0	290	6.90	0.30	0.38	4.01	1.15	
Arcilla	45.35-45.75	291	5.60	0.30	0.15	3.42	3.55	
Arcilla	29.6-30.4	295	7.11	—	0.33	3.88	2.7	
Arcilla (CH)	22.65	302	6.49	0.51	0.20	5.12	1.8	2.22
Arcilla con fósiles	19.95	308	6.56	—	0.60	5.22	2.3	2.18
Arcilla	14.8-15.65	316	7.12	0.42	0.30	6.63	1.8	
Arcilla	20.30	322	7.92	0.41	0.31	7.32	1.9	2.4
Arcilla	12.6-13.6	324	7.42	0.48	0.62	5.45	0.7	
Arcilla	23.0-23.8	328	7.84	0.45	0.76	5.92	1.4	
Arcilla	12.3-13.5	335	7.07	—	1.07	4.25	0.95-1.10	
Arcilla	31.4-32.0	340	7.93	0.40	0.27	—	1.6	
Arcilla	8.6-9.6	410	9.21	0.54	0.12	—	0.55	
Arcilla con fósiles	14.3	447	10.30	0.45	0.65	—	0.95	2.26

En esta tabla las literales significan lo siguiente:

w : contenido natural de agua
 e_{v0} : relación de vacíos inicial
 C_s : índice de compresibilidad en la rama de descarga
 C_r : " " " " " " " " " " recompresión
 C_v : " " " " " " " " " " virgen
 p_c : carga aproximada de preconsolidación
 S_s : densidad de sólidos.

12.1. - Relación de vacíos inicial vs contenido natural de agua.

A continuación se muestran los pares de valores que se tomaron en consideración para obtener la línea de regresión.

X	Y	X	Y	X	Y
%		%		%	
34	0.813	192	3.70	241	5.53
77	1.84	193	4.45	245	5.67
100	2.47	195	4.43	248	5.80
126	2.53	196	4.50	262	6.18
140	3.53	196	4.75	270	6.00
141	3.32	206	4.38	280	6.63
145	3.57	209	4.70	280	5.87
166	3.95	220	4.94	281	6.31
166	3.58	221	4.96	284	6.42
170	3.88	231	5.33	285	6.21
173	4.64	230	5.50	302	6.49
175	4.10	232	5.80	322	7.92
184	4.02	238	5.08		
192	4.38	239	5.60		

Y = relación de vacíos inicial (e_v)
 X = contenido natural de agua (w); %

Obtención de la ecuación de la línea de regresión.

$$\sum Y = 189.68 ; \quad \sum XY = 42691.63 ; \quad \sum X^2 = 1868615$$

$$\sum X = 8287 ; \quad \bar{X} = 207.18 ; \quad \bar{Y} = 4.74 ; \quad N = 40$$

$$b = \frac{42691.63 - \frac{8287 \times 189.68}{40}}{1868615 - \frac{(8287)^2}{40}} ; \quad b = 0.022$$

Luego, la ecuación de la línea toma la siguiente forma:

$$\bar{Y}_x = 4.74 + 0.022 (X - 207.18)$$

para $X = 100\%$; $\bar{Y}_x = 2.38$

para $X = 200\%$; $\bar{Y}_x = 4.58$

para $X = 300\%$; $\bar{Y}_x = 6.78$

En la Fig. 12.1.1, se ha trazado la línea de regresión y los pares de valores $(e_i - w)$, tabulados.

12.2 - Índice de compresibilidad en la curva de recompre-
sión-descarga vs contenido natural de agua.

Obtención de la línea de regresión.

Se tomaron en consideración los valores del índice de compresibilidad en la rama de descarga (C_s) por considerar, que son más representativos que el de la rama de recompresión (C_r).

$X =$ índice de compresibilidad en la rama de descarga (C_s); cm^2/kg
 $Y =$ contenido natural de agua (w); %.

$$\sum X = 25.02 \quad ; \quad \sum XY = 5918.44 \quad ; \quad \sum X^2 = 8.46$$

$$\sum Y = 18319 \quad ; \quad \bar{X} = 0.29 \quad ; \quad Y = 213.01 \quad ; \quad N = 86$$

$$b = \frac{5918.44 - \frac{25.02 \times 18319}{86}}{8.46 - \frac{(25.02)^2}{86}} \quad ; \quad b = 499.06$$

La ecuación de la línea toma la siguiente forma:

$$\bar{Y}_x = 213.01 + 499.06 (X - 0.29)$$

para $X = 0.10 \text{ cm}^2/\text{kg}$; $\bar{Y}_x = 118.19 \%$

para $X = 0.20 \text{ ✓}$; $\bar{Y}_x = 168.09 \%$

para $X = 0.30 \text{ ✓}$; $\bar{Y}_x = 218 \%$

para $X = 0.50 \text{ ✓}$; $\bar{Y}_x = 317.81 \%$

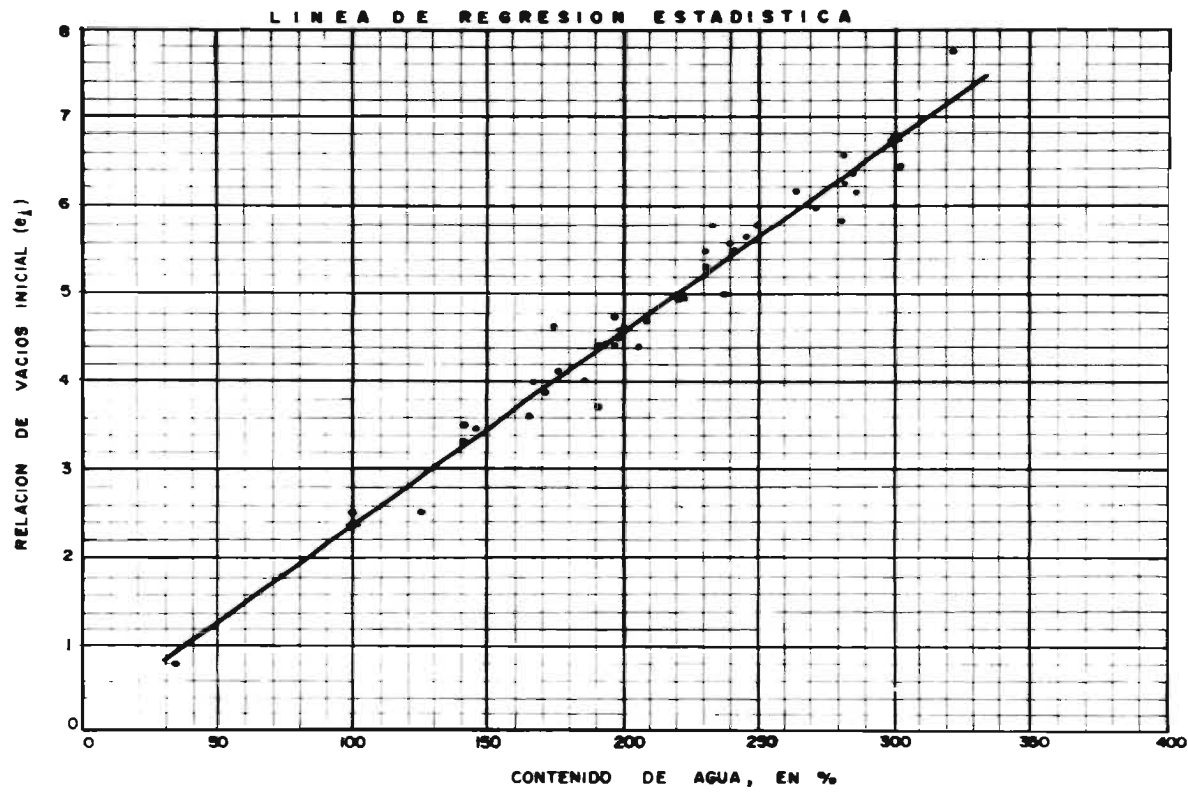


FIG. 12.1.1. RELACION DE VACIOS (e_1) VS CONTENIDO NATURAL DE AGUA (w)

Con estos datos se trazó la línea de regresión en la Fig. 12.2.1, y los pares de valores tabulados ($C_s - W$).

12.3. - Índice de compresibilidad en la rama virgen (C_v) vs contenido natural de agua.

Con referencia a los pares de valores ($C_v - W$) que vienen consignados en la tabla, se obtendrá la ecuación de la línea de regresión.

X = índice de compresibilidad en la rama virgen (C_v); cm^2/kg
 Y = contenido natural de agua (W); %.

$$\Sigma X = 281.05 ; \Sigma XY = 66757.22 ; \Sigma X^2 = 1141.01$$

$$\Sigma Y = 18186 ; \bar{X} = 3.23 ; \bar{Y} = 209.03 ; N = 87$$

$$b = \frac{66757.22 - \frac{281.05 \times 18186}{87}}{1141.01 - \frac{(281.05)^2}{87}} ; b = 39.55$$

Conociendo estos valores, la ecuación de la línea se expresa como sigue:

$$\bar{Y}_x = 209.03 + 39.55(X - 3.23)$$

para $X = 1 \text{ cm}^2/\text{kg}$; $\bar{Y}_x = 120.83 \%$

para $X = 3$ ✓; $\bar{Y}_x = 199.93 \%$

para $X = 5$ ✓; $\bar{Y}_x = 279.03 \%$

Con estos puntos se trazó la línea de regresión en la Fig. 12.3.1. En ella también aparecen los pares de valores ($C_v - W$) que se tomaron en consideración.

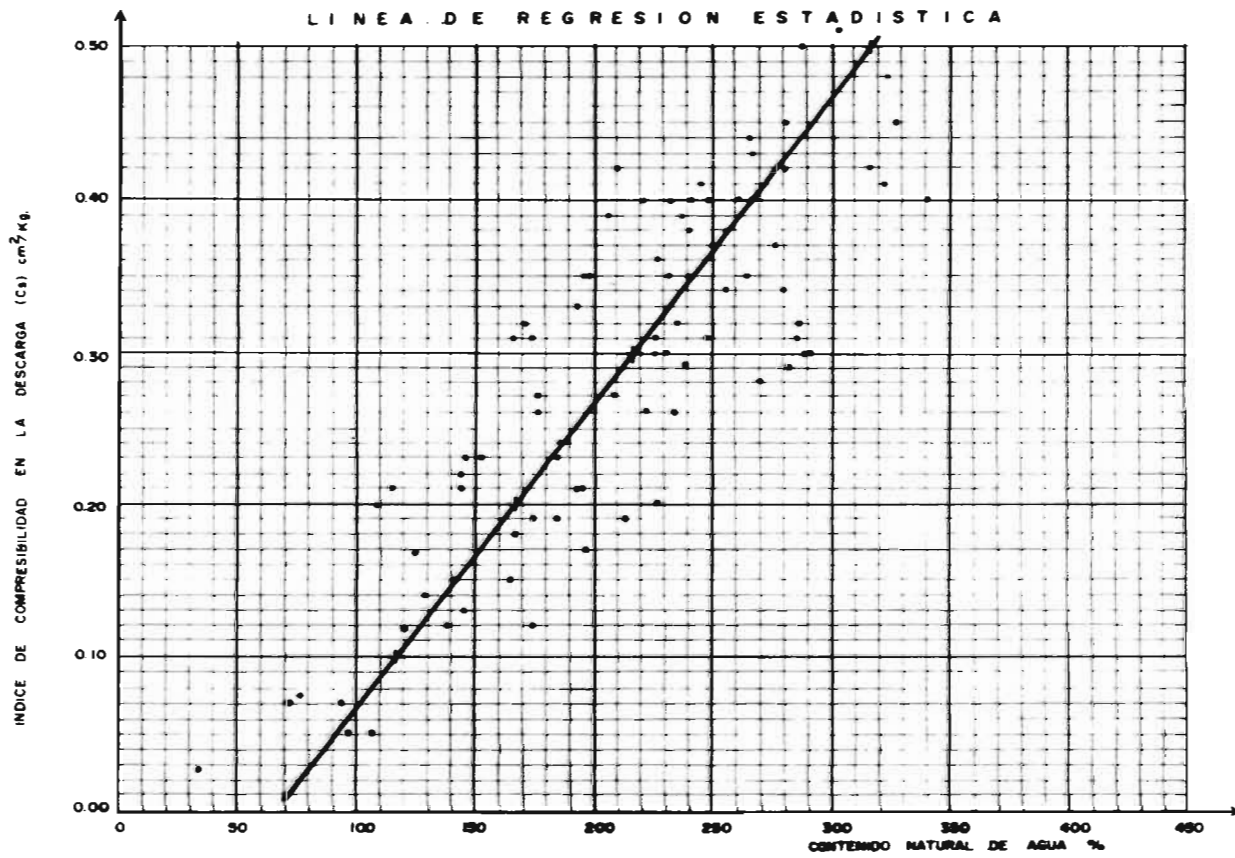


FIG. 12.2.1. INDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LA DESCARGA — RECOMPRESION VS. CONTENIDO NATURAL DE AGUA .

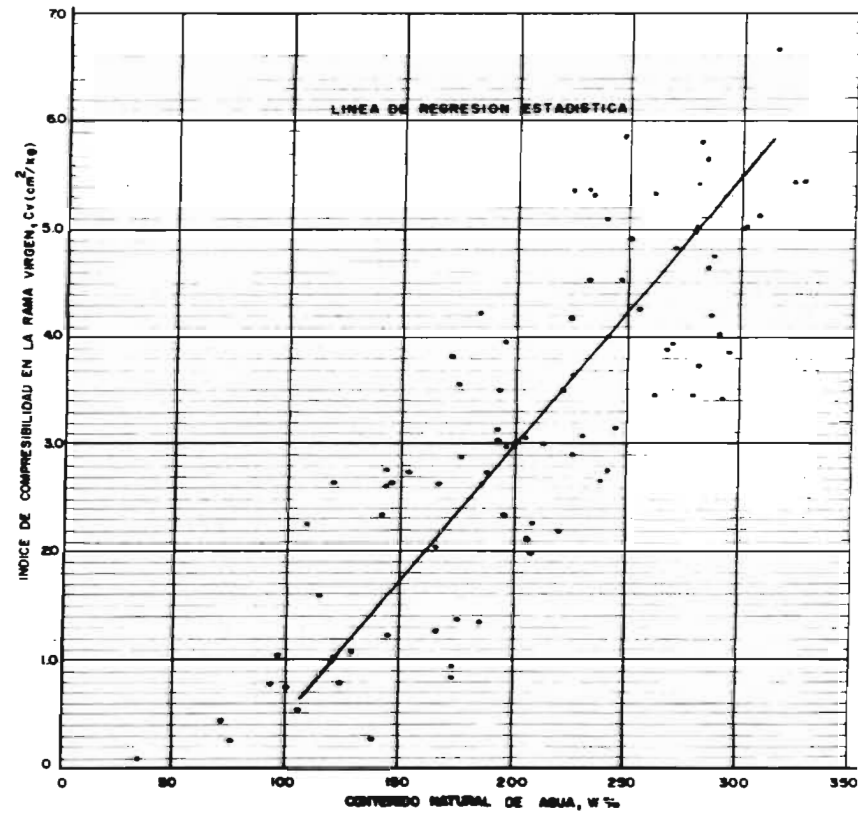


FIG. 12.3.1. INDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LA RAMA VIRGEN VS. CONTENIDO NATURAL DE AGUA.

13.- ANEXO III
N I V E L A C I O N

13.1. - REGISTRO DE LA NIVELACION CORRIDA DESDE EL BANCO 43-A,
EN CHAPULTEPEC, HASTA EL BANCO "IMAN", EN RIO DE CHU-
RUBUSCO Y CLZ. DE TLALPAN.

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
B-43A	0.252	2299.201	2298.949	0.222	2299.171	2298.949	Banco No 43-A de la D.G. O.H.
1	3.599		45.602	3.868		45.603	A un lado Restaurante
1	0.166	45.746		0.102	45.705		
2	3.683		42.063	3.640		42.065	Pista de patinar
2	0.183	42.296		0.127	42.192		
3	2.780		39.266	2.923		39.269	Sonde se estaciona ambulancia
3	0.786	40.052		0.748	40.017		
4	2.692		37.360	2.653		37.364	Parada camiones
4	1.772	39.132		1.730	39.094		
5	2.054		37.078	2.020		37.074	Tacubaya y Chapultepec
5	1.228	38.306		1.244	38.323		
6	2.220		36.086	2.240		36.083	Tampico y Av. Chapultepec
6	0.850	36.926		0.818	36.901		
7	2.222		34.704	2.200		34.701	Av. Chapultepec No 514
7	1.288	35.992		1.250	35.951		
8	1.719		34.273	1.680		34.271	Av. Chapultepec No 480
8	1.461	35.734		1.438	35.709		
9	1.928		34.306	1.400		34.304	Av. Chapultepec No 442
9	1.641	35.947		1.600	35.909		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s n m	m s n m	m	m s n m	m s n m	
10	1.657		34.290	1.618		34.291	Av. Chapultepec No. 412
10	1.424	35.724		1.475	35.766		
11	1.316		34.908	1.360		34.906	Av. Chapultepec No. 378
11	1.428	35.826		1.460	35.866		
12	1.292		34.544	1.320		34.546	Av. Chapultepec No. 346
12	1.633	36.177		1.605	36.151		
13	0.857		35.323	0.820		35.321	Salida Metro Insurgentes (W)
13	1.440	36.763		1.402	36.723		
14	1.744		35.019	1.702		35.021	Glorieta del Metro Insurgentes (E)
14	0.635	35.654		0.599	35.620		
15	1.717		33.927	1.678		33.942	Av. Chapultepec No. 246
15	1.229	35.166		1.203	35.145		
16	1.577		33.589	1.552		33.593	Av. Chapultepec No. 212
16	1.380	34.969		1.429	35.022		
17	1.668		33.301	1.715		33.307	Av. Chapultepec No. 170
17	1.616	34.917		1.582	34.889		
18	1.698		33.219	1.663		33.226	Proveedora Europea
18	1.492	34.711		1.450	34.676		
19	1.849		32.862	1.807		32.869	Av. Chapultepec No. 109
19	1.115	33.977		1.067	33.926		
20	1.592		32.385	1.541		32.394	Río de la Loza No. 300
20	1.068	31.463		1.035	31.429		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s.n.m	m s.n.m	m	m s.n.m	m s.n.m	
21	1.660		31.793	1.628		31.801	Banded S. I.
21	1.348	33.141		1.412	33.213		
22	1.212		31.927	1.275		31.938	Río de la Loza No 190
22	1.757	33.686		1.720	33.658		
23	2.020		31.666	1.997		31.661	Río de la Loza No 148
23	2.010	33.676		1.967	33.638		
24	1.338		32.338	1.298		32.330	Río de la Loza y Dr. Vértiz
24	1.595	33.733		1.540	33.870		
25	1.776		32.187	1.722		32.198	Autópolis
25	1.719	33.871		1.691	33.839		
26	2.090		31.831	2.016		31.823	Impresora CIRES
26	1.988	33.319		1.513	33.336		
27	1.447		31.872	1.470		31.866	Río de la Loza y Niño Peraino
27	1.617	32.989		1.575	32.941		
28	1.617		31.872	1.575		31.866	R. de la Loza 2-N, P. Comex
28	1.444	33.316		1.518	33.384		
29	1.568		31.748	1.640		31.744	Fray Servando y Bolívar
29	1.898	33.646		1.937	33.681		
30	1.710		31.926	1.750		31.931	Fray Servando No. 97
30	1.100	33.036		1.129	33.060		
31	1.639		31.897	1.669		31.891	Fray Servando No. 147
31	2.049	33.446		2.011	33.402		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m 3 mm	m 3 mm	m	m 3 mm	m 3 mm	
32	1.155		32.291	1.113		32.289	Fray Servando y 20 de Noviembre
32	0.895	32.186		0.922	32.221		
33	1.211		31.975	1.248		31.973	Fray Servando y San Antonio Abad
33	0.790	32.765		0.756	32.729		
34	1.180		31.665	1.070		31.659	San Antonio Abad No 18
34	1.780	33.445		1.761	33.420		
35	1.719		31.726	1.700		31.720	Frente Cantina "EL Fenix"
35	2.187	33.913		2.172	33.892		
36	0.637		32.276	0.620		32.272	San Antonio Abad y Lorenz. Boturini
36	0.680	32.956		0.700	33.972		
37	1.084		32.872	1.105		32.867	San Antonio Abad No 126 (cerca)
37	1.735	34.607		1.748	34.615		
38	1.215		33.392	1.229		33.386	San Antonio Abad No 100 (cerca)
38	2.619	36.011		2.602	35.988		
39	2.458		32.553	2.440		32.548	San Antonio Abad No 20B-A
39	1.800	35.353		1.803	35.351		
40	1.823		33.530	1.828		33.523	S. A. A. No 259
40	2.481	36.011		2.500	36.023		
41	2.638		33.373	2.655		33.368	S. A. A. No 292 (cerca)
41	1.998	34.871		1.985	34.853		
42	0.998		33.873	0.983		33.870	S. A. A. No 310
42	1.870	35.793		1.885	35.755		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s n m	m s n m	m	m s n m	m s n m	
43	1.020		34.723	1.025		34.720	San Antonio Abad y Viaducto
43	3.776	38.499		3.793	38.513		
44	3.477		35.022	3.495		35.018	Cetz. de Tlalpan y Viaducto
44	0.672	35.694		0.663	35.681		
45	2.150		33.594	2.142		33.537	C/z. de Tlalpan No. 470-A
45	1.298	34.842		1.312	34.801		
46	1.315		33.527	1.328		33.523	C/z. de Tlalpan No. 574
46	1.157	34.664		1.192	34.645		
47	1.528		33.156	1.520		33.148	C/z. de T. No. 648
47	2.248	35.404		2.244	35.389		
48	2.301		33.103	2.296		33.093	C/z. de T. No. 726
48	1.700	34.803		1.712	34.805		
49	1.790		33.013	1.801		33.004	C/z. de T. No. 754 y 760 (entre)
49	1.987	35.000		1.954	34.987		
50	1.720		33.280	1.686		33.272	C/z. de T. No. 798 y 802 (entre)
50	1.733	35.013		1.715	34.987		
51	1.282		33.731	1.264		33.723	C/z. de T. entre Sur 120 y Villa de Cortés
51	1.702	35.433		1.671	35.394		
52	1.722		33.711	1.693		33.701	C/z. de T. No. 906
52	1.343	35.054		1.323	35.024		
53	1.823		33.221	1.803		33.221	C/z. de T. No. 956
53	2.680	35.911		2.698	35.919		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s m m	m s m m	m	m s m m	m s m m	
54	2.373		33.528	2.391		33.528	Clz. de Tlalpoa No 99d
54	1.725	35.263		1.718	35.291		
55	1.323		33.740	1.330		33.733	Clz. de Tlalpoa No 1042 B15
55	1.555	35.295		1.508	34.963		
56	1.785		33.510	1.460		33.503	Clz. de T. No 1092
56	1.932	35.462		1.915	35.418		
57	1.893		33.549	1.874		33.544	Clz. de T. No -
57	1.582	35.131		1.562	35.106		
58	0.881		34.250	0.860		34.246	Clz. de T. No 1230 (SEARS)
58	1.828	36.088		1.820	36.066		
59	0.608		35.480	0.592		35.474	Clz. de Tlalpoa No (con Silva)
59	1.223	36.703		1.200	36.674		
60	1.285		35.418	1.263		35.411	Clz. de T. No 1314
60	2.057	37.475		2.079	37.490		
61	1.688		35.787	1.711		35.779	Clz. de T. No 1424
61	1.068	36.855		1.045	36.824		
62	1.137		35.718	1.115		35.709	Clz. de T. No 1458
62	1.435	37.153		1.410	37.119		
63	1.315		35.838	1.290		35.829	Clz. de T. No (pantofa- dora Miravalle)
63	0.793	36.621		0.772	36.602		
64	1.095		35.536	1.075		35.527	Clz. de T. No (frente a gasolinera)
64	1.727	37.263		1.704	37.231		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
65	0.326		36.937	0.300		36.931	C/z. de Tlalpa y Av. Popocatepetal (Norte)
65	1.508	38.439		1.478	38.406		
66	1.540		36.900	1.814		36.872	C/z. de Tlalpa (entre Churubusco y Popocatepetal)
66	2.804	39.704		2.792	39.690		
67	0.760		38.944	0.748		38.936	C/z. de Tlalpa y R. de Churubusco (Norte)
67	2.243	42.187		2.224	42.160		
68	0.486		41.701	0.468		41.698	C/z. de T. y R. de Churubusco
68	1.593	43.294		1.584	43.279		
IMAN	3.398		39.836	3.390		39.829	C/z. de T. y R. de Churubusco (Sur)

13.2.- REGISTRO DE LA NIVELACION CORRIDA DESDE EL BANCO N.º 98,
 EN MIXCOAC, HASTA EL BANCO "IMAN", EN RIO DE CHURUBUSCO Y
 CALZ. DE TLALPAM.

276

PUNTO	NIVELACION I				NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA		LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s n m	m s n m	m	m s n m	m s n m		
B-98	0.111	2273.958	2273.847	0.183	2273.980	2273.897	Banco N.º 98 de la D.G. O.H.	
1	3.842		70.46	3.865		70.115		
1	0.076	70.192		0.059	70.174			
2	2.780		67.412	2.761		67.413		
2	0.512	67.924		0.493	67.906			
3	2.305		63.619	2.286		63.622	Río Mixcoac y Av. Patriotismo	
3	0.575	66.194		0.555	66.177			
4	1.757		64.437	1.726		64.441	Río Mixcoac y Félix Parra	
4	0.556	64.993		0.540	64.981			
5	2.932		62.061	2.915		62.066	Río Mixcoac No 143 (cerca)	
5	1.029	63.090		1.017	63.083			
6	2.498		60.592	2.484		60.599	Río Mixcoac y Galicia	
6	1.948	62.542		1.920	62.526			
7	3.069		59.473	3.052		59.474	Río Mixcoac No 20	
7	1.853	61.326		1.833	61.307			
8	2.295		59.031	2.278		59.036	Río Mixcoac e Insurgentes	
8	0.152	59.183		0.116	59.150			

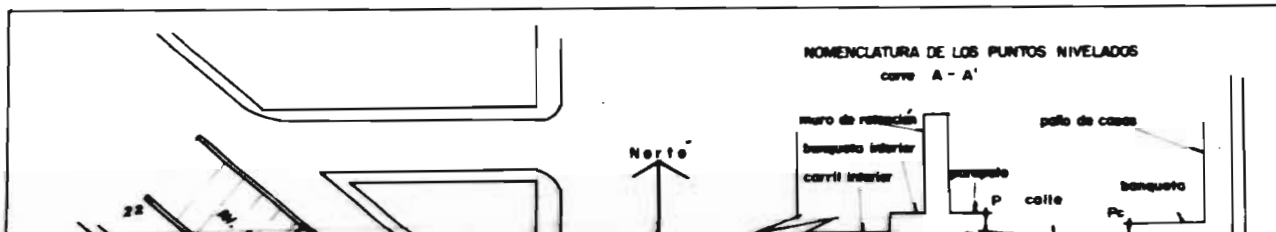
PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
9	1.913		57.270	1.886		57.264	Río Mixcoac No 63 (cerca)
9	1.556	58.826		1.539	58.803		
10	2.130		56.696	2.112		56.691	Río Mixcoac (taller pintura horneada)
10	0.692	57.388		0.640	57.351		
11	2.012		55.376	1.981		55.370	Río Mixcoac (Dora Ana Morán)
11	0.817	56.193		0.820	56.190		
12	1.850		54.393	1.848		54.332	Río Mixcoac (clases karate)
12	0.724	55.067		0.701	55.033		
13	1.883		53.184	1.863		53.170	Río Mixcoac No 333 (squash)
13	1.773	54.957		1.756	54.926		
14	2.580		52.377	2.561		52.365	Río Mixcoac y Av. Universidad (Automotriz)
14	1.245	53.622		1.218	53.583		
15	2.092		51.530	2.067		51.516	Río Churubusco (entre Av. Universidad y Coyoacán)
15	0.220	51.750		0.203	51.719		
16	2.947		48.803	2.920		48.799	Río Churubusco No 606
16	0.800	49.603		0.787	49.586		
17	2.197		47.906	2.183		47.901	Río Churubusco No 388
17	1.260	48.666		1.240	48.641		
18	2.345		46.321	2.324		46.317	Río Churubusco (Automotriz Lebrilla)
18	1.279	47.600		1.257	47.574		

PUNTO	NIVELACION I			NIVELACION II			OBSERVACIONES
	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	
	m	m s.n.m.	m s.n.m.	m	m s.n.m.	m s.n.m.	
19	2.219		45.381	2.200		45.374	Río Churubusco y Abosolo
19	1.010	46.371		1.027	46.401		
20	2.472		43.919	2.488		43.913	Río Churubusco (Squash)
20	1.336	45.475		1.328	45.441		
21	2.140		43.333	2.113		43.328	Río Churubusco No. 64
21	0.770	44.105		0.761	44.089		
22	1.786		42.319	1.782		42.307	Río Churubusco (en salida para División del Norte)
22	1.053	43.372		1.048	43.353		
23	0.092		43.280	0.084		43.271	Río Churubusco y División del Nor- te (YMCA)
23	2.399	45.679		2.386	45.657		
24	3.840		41.839	3.830		41.827	Río de Churubusco y Chilague
24	0.416	42.255		0.398	42.225		
25	1.646		40.609	1.629		40.596	Río Churubusco (frente al parque)
25	0.876	41.485		0.860	41.456		
26	1.507		39.978	1.487		39.969	Río Churubusco (20 m Poniente poso pastores)
26	1.086	41.064		1.061	41.030		
27	1.411		39.653	1.387		39.643	Río Churubusco (confluencia la- teral y salida a Czda. Tlalpan)
27	1.159	40.812		1.203	40.848		
28	1.862		38.950	1.799		38.939	Río Churubusco (lateral y Gene- ral Anaya)
28				1.534	40.473		
IMAN				0.386		40.087	R. Churub. y Czda. Tlalpan

NIVELACION
MORELOS - NATIVITAS - AV. NUEVE

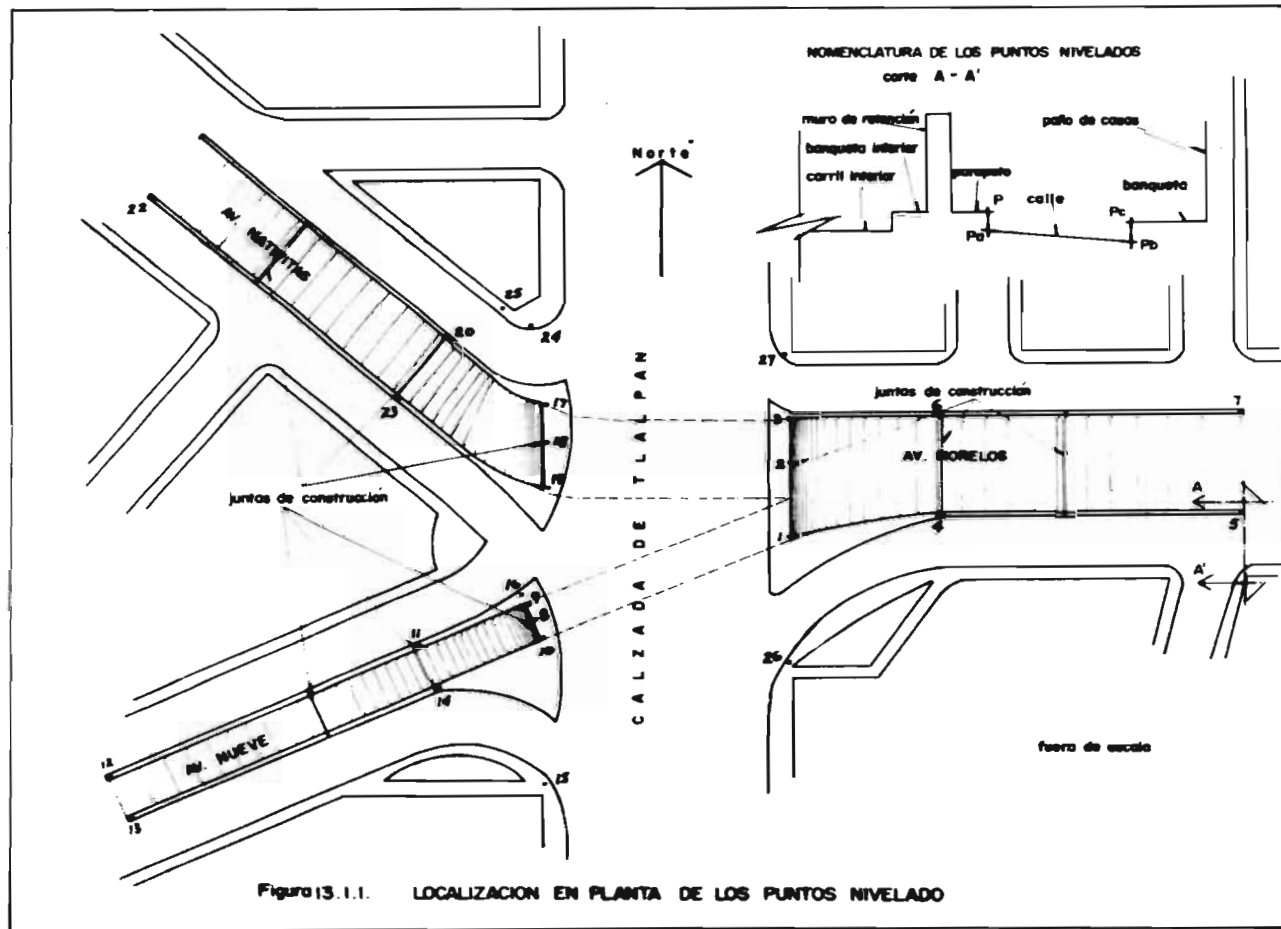
PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m	m		m	m	m		m	m	m
57 ⁽⁶⁾	1.874	2235.918	2233.544	11a	2.024	2235.690	33.616	20a	2.245	2235.690	33.895
56 ⁽¹⁾	1.915	2235.418	2233.503	11b	2.296	✓	33.344	22	2.050	✓	33.590
1	1.949	2235.418	33.969	11c	2.180	✓	33.460	22a	2.270	✓	33.370
2	1.244	✓	34.179	12	1.830	✓	33.810	22b	2.140	✓	33.500
3	1.287	✓	34.131	12a	1.930	✓	33.710	22c	2.325	✓	33.315
4	1.296	✓	34.122	12b	2.230	✓	33.410	23	1.690	✓	33.950
4a	1.984	✓	33.934	12c	2.050	✓	33.590	23a	2.095	✓	33.545
4b	2.277	✓	33.141	13	1.760	✓	33.880	23b	2.300	✓	33.340
4c	2.048	✓	33.370	13a	1.900	✓	33.740	23c	2.160	✓	33.480
5	1.434	✓	33.984	13b	1.990	✓	33.650	24	1.902	✓	33.758
5a	1.730	✓	33.688	13c	1.900	✓	33.740	24a	2.075	✓	33.565
5b	1.820	✓	33.598	14	1.800	✓	33.840	24b	2.245	✓	33.375
5c	1.614	✓	33.804	14a	2.026	✓	33.614	24c	2.168	✓	33.472
6	1.131	✓	34.305	14b	2.175	✓	33.465	25	1.935	✓	33.765
6a	1.195	✓	33.623	14c	2.085	✓	33.555	25a	2.055	✓	33.585
6b	2.047	✓	33.371	15	1.786	✓	33.859	25b	2.217	✓	33.423
6c	1.820	✓	33.598	15a	2.014	✓	33.626	25c	2.070	✓	33.570
7	1.430	✓	34.018	15b	2.095	✓	33.545	26	2.355	✓	33.465
7a	1.724	✓	33.694	15c	1.888	✓	33.752	26a	2.512	✓	33.128
7b	2.020	✓	33.398	16	1.940	✓	33.700	26b	2.338	✓	33.362
7c	1.825	✓	33.593	16a	1.980	✓	33.660	26c	2.122	✓	33.578
2. liga	1.900	2235.690	34.174	16b	2.175	✓	33.465	27	1.908	✓	33.102
8	1.642	✓	33.998	16c	2.050	✓	33.590	27a	2.142	✓	33.474
9	1.040	✓	34.000	17	1.560	✓	34.080	27b	2.253	✓	33.381
10	1.670	✓	33.998	18	1.335	✓	34.305	27c	2.117	✓	33.523
11	1.745	✓	33.895	19	1.538	✓	34.102				
				20	1.740	✓	33.900				

1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra una presa desahuel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación LE.



4c	2.048	✓	33.370	13b	1.990	✓	33.650	24	1.902	✓	33.738
5	1.434	✓	33.984	13c	1.900	✓	33.700	24a	2.075	✓	33.505
5a	1.730	✓	33.688	14	1.800	✓	33.890	24b	2.245	✓	33.375
5b	1.820	✓	33.598	14a	2.026	✓	33.614	24c	2.168	✓	33.472
5c	1.614	✓	33.804	14b	2.175	✓	33.405	25	1.935	✓	33.705
6	1.131	✓	34.305	14c	2.085	✓	33.555	25a	2.055	✓	33.585
6a	1.195	✓	33.623	15	1.786	✓	33.854	25b	2.217	✓	33.423
6b	2.047	✓	33.371	15a	2.014	✓	33.626	25c	2.070	✓	33.570
6c	1.820	✓	33.598	15b	2.095	✓	33.545	26	2.355	✓	33.265
7	1.420	✓	34.018	15c	1.888	✓	33.732	26a	2.512	✓	33.148
7a	1.724	✓	33.694	16	1.940	✓	33.700	26b	2.338	✓	33.302
7b	2.020	✓	33.398	16a	1.980	✓	33.660	26c	2.122	✓	33.518
7c	1.825	✓	33.593	16b	2.175	✓	33.465	27	1.908	✓	33.102
2.ª liga	1.400	2235.600	34.174	16c	2.050	✓	33.590	27a	2.102	✓	33.476
8	1.642	✓	33.998	17	1.360	✓	34.080	27b	2.253	✓	33.381
9	1.040	✓	34.000	18	1.335	✓	34.305	27c	2.117	✓	33.525
10	1.670	✓	33.998	19	1.538	✓	34.102				
11	1.745	✓	33.895	20	1.740	✓	33.900				

1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpa, entre los cuales se encuentra un punto a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación 16.

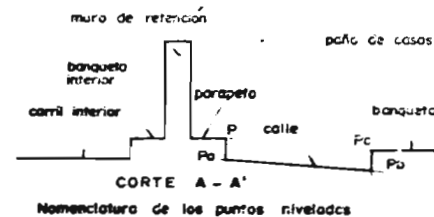


NIVELACION
1º DE MAYO - G. RAMOS MILLAN

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m 3 000	m 3 000		m	m 3 000	m 3 000		m	m 3 000	m 3 000
59 ⁽¹⁾	2.391	2235.919	2233.528	8	1.925	2235.919	33.994	15c	2.040	2235.919	33.879
53W	2.698	2235.919	2233.221	8a	2.180	-	33.739	16	1.785	-	34.134
1	1.571	2235.919	34.348	8b	2.435	-	33.484	16a	1.980	-	33.939
2	1.305	-	34.414	8a	2.307	-	33.612	16b	2.035	-	33.884
3	1.593	-	34.326	9	1.660	-	34.259	16c	1.830	-	34.089
4	1.615	-	34.304	9a	2.122	-	33.797	18	1.980	-	34.439
4a	2.057	-	33.882	9b	2.515	-	33.404	18a	2.006	-	33.913
4b	2.423	-	33.436	9c	2.407	-	33.512	18b	2.229	-	33.690
4c	2.302	-	33.617	10	1.590	-	34.329	18c	2.120	-	33.799
5	1.686	-	34.233	11	1.466	-	34.453				
5a	2.344	-	33.575	12	1.625	-	34.291				
5b	2.762	-	33.157	12a	1.987	-	33.932				
5c	2.681	-	33.238	12b	2.265	-	33.654				
6	1.609	-	34.310	12c	2.209	-	33.710				
6a	2.160	-	33.759	13	1.526	-	34.393				
6b	2.635	-	33.289	14	1.543	-	34.376				
6c	2.445	-	33.474	14a	1.758	-	34.161				
7	1.922	-	33.997	14b	2.130	-	33.789				
7a	2.122	-	33.797	14c	2.050	-	33.869				
7b	2.310	-	33.609	15	1.406	-	34.513				
7c	2.200	-	33.714	15a	1.975	-	33.944				
				15b	2.190	-	33.729				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan entre los cuales se encuentra este punto a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

Norte



TALPAN

6A	2.160	-	33.737	14	1.593	-	34.376				
6B	2.635	-	33.287	14a	1.758	-	34.161				
6C	2.445	-	33.477	14b	2.130	-	33.789				
7	1.922	-	33.997	14c	2.050	-	33.869				
7A	2.122	-	33.797	15	1.406	-	34.513				
7B	2.310	-	33.609	15a	1.975	-	33.940				
7C	2.200	-	33.719	15b	2.190	-	33.729				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

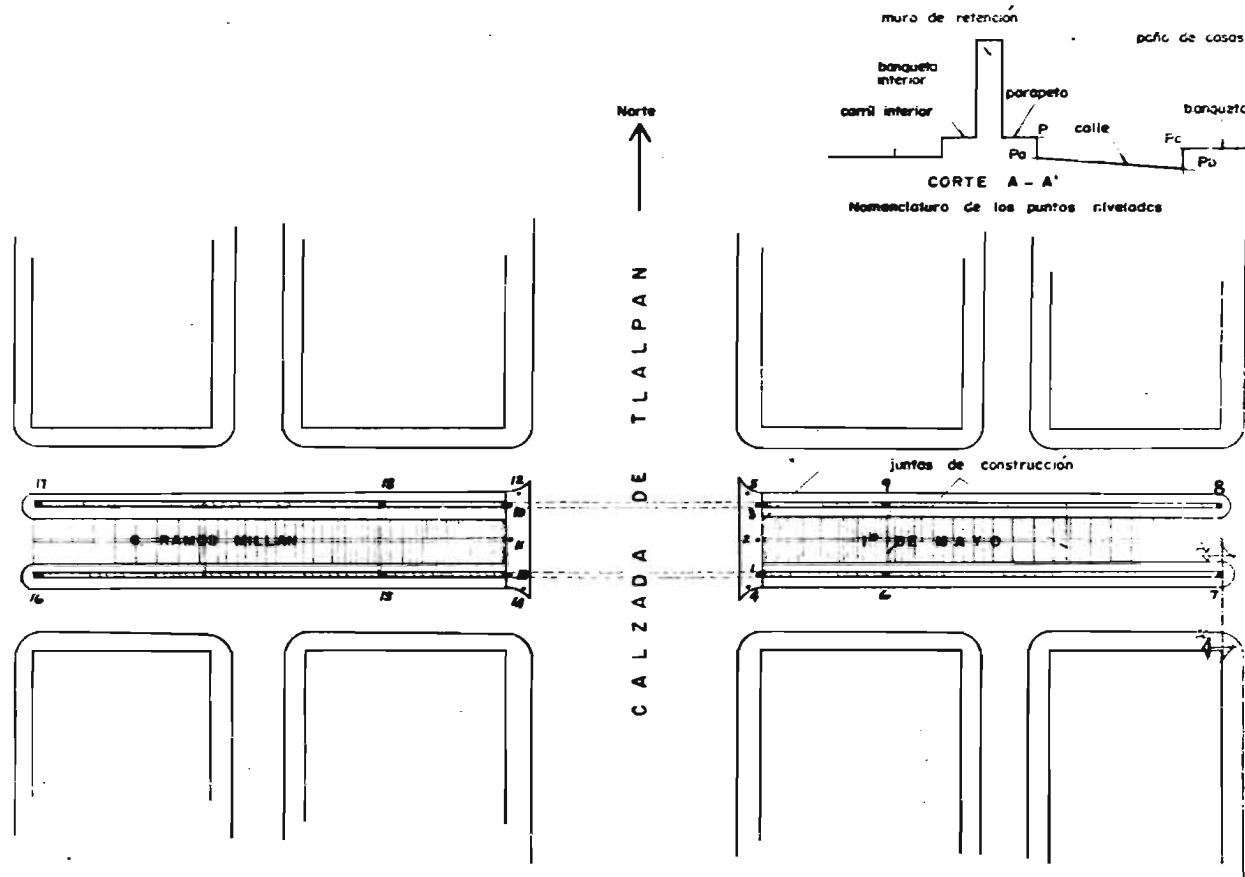
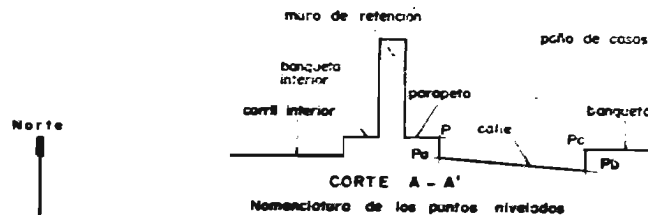


Fig. 13. 1. 2. LOCALIZACION DE PUNTOS NIVELADOS

NIVELACION
N. HEROES DE CHAPULTEPEC - SUR 124

PUNTO	LECTURA	ALTURA A PARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA A PARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA A PARATO	COTA
52 ⁽¹⁾	1.673	2225.394	2223.701	6	1.525	2225.394	33.867	126	2.340	2225.394	33.054
51 ⁽¹⁾	1.671	2225.394	2223.723	6a	1.935	✓	33.457	12c	2.210	✓	33.184
1	1.513	2225.394	33.881	6b	2.068	✓	33.326	13	1.580	✓	33.814
1a	2.007	✓	33.387	6c	1.964	✓	33.430	13a	1.995	✓	33.399
1b	1.997	✓	33.397	7	1.438	✓	33.956	13b	2.175	✓	33.219
1c	1.872	✓	33.502	7a	1.899	✓	33.495	13c	2.095	✓	33.299
2	1.488	✓	33.906	7b	2.015	✓	33.379				
2a	1.872	✓	33.522	7c	1.840	✓	33.524				
2b	1.953	✓	33.441	8	1.475	✓	33.919				
2c	1.886	✓	33.508	9	1.448	✓	33.946				
3	1.611	✓	33.783	9a	1.677	✓	33.717				
3a	1.894	✓	33.500	9b	1.816	✓	33.578				
3b	2.027	✓	33.367	9c	1.587	✓	33.807				
3c	1.881	✓	33.513	10	1.550	✓	33.844				
4	1.744	✓	33.650	10a	1.805	✓	33.589				
4a	1.862	✓	33.532	10b	1.941	✓	33.453				
4b	1.902	✓	33.492	10c	1.885	✓	33.509				
4c	1.817	✓	33.577	11	2.175	✓	33.219				
5	1.820	✓	33.574	11a	2.280	✓	33.114				
5a	2.062	✓	33.392	11b	2.375	✓	33.019				
5b	2.062	✓	33.392	11c	-	✓	-				
5c	1.957	✓	33.437	12	2.230	✓	33.164				
				12a	2.235	✓	33.159				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este pozo a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.



Norte

P A N

CORTE A - A'

Nomenclatura de los puntos nivelados

3a	1.894	✓	33.300	9c	1.587	✓	33.007			
3b	2.027	✓	33.367	10	1.550	✓	33.060			
3c	1.881	✓	33.513	10a	1.805	✓	33.097			
4	1.744	✓	33.650	10b	1.941	✓	33.453			
4a	1.842	✓	33.532	10a	1.885	✓	33.507			
4b	1.902	✓	33.492	11	2.175	✓	33.319			
4c	1.817	✓	33.577	11a	2.280	✓	33.119			
5	1.820	✓	33.574	11b	2.375	✓	33.019			
5a	2.002	✓	33.392	11c	-	✓	-			
5b	2.062	✓	33.332	12	2.230	✓	33.169			
5c	1.957	✓	33.437	12a	2.235	✓	33.157			

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

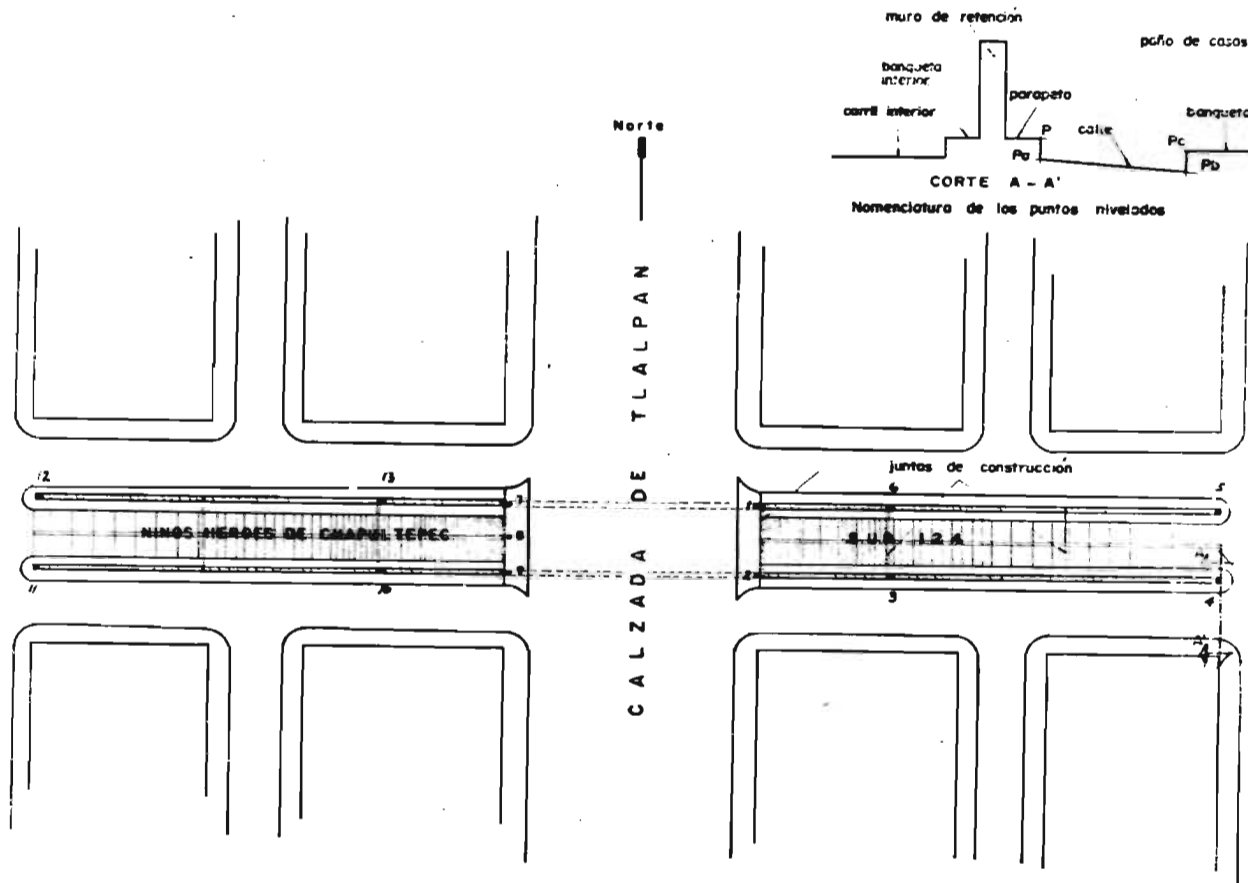


Fig. 13. 1. 3. LOCALIZACION DE PUNTOS NIVELADOS

**NIVELACION
CORRESPONDENCIA - SANTIAGO**

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
49 ⁽¹⁾	1.790	2234.803	2233.013	6	1.280	2234.803	33.523	12	1.750	2234.914	33.164
48 ⁽¹⁾	1.700	2234.803	2233.103	6a	1.598	✓	33.205	12a	1.910	✓	33.004
1	1.402	2234.803	33.401	6b	1.736	✓	33.047	12b	1.980	✓	32.934
1a	1.670	✓	33.133	6c	1.553	✓	33.480	12c	1.800	✓	33.114
1b	1.752	✓	33.051	1 (liga)	1.531	2234.914	2233.401	13	1.782	✓	33.152
1c	1.591	✓	33.212	7	1.427	2234.914	33.487	13a	1.975	✓	32.939
2	1.402	✓	33.141	7a	1.797	✓	33.117	13b	2.285	✓	32.629
2a	1.780	✓	33.023	7b	1.872	✓	33.042	13c	2.130	✓	32.784
2b	1.941	✓	32.862	7c	1.741	✓	33.173				
2c	1.849	✓	32.954	9	1.464	✓	33.480				
3	1.585	✓	33.218	9a	-	-	-				
3a	1.986	✓	32.835	9b	1.875	✓	33.029				
3b	2.166	✓	32.637	9c	1.817	✓	33.097				
3c	2.083	✓	32.720	10	1.777	✓	33.137				
4	1.555	✓	33.248	10a	2.080	-	32.834				
4a	1.770	✓	33.033	10b	2.146	✓	32.718				
4b	1.936	✓	32.861	10c	2.070	✓	32.844				
4c	1.754	✓	33.099	11	1.670	✓	33.249				
5	1.474	✓	33.329	11a	1.860	✓	33.059				
5a	1.641	✓	33.162	11b	-	✓	-				
5b	1.712	✓	33.091	11c	-	✓	-				
5c	1.514	✓	33.226								

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Carretera de Tlalpan, entre los cuartos se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones en estos puntos corresponden a la Nivelación I.

Norte



ALPAN

3a	1.786	✓	32.833	7a	1.875	✓	33.029
3b	2.166	✓	32.637	9c	1.817	✓	33.097
3c	2.083	✓	32.720	10	1.777	✓	33.137
4	1.555	✓	33.298	10a	2.080	✓	32.839
4a	1.770	✓	33.032	10b	2.196	✓	32.718
4b	1.426	✓	32.867	10c	2.070	✓	32.844
4c	1.755	✓	33.099	11	1.670	✓	33.249
5	1.470	✓	33.329	11a	1.860	✓	33.059
5a	1.400	✓	33.102	11b	-	✓	-
5b	1.762	✓	33.091	11c	-	✓	-
5c	1.511	✓	33.286				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este pozo a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación I.

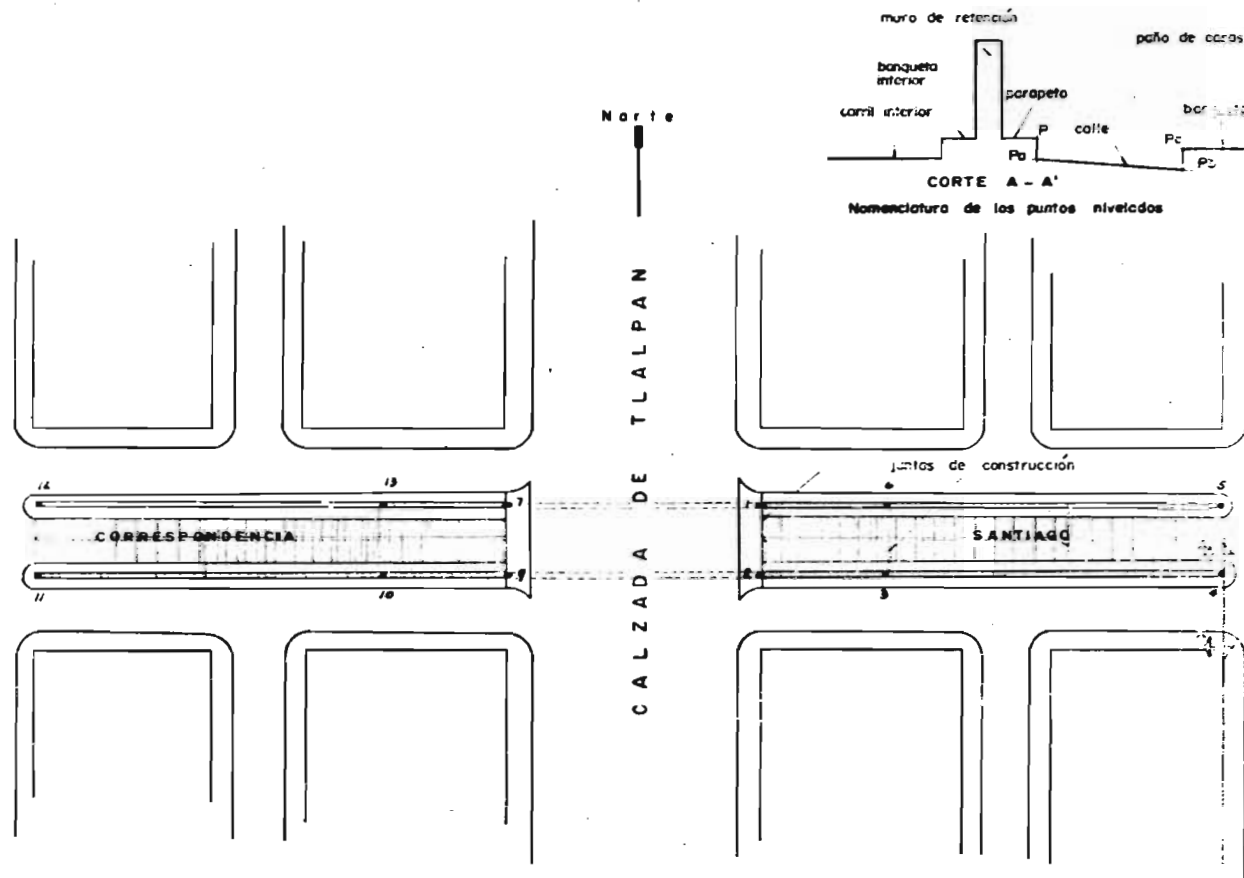


Fig. 13. 1. 4. LOCALIZACION DE PUNTOS NIVELADOS

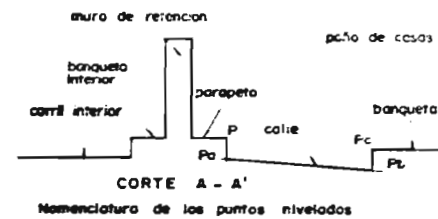
**NIVELACION
XOLA - NAPOLEON**

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
48 ⁽¹⁾	2.296	2235.389	2233.093	76	3.090	2235.389	32.399	16a	2.178	✓	33.211
47 ⁽¹⁾	2.244	2235.389	2233.615	7c	2.872	✓	32.517	16b	2.345	✓	32.994
1	1.574	2235.389	2233.615	8	2.039	✓	33.350	16c	2.175	✓	33.214
1a	1.975	✓	33.414	8a	2.327	✓	33.062	17	1.980	✓	33.409
1b	2.372	✓	33.017	8b	2.669	✓	32.720	17a	2.160	✓	32.229
1c	2.165	✓	33.224	8c	2.495	✓	32.894	17b	2.295	✓	33.094
2	1.552	✓	33.837	9	2.873	✓	33.316	17c	2.120	✓	33.269
3	1.578	✓	33.811	10	1.944	✓	33.945	18	1.400	✓	33.989
3a	1.913	✓	33.476	10a	1.800	✓	33.389	18a	1.772	✓	33.617
3b	2.548	✓	33.047	10b	2.088	✓	33.301	18b	2.141	✓	33.248
3c	2.162	✓	33.227	10c	2.020	✓	33.369	18c	1.928	✓	33.461
4	2.122	✓	33.267	11	1.419	✓	33.970				
5	2.032	✓	33.357	12	1.515	✓	33.874				
5a	2.345	✓	33.047	12a	1.721	✓	33.468				
5b	2.708	✓	32.681	12b	2.337	✓	33.052				
5c	2.508	✓	32.881	12c	2.278	✓	33.111				
6	2.811	✓	32.578	13	1.880	✓	33.509				
6a	2.961	✓	32.428	14	2.270	✓	33.119				
6b	3.085	✓	32.304	15	1.515	✓	33.874				
6c	2.960	✓	32.429	15a	2.020	✓	33.369				
7	2.760	✓	32.629	15b	2.513	✓	32.876				
7a	2.412	✓	32.477	15c	2.368	✓	33.021				
				16	1.945	✓	33.394				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

Norte

PAN



3a	1.913	✓	33.476	10b	2.088	✓	33.301	18b	2.141	✓	33.248
3b	2.392	✓	33.047	10c	2.020	✓	33.369	18c	1.928	✓	33.461
3c	2.162	✓	33.227	11	1.919	✓	33.970				
4	2.122	✓	33.267	12	1.515	✓	33.874				
5	2.032	✓	33.357	12a	1.921	✓	33.468				
5a	2.393	✓	33.047	12b	2.337	✓	33.052				
5b	2.708	✓	32.681	12c	2.378	✓	33.111				
5c	2.508	✓	32.881	13	1.880	✓	33.509				
6	2.811	✓	32.578	14	2.270	✓	33.119				
6a	2.961	✓	32.425	15	1.515	✓	33.874				
6b	3.085	✓	32.304	15a	2.020	✓	33.369				
6c	2.960	✓	32.429	15b	2.513	✓	32.876				
7	2.760	✓	32.629	15c	2.368	✓	33.021				
7a	2.912	✓	32.477	16	1.995	✓	33.394				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

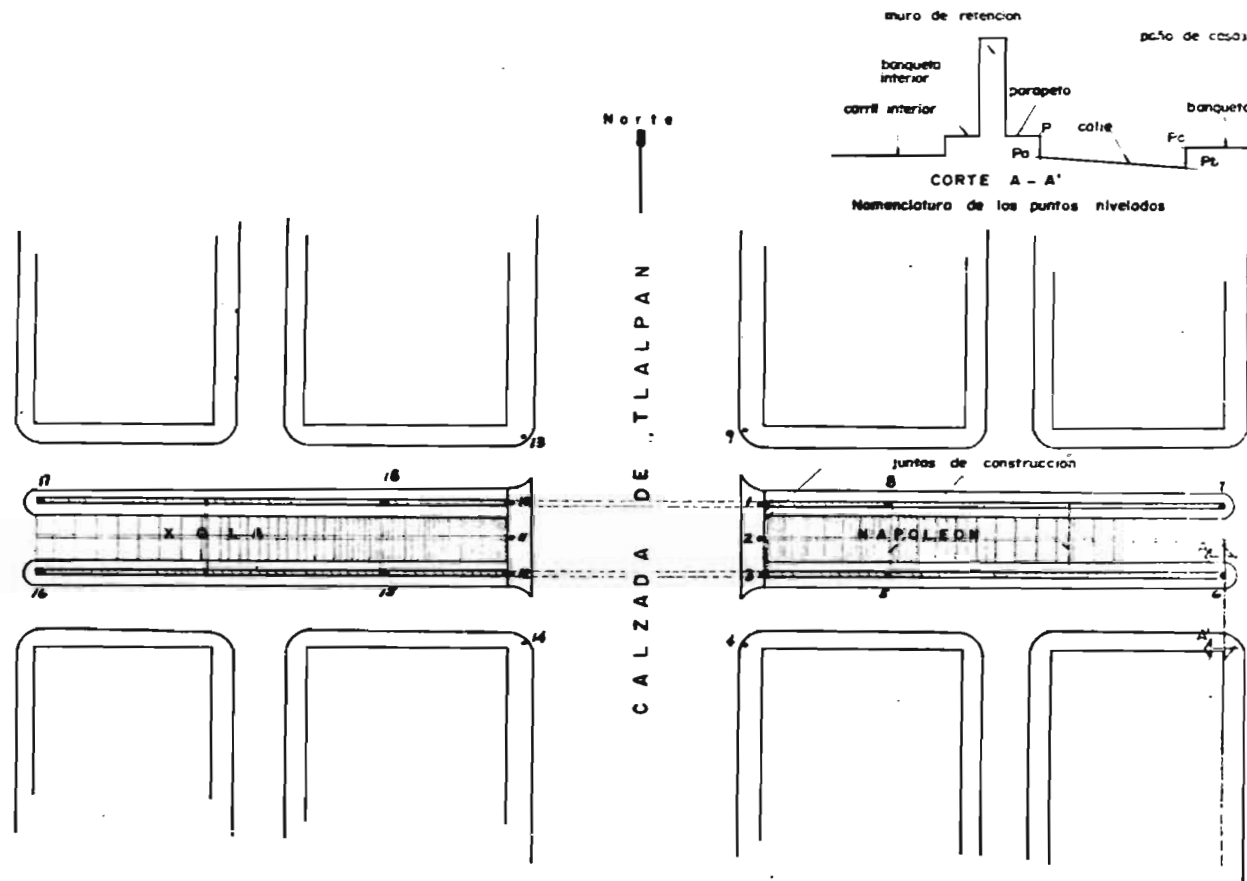
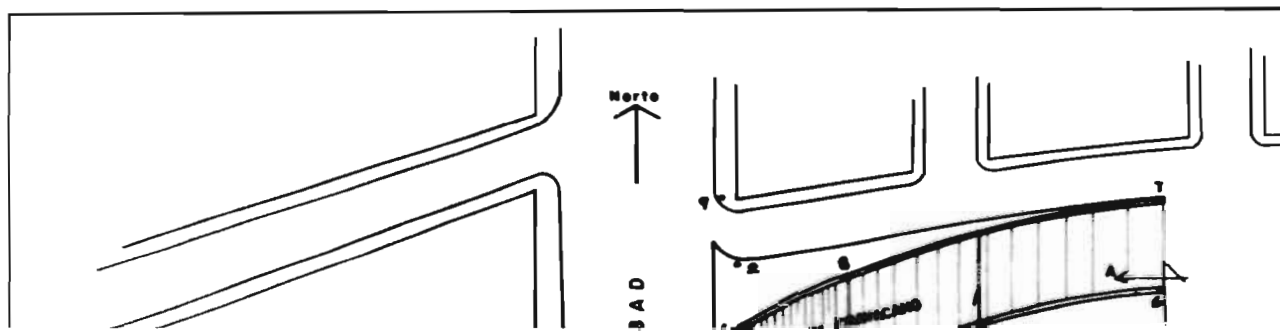


Fig. 13. I. 5. LOCALIZACION DE PUNTOS NIVELADOS

NIVELACION
J. PEON CONTRERAS - CHAVACANO

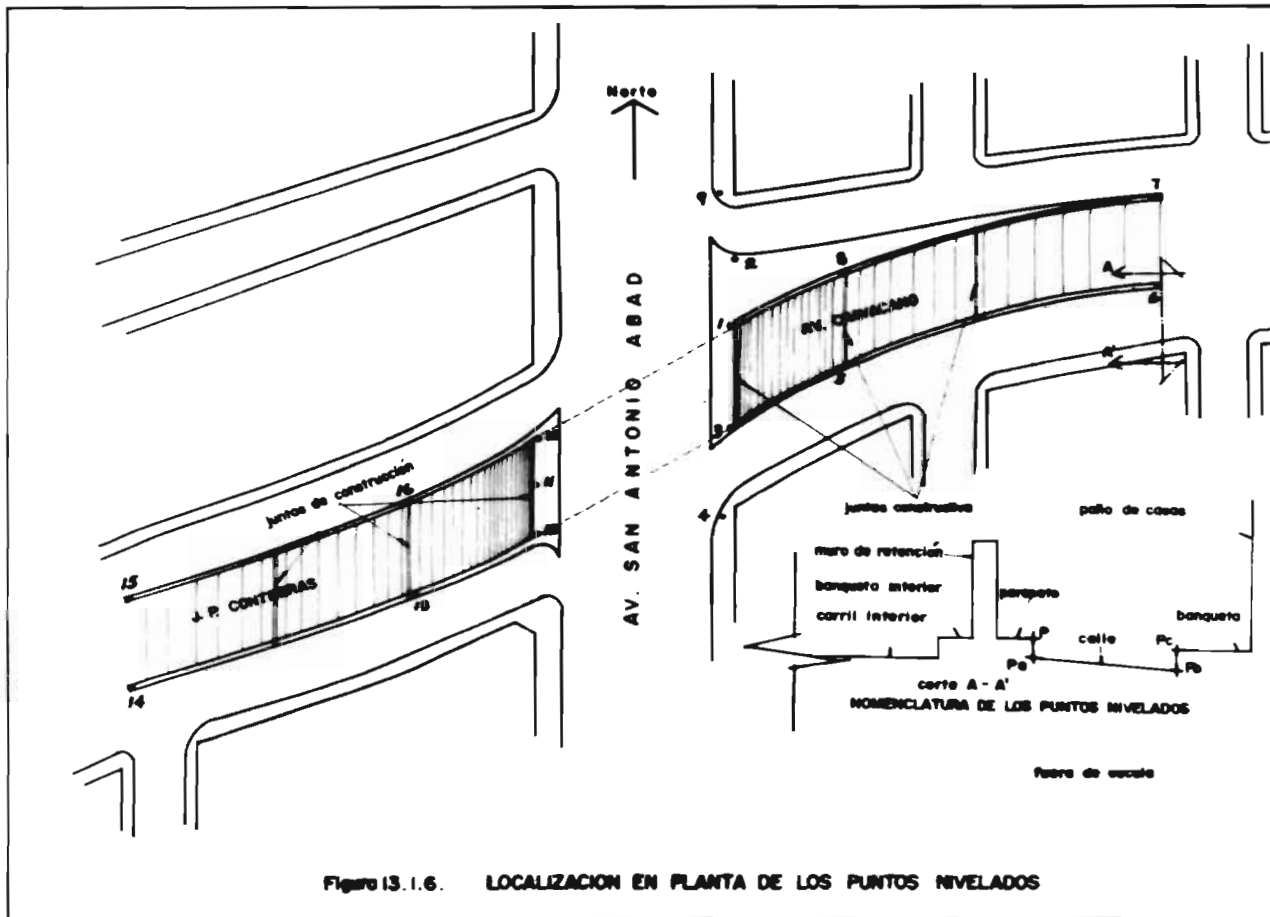
PUNTO	LECTURA	ALTURA ABRATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA ABRATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA ABRATO	COTA
	m	m 3.00m	m 3.00m		m	m 3.00m	m 3.00m		m	m 3.00m	m 3.00m
41 ⁽¹⁾	2.655	2236.023	2233.368	76	2.613	2236.023	33.410	14a	2.186	2235.929	33.619
40	2.500	2236.023	2233.523	7c	2.492	✓	33.521	14b	2.272	✓	33.533
1	1.617	2236.023	34.406	8	1.952	✓	34.071	14c	2.102	✓	33.703
2	2.069	✓	33.934	8a	2.345	✓	33.678	15	1.971	✓	33.834
2a	2.224	✓	33.773	8b	2.460	✓	33.563	15a	2.147	✓	33.658
2b	2.504	✓	33.517	8c	2.345	✓	33.672	15b	2.232	✓	33.573
2c	2.377	✓	33.646	9	2.425	✓	33.598	15c	2.079	✓	33.726
3	1.732	✓	34.291	9 (liga)	1.523	2235.929	34.406	16	1.492	✓	34.313
3a	1.924	✓	34.099	10	1.548	✓	34.381	16a	1.880	✓	33.925
3b	2.088	✓	33.935	10a	1.832	✓	34.097	16b	2.045	✓	33.760
3c	2.010	✓	34.013	10b	2.100	✓	33.829	16c	1.997	✓	33.808
4	1.922	✓	34.101	10c	2.074	✓	33.855				
5	1.772	✓	34.221	11	1.996	✓	34.433				
5a	2.176	✓	33.847	12	1.620	✓	34.309				
5b	2.445	✓	33.578	12a	1.820	✓	34.109				
5c	2.320	✓	33.703	12b	2.252	✓	33.677				
6	2.200	✓	33.823	12c	2.150	✓	33.779				
6a	2.423	✓	33.600	10 (liga)	1.424	✓	34.381				
6b	2.508	✓	33.515	13	1.525	✓	34.280				
6c	2.380	✓	33.645	13a	1.882	✓	33.923				
7	2.232	✓	33.791	13b	2.113	✓	33.692				
7a	2.446	✓	33.577	13c	2.114	✓	33.691				
				14	2.006	✓	33.799				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpa, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos son de la Nivelación II.



5a	2.176	✓	33.897	12a	1.820	✓	34.109
5b	2.445	✓	33.578	12b	2.252	✓	33.677
5c	2.320	✓	33.793	12c	2.150	✓	33.779
6	2.200	✓	33.823	10 (liga)	1.92y	✓	34.381
6a	2.423	✓	33.600	13	1.525	✓	34.280
6b	2.508	✓	33.515	13a	1.802	✓	33.923
6c	2.380	✓	33.643	13b	2.113	✓	33.692
7	2.232	✓	33.771	13c	2.114	✓	33.691
7a	2.446	✓	33.577	14	2.006	✓	33.799

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpa, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos son de la Nivelación II.

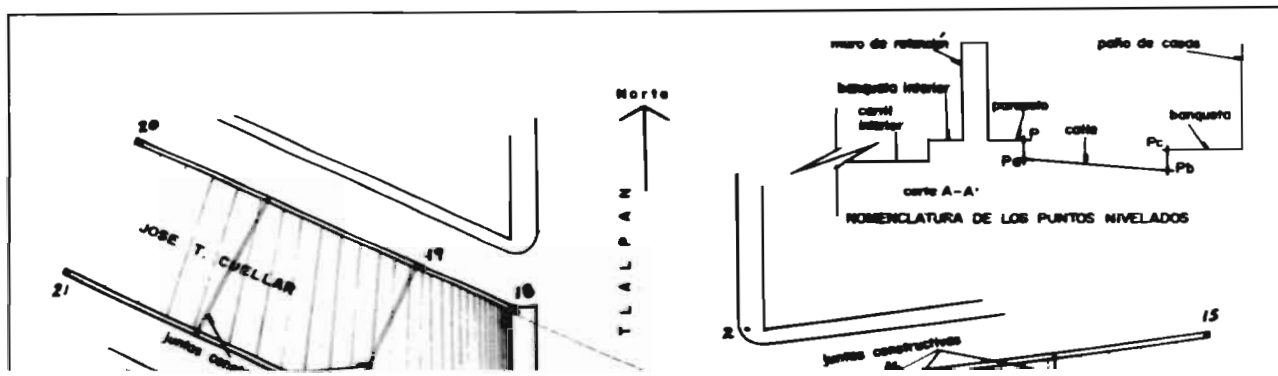


NIVELACION

JOSE T. CUELLAR - AV. DEL TALLER

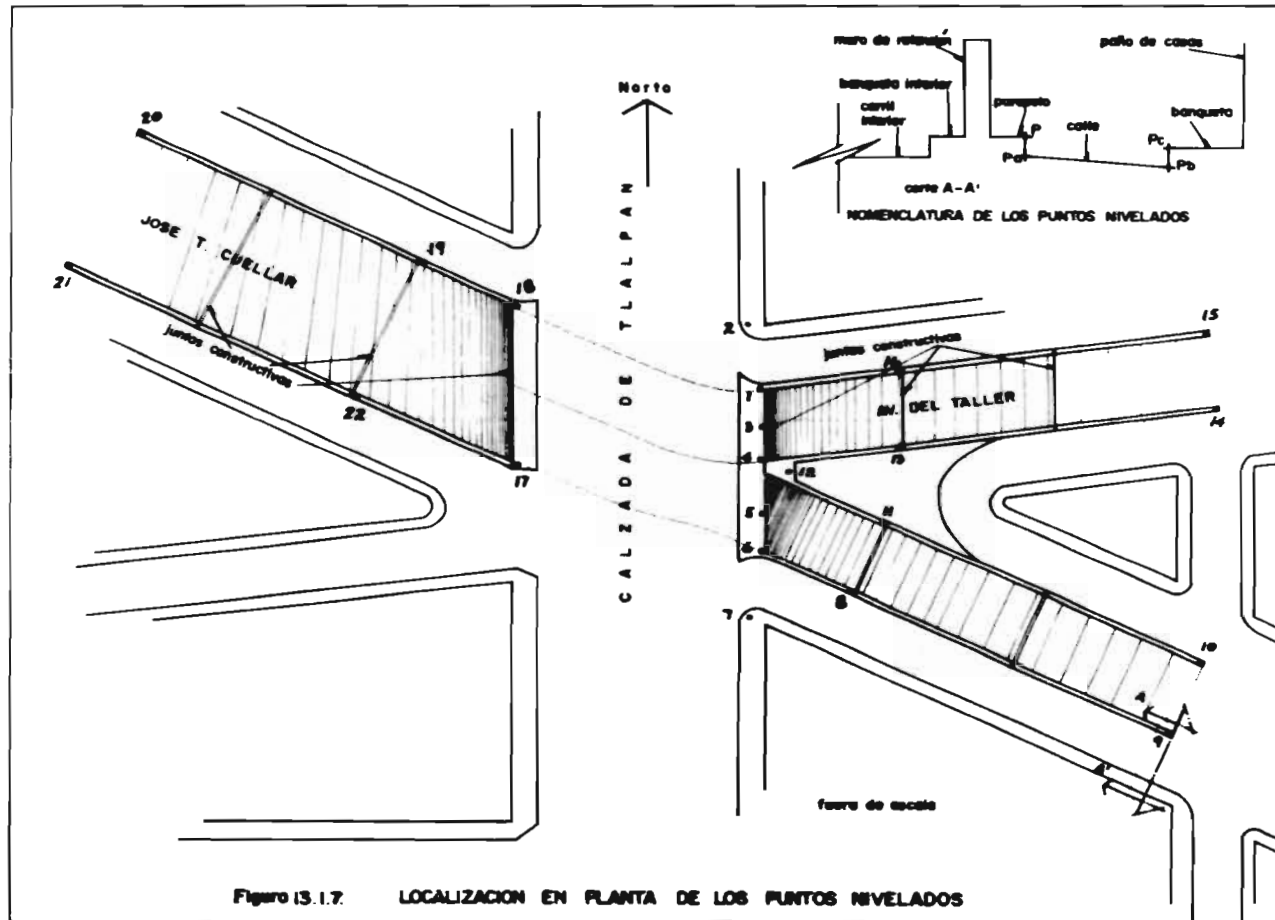
PUNTO	LECTURA	ALTURA	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA	COTA
	"	APARATO	"		"	APARATO	"		"	"	APARATO
39 ⁽¹⁾	2.440	2235.988	2233.548	11	2.379	2235.988	2233.609	18	1.422	2235.988	2234.566
48 ⁽¹⁾	2.602	2235.988	2233.386	11a	2.635	✓	33.353	18a	1.748	✓	33.840
1	1.519	✓	34.469	11b	2.777	✓	33.211	18b	2.264	✓	33.724
1a	1.718	✓	34.270	11c	2.780	✓	33.238	18c	2.282	✓	33.706
1b	2.058	✓	33.930	12	1.660	✓	34.328	19	1.968	✓	34.020
1c	1.955	✓	34.033	12a	1.987	✓	34.001	19a	2.399	✓	33.589
2	1.978	✓	34.010	12b	2.217	✓	33.771	19b	2.539	✓	33.449
3	1.532	✓	34.436	12c	2.196	✓	33.792	19c	2.520	✓	33.468
4	1.534	✓	34.454	13	2.384	✓	33.604	20	2.273	✓	33.717
5	1.606	✓	34.382	13a	2.754	✓	33.234	20a	2.995	✓	33.473
6	1.578	✓	34.410	13b	2.827	✓	33.161	20b	2.692	✓	33.246
6a	1.888	✓	34.100	13c	2.715	✓	33.273	20c	2.560	✓	33.428
6b	2.211	✓	33.777	14	2.995	✓	33.543	21	2.250	✓	33.728
6c	2.181	✓	33.807	14a	2.540	✓	33.448	21a	2.460	✓	33.528
7	2.100	✓	33.828	14b	-	✓	-	21b	2.660	✓	33.328
8	2.406	✓	33.582	14c	-	✓	-	21c	2.578	✓	33.417
8a	2.084	✓	33.304	15	2.470	✓	33.518	22	1.904	✓	33.084
8b	2.830	✓	33.158	15a	2.606	✓	33.382	22a	2.307	✓	33.661
8c	2.722	✓	33.266	15b	2.619	✓	33.369	22b	2.457	✓	33.551
9	2.300	✓	33.488	15c	2.513	✓	33.475	22c	2.363	✓	33.625
9a	2.440	✓	33.548	16	2.429	✓	33.559				
9b	2.574	✓	33.514	16a	2.575	✓	33.413				
9c	2.310	✓	33.678	16b	2.750	✓	33.238				
10	2.390	✓	33.598	16c	2.654	✓	33.334				
10a	2.408	✓	33.520	17	1.957	✓	34.831				
10b	2.500	✓	33.488	17a	1.851	✓	34.137				
10c	2.413	✓	33.575	17b	2.327	✓	33.661				
				17c	2.192	✓	33.796				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Triunfo, entre los cuartos de cadenas y este punto a occidente. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.



6c	2.181	✓	33.807	196	-	✓	-	216	2.660	✓	33.388
7	2.160	✓	33.828	19c	-	✓	-	21c	2.578	✓	33.477
8	2.406	✓	33.582	15	2.470	✓	33.518	22	1.799	✓	39.084
8a	2.484	✓	33.304	15a	2.606	✓	33.382	22a	2.307	✓	33.651
8b	2.830	✓	33.158	15b	2.619	✓	33.369	22b	2.457	✓	33.531
8c	2.722	✓	33.266	15c	2.513	✓	33.475	22c	2.363	✓	33.625
9	2.300	✓	33.488	16	2.429	✓	33.559				
9a	2.440	✓	33.548	16a	2.573	✓	33.413				
9b	2.474	✓	33.514	16b	2.750	✓	33.238				
9c	2.310	✓	33.678	16c	2.654	✓	33.334				
11	2.390	✓	33.598	17	1.457	✓	34.831				
10a	2.468	✓	33.520	17a	1.851	✓	34.137				
10b	2.500	✓	33.488	17b	2.327	✓	33.661				
10c	2.413	✓	33.575	17c	2.192	✓	33.796				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpa, entre los cuales se encuentran este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación U.

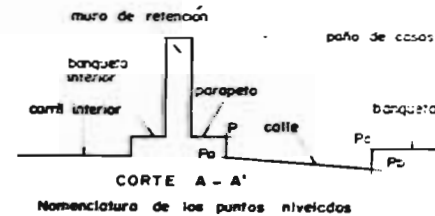


NIVELACION
LORENZO BOTURINI

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA	PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
36 ⁽¹⁾	0.620	2233.892	2233.272	66	2.138	2234.760	2232.622	15c	2.365		2232.195
35 ⁽¹⁾	2.172	2233.892	2231.720	6c	2.036	✓	32.724	16	1.976		32.784
36 ^{(1) (lign)}	1.488	2234.760	2233.272	7	1.964	✓	32.796	16a	2.284		32.974
36a	1.768	✓	32.992	8	1.859	✓	32.901	16b	2.457		32.303
36b	1.972	✓	32.788	9	1.480	✓	33.360	16c	2.392		32.368
36c	1.918	✓	32.842	9a	1.902	✓	32.858	17	1.932		32.828
1	1.483	✓	33.277	9b	2.083	✓	32.647				
2	1.498	✓	33.262	9c	1.991	✓	32.769				
2a	1.806	✓	32.959	10	1.296	✓	33.464				
2b	1.908	✓	33.252	11	1.435	✓	33.125				
2c	1.951	✓	32.809	11 (lign)	1.698	2234.773	33.325				
3	1.558	✓	33.202	11a	1.870	✓	33.103				
3a	1.910	✓	32.850	11b	2.135	✓	32.838				
3b	2.037	✓	32.723	11c	2.103	✓	32.870				
3c	1.925	✓	32.835	12	1.962	✓	33.011				
d	1.735	✓	33.005	13	1.938	✓	33.085				
4a	1.997	✓	32.763	13a	2.251	✓	32.722				
4b	2.025	✓	32.735	13b	2.472	✓	32.501				
4c	1.860	✓	32.900	13c	2.423	✓	32.550				
5	1.806	✓	32.959	14	2.500	✓	32.472				
5a	2.018	✓	32.742	14a	2.657	✓	32.103				
5b	2.123	✓	32.637	14b	2.772	✓	31.988				
5c	1.920	✓	32.840	14c	2.620	✓	32.140				
6	1.551	✓	33.209	15	2.460	✓	32.300				
6a	1.959	✓	32.801	15a	2.537	✓	32.223				
				15b	2.640	✓	32.120				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. El punto No 36, está localizado en el paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la nivelación II.

Norte



PAN

2c	1.951	✓	32.809	11a	1.870	✓	32.103
3	1.558	✓	32.202	11b	2.135	✓	32.838
3a	1.910	✓	32.850	11c	2.103	✓	32.870
3b	2.037	✓	32.723	12	1.962	✓	33.011
3c	1.925	✓	32.825	13	1.938	✓	33.037
4	1.735	✓	32.005	13a	2.251	✓	32.722
4a	1.997	✓	32.763	13b	2.972	✓	32.501
4b	2.025	✓	32.725	13c	2.423	✓	32.550
4c	1.860	✓	32.900	14	2.500	✓	32.472
5	1.804	✓	32.959	14a	2.657	✓	32.103
5a	2.012	✓	32.792	14b	2.772	✓	31.988
5b	2.123	✓	32.637	14c	2.620	✓	32.140
5c	1.920	✓	32.890	15	2.460	✓	32.300
6	1.551	✓	32.209	15a	2.537	✓	32.223
6a	1.959	✓	32.801	15b	2.640	✓	32.120

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la Calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. El punto No 3c, está localizado en el paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la nivelación II.

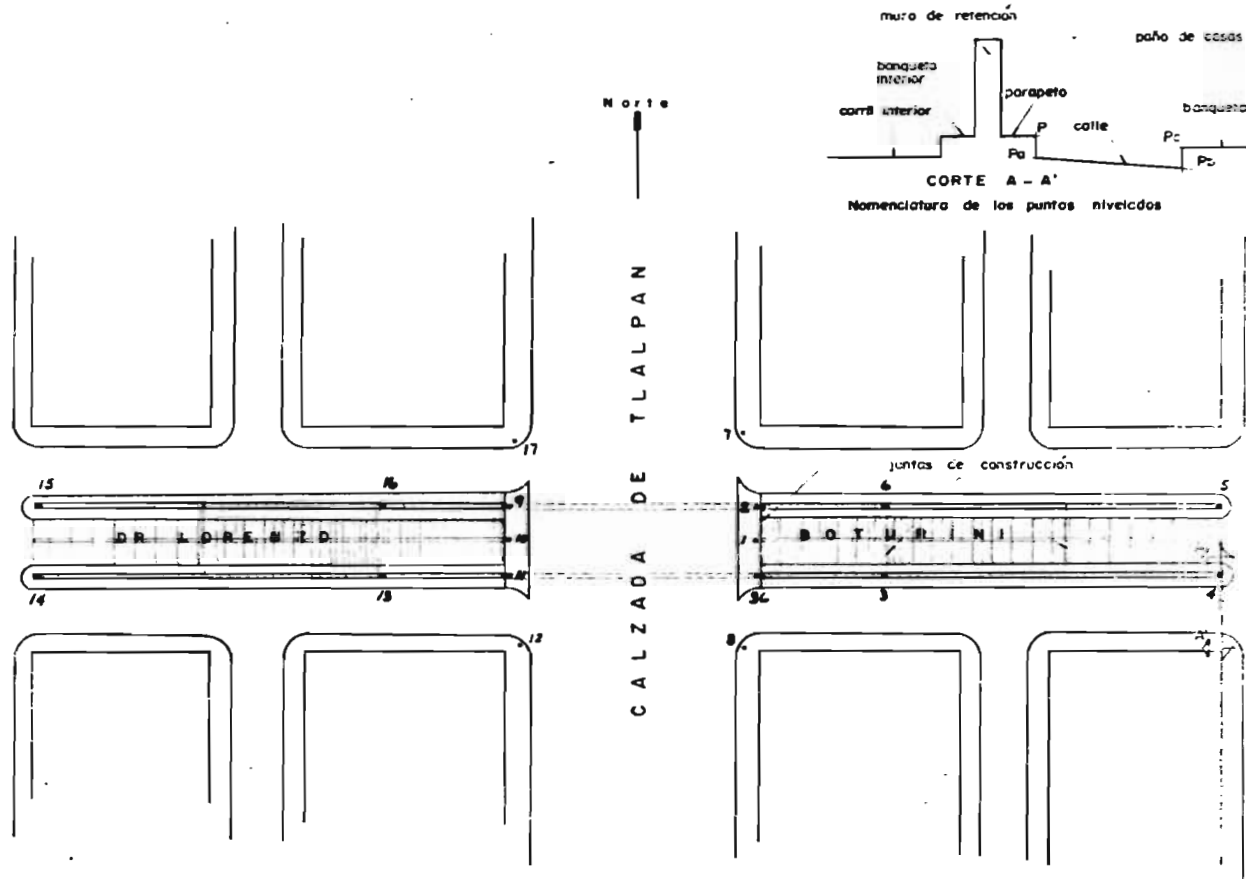


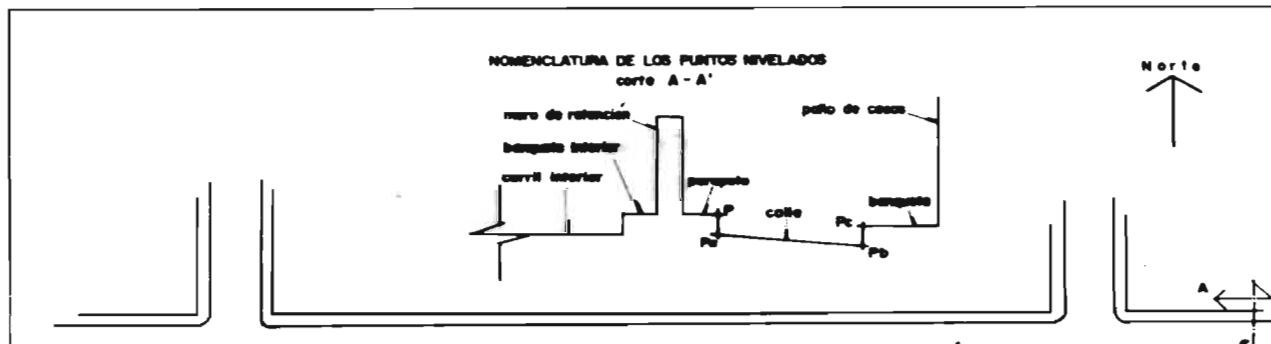
Fig. 13. 1. 8. LOCALIZACION DE PUNTOS NIVELADOS

NIVELACION
CHIMALPOPOCA

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m	m
30 ⁽¹⁾	1.070	2232.729	2231.659
33 ⁽¹⁾	0.756	2232.729	2231.973
34 ^{(1) (figa)}	1.716	2233.375	2231.659
1	1.261	✓	32.114
2	1.157	✓	32.218
3	1.237	✓	32.138
3a	1.448	✓	31.927
3b	1.740	✓	31.635
3c	1.577	✓	31.798
4	1.017	✓	32.358
4a	1.207	✓	32.168
4b	1.646	✓	31.729
4c	1.510	✓	31.865
5	1.100	✓	32.275
5a	1.285	✓	32.090
5b	1.674	✓	31.701
5c	1.530	✓	31.845

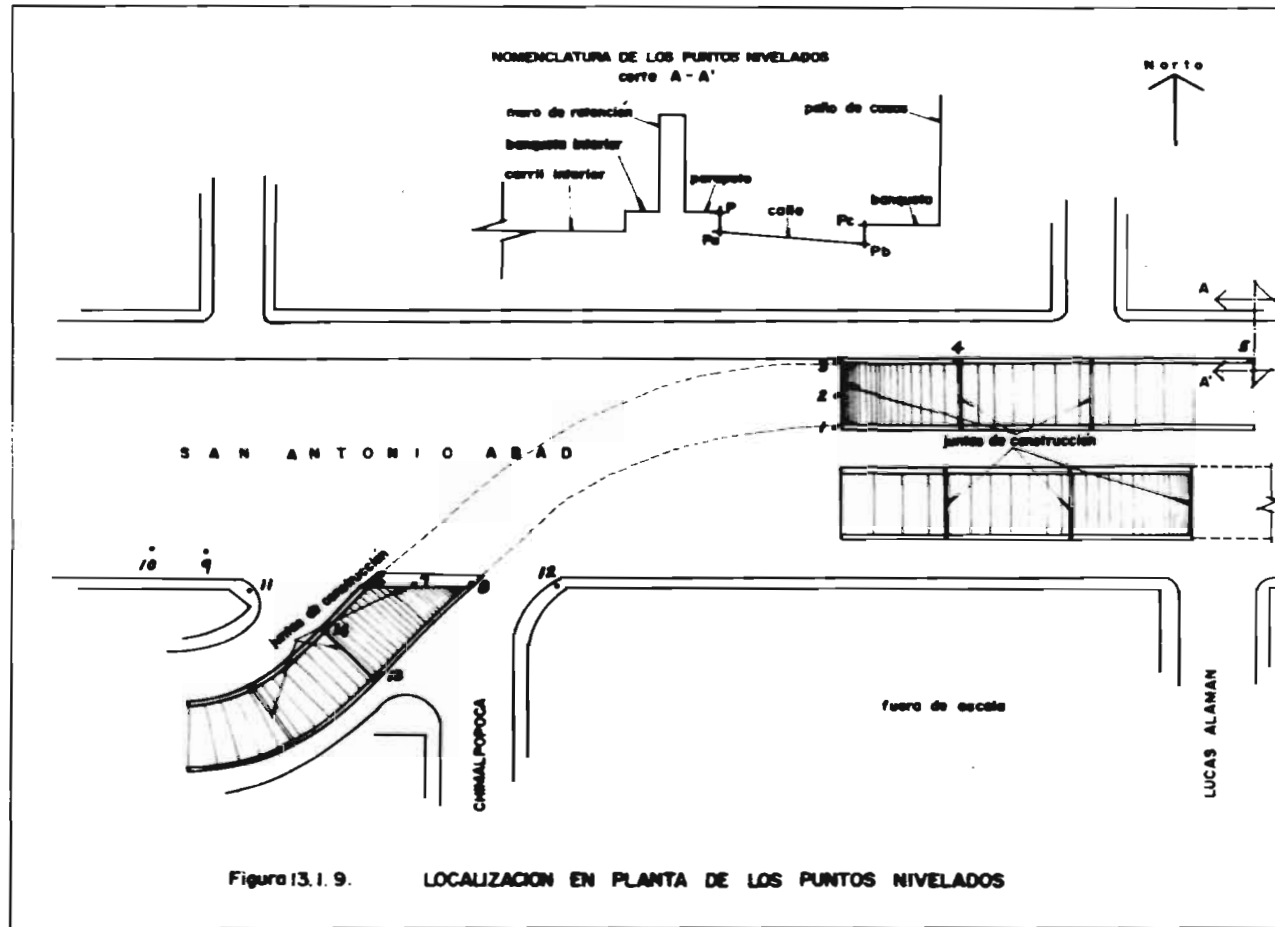
PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m	m
6	1.086	2233.375	2232.289
6a	2.118	✓	31.257
6b	2.650	✓	30.725
6c	2.516	✓	30.859
7	1.103	✓	32.272
8	1.100	✓	32.275
8a	1.556	✓	31.819
8b	1.678	✓	31.697
8c	1.495	✓	31.880
9	2.649	✓	30.706
10	2.593	✓	30.782
11	2.480	✓	30.895
12	1.506	✓	31.869
13	1.525	✓	31.850
13a	1.853	✓	31.522
14	1.900	✓	31.475
14a	2.232	✓	31.143
14b	2.910	✓	30.465
14c	2.710	✓	30.665

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la cañada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.



3c	1.577	✓	31.778	7	2.607	✓	30.106
4	1.017	✓	32.358	10	2.573	✓	30.782
4a	1.207	✓	32.168	11	2.480	✓	30.875
4b	1.646	✓	31.789	12	1.506	✓	31.869
4c	1.510	✓	31.865	13	1.325	✓	31.850
5	1.100	✓	32.273	13a	1.853	✓	31.522
5a	1.285	✓	32.090	14	1.900	✓	31.475
5b	1.679	✓	31.701	14a	2.232	✓	31.193
5c	1.530	✓	31.845	14b	2.910	✓	30.465
				14c	2.710	✓	30.665

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la Nivelación II.

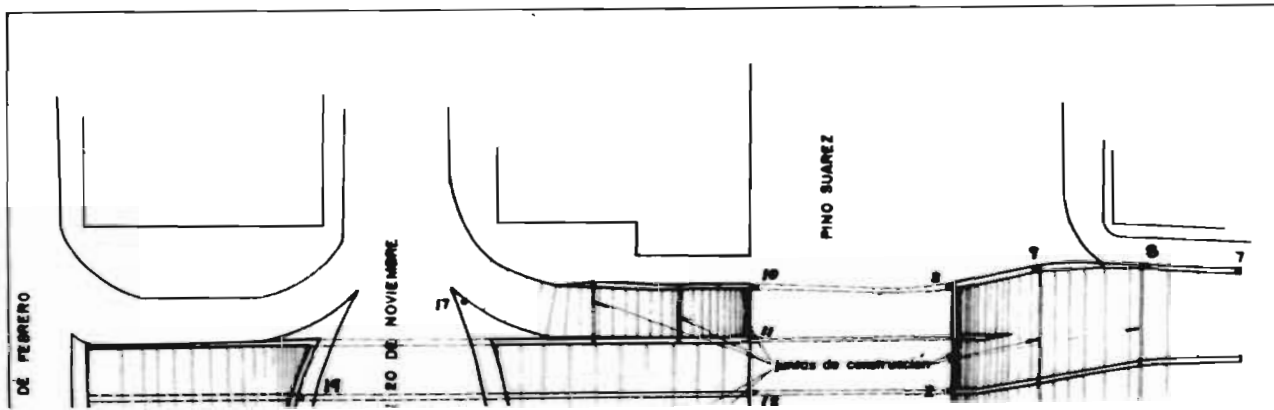


NIVELACION FRAY SERVANDO

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m 50 cm	m 50 cm
33 ⁽¹⁾	1.248	2233.221	2231.973
32 ⁽¹⁾	0.932	2233.221	2232.289
33 ⁽²⁾ (Bgn)	1.492	2233.465	2231.973
33a	1.759	✓	31.706
33b	2.220	✓	31.245
33c	2.107	✓	31.358
2	1.478	✓	31.987
3	1.578	✓	31.887
4	1.125	✓	32.340
4a	1.339	✓	32.126
4b	1.614	✓	31.851
4c	1.491	✓	31.974
5	1.250	✓	32.215
6	2.343	✓	31.122
6a	2.496	✓	30.969
6b	2.620	✓	30.845
6c	2.515	✓	30.950
7	2.335	✓	31.130
7a	2.481	✓	30.984
7b	2.696	✓	30.769
7c	2.542	✓	30.923

PUNTO	LECTURA	ALTURA APARATO	COTA
	m	m 50 cm	m 50 cm
8	1.430	2233.465	2232.035
8a	1.790	✓	31.675
8b	—	✓	—
9	1.338	✓	32.127
10	1.677	✓	31.788
11	1.561	✓	31.904
12	1.557	✓	31.908
13	1.611	✓	31.854
14	1.858	✓	31.607
15	1.755	✓	31.710
16	1.615	✓	31.850
17	1.696	✓	31.769
18	1.390	✓	32.075
19	1.320	✓	32.145
20	2.298	✓	31.167
21	2.412	✓	31.053
21a	2.480	✓	30.985
21b	2.384	✓	31.081
21c	—	✓	—
22	2.280	✓	31.185
23	2.317	✓	31.148

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este para a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la nivelación II.



7	1.120	✓	32.000	16	1.615	✓	31.850
4a	1.339	✓	32.126	17	1.696	✓	31.769
4b	1.414	✓	31.851	18	1.390	✓	32.075
4c	1.491	✓	31.774	19	1.320	✓	32.145
5	1.250	✓	32.215	20	2.298	✓	31.167
6	2.343	✓	31.122	21	2.412	✓	31.053
6a	2.496	✓	30.969	21a	2.480	✓	30.985
6b	2.620	✓	30.845	21b	2.384	✓	31.081
6c	2.515	✓	30.950	21c	—	✓	—
7	2.335	✓	31.130	22	2.280	✓	31.185
7a	2.481	✓	30.984	23	2.317	✓	31.148
7b	2.696	✓	30.769				
7c	2.542	✓	30.923				

(1) Puntos de la nivelación a lo largo de la calzada de Tlalpan, entre los cuales se encuentra este paso a desnivel. Las elevaciones de estos puntos corresponden a la nivelación II.

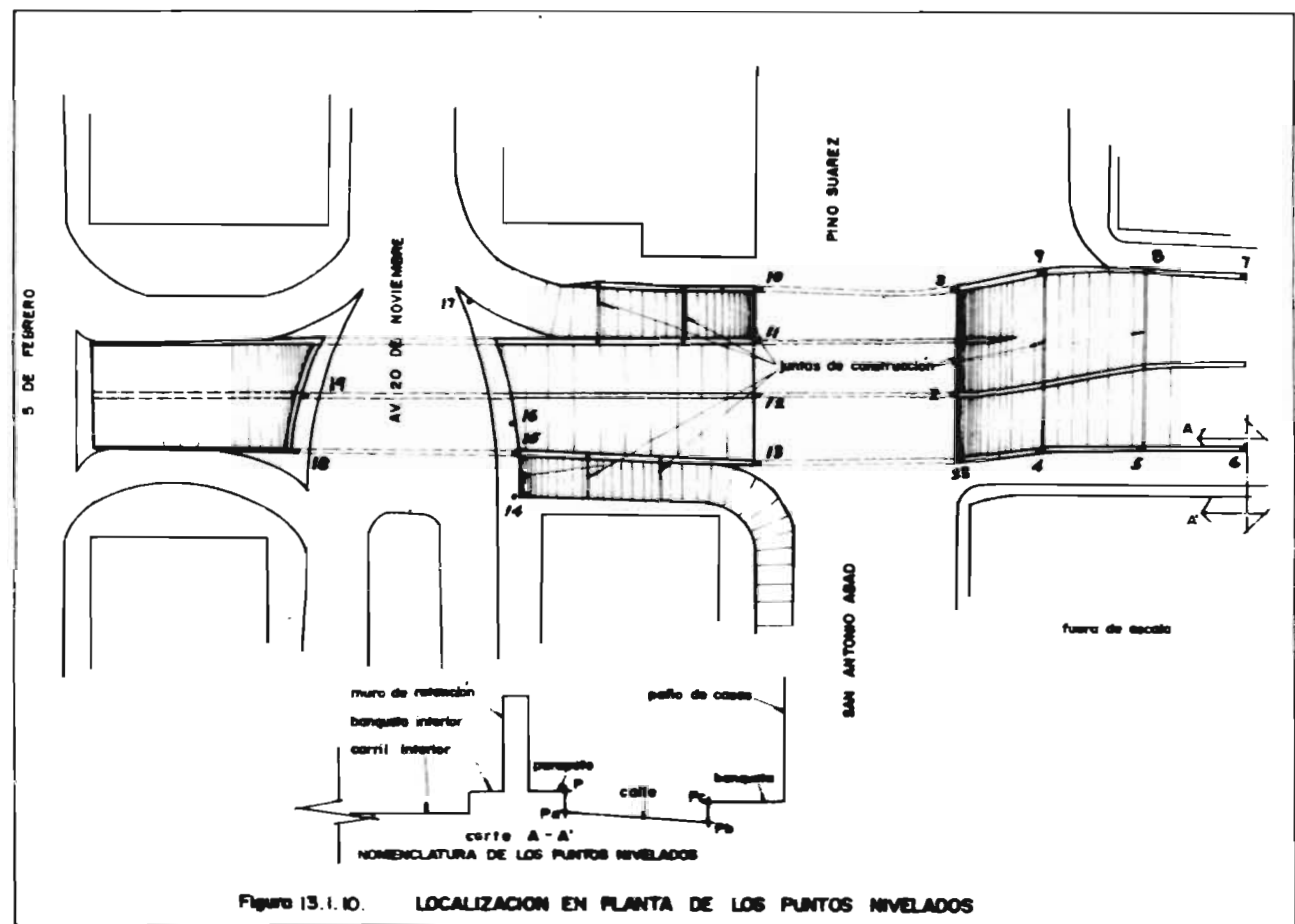
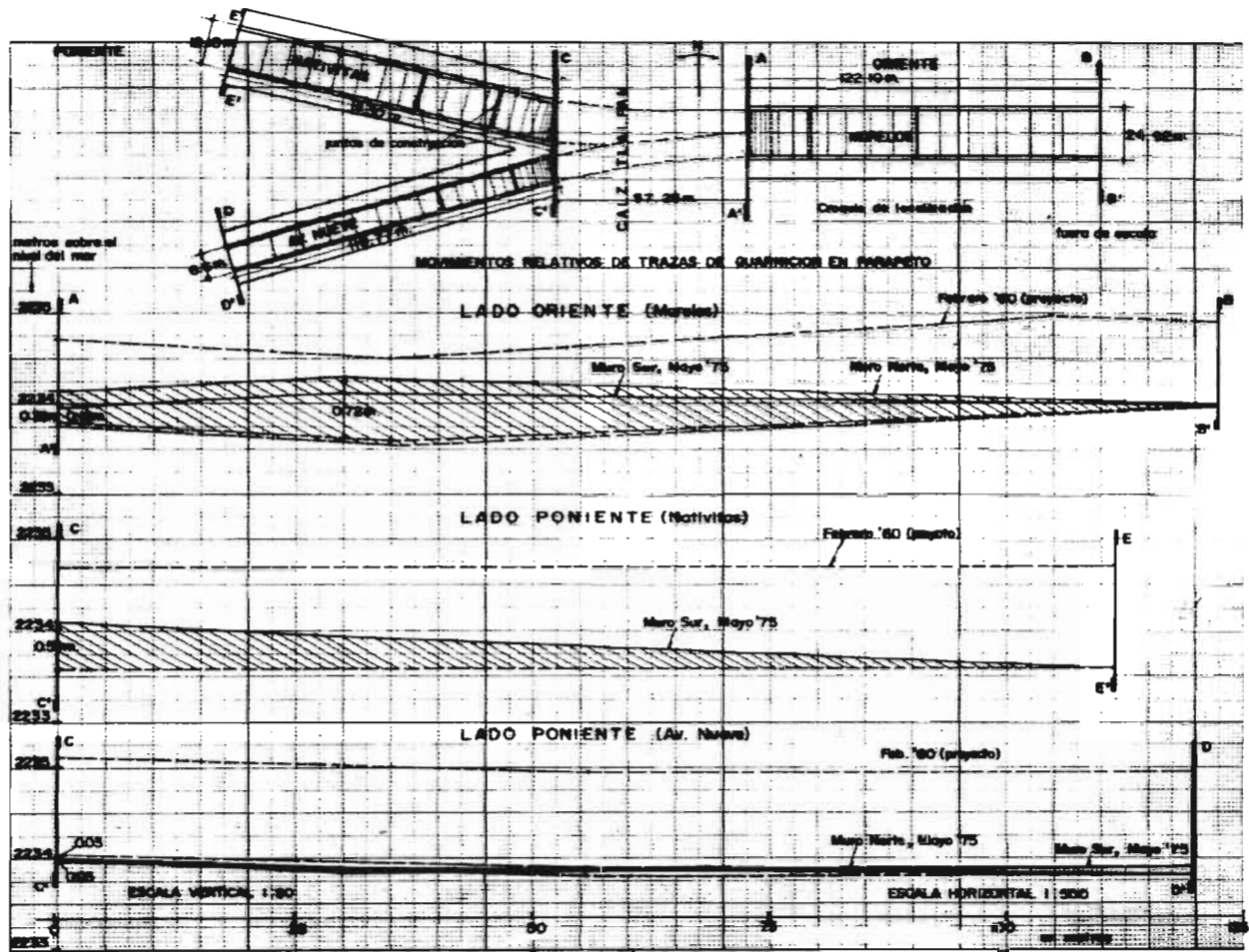


Figura 13.1.10. LOCALIZACION EN PLANTA DE LOS PUNTOS NIVELADOS

14.- ANEXO IV
EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES
MEDIDAS EN CAMPO



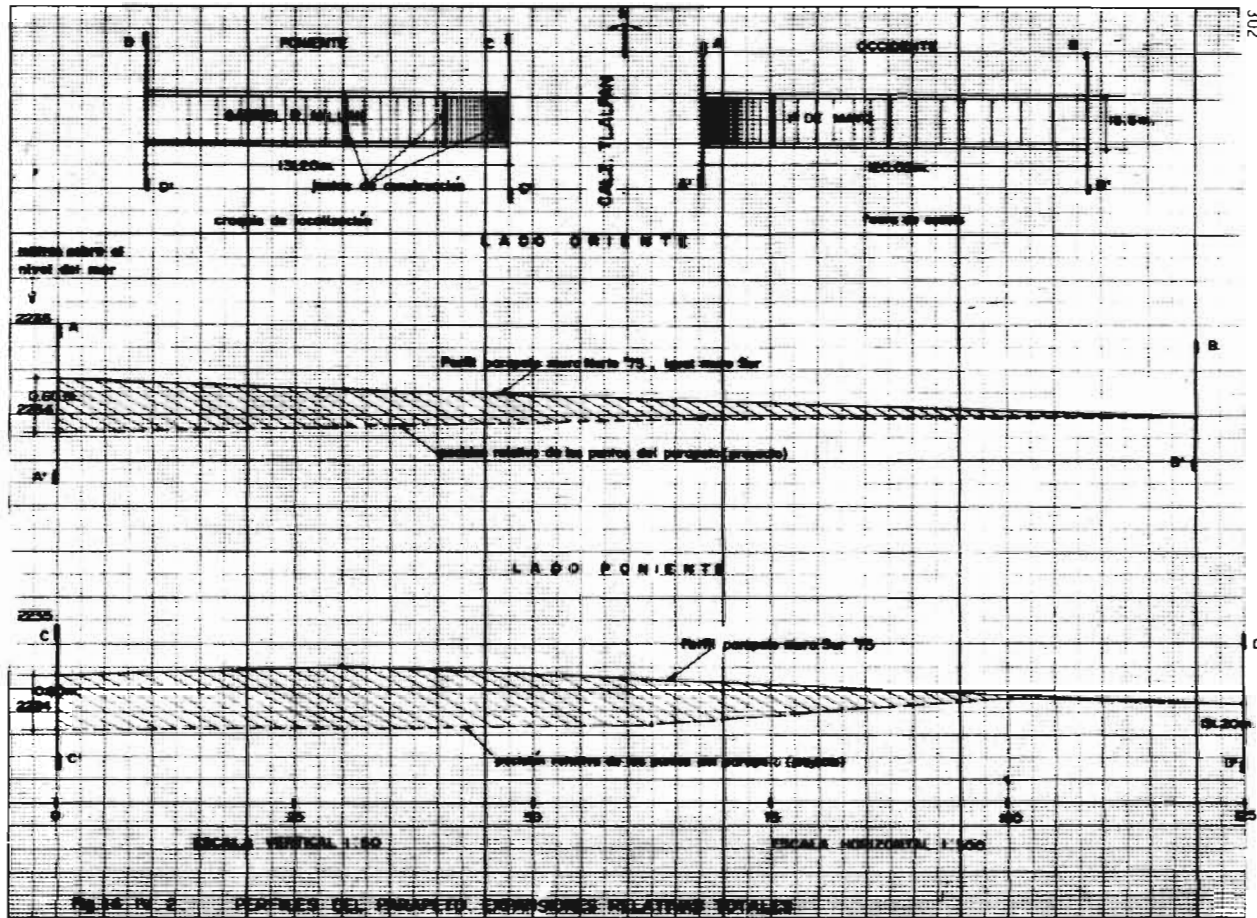
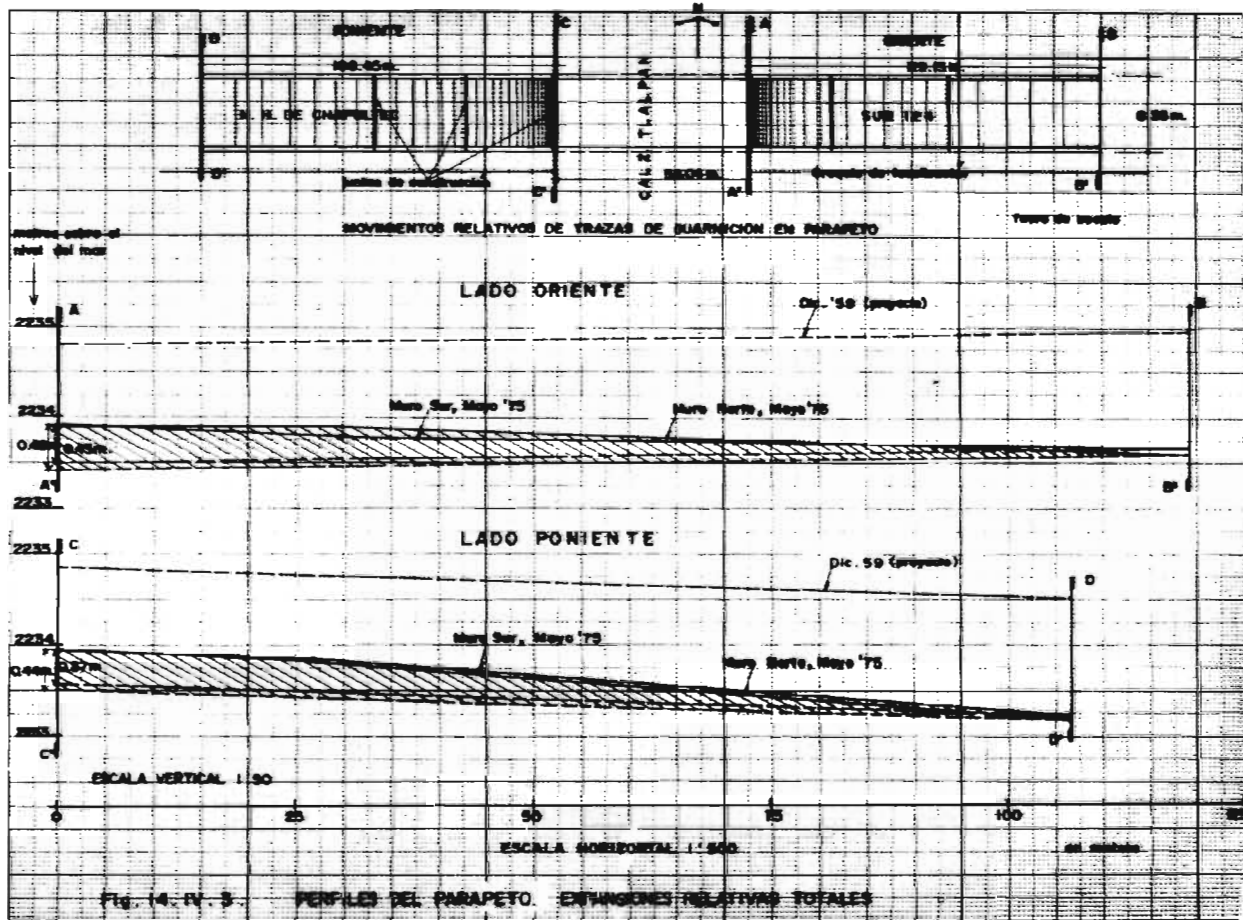
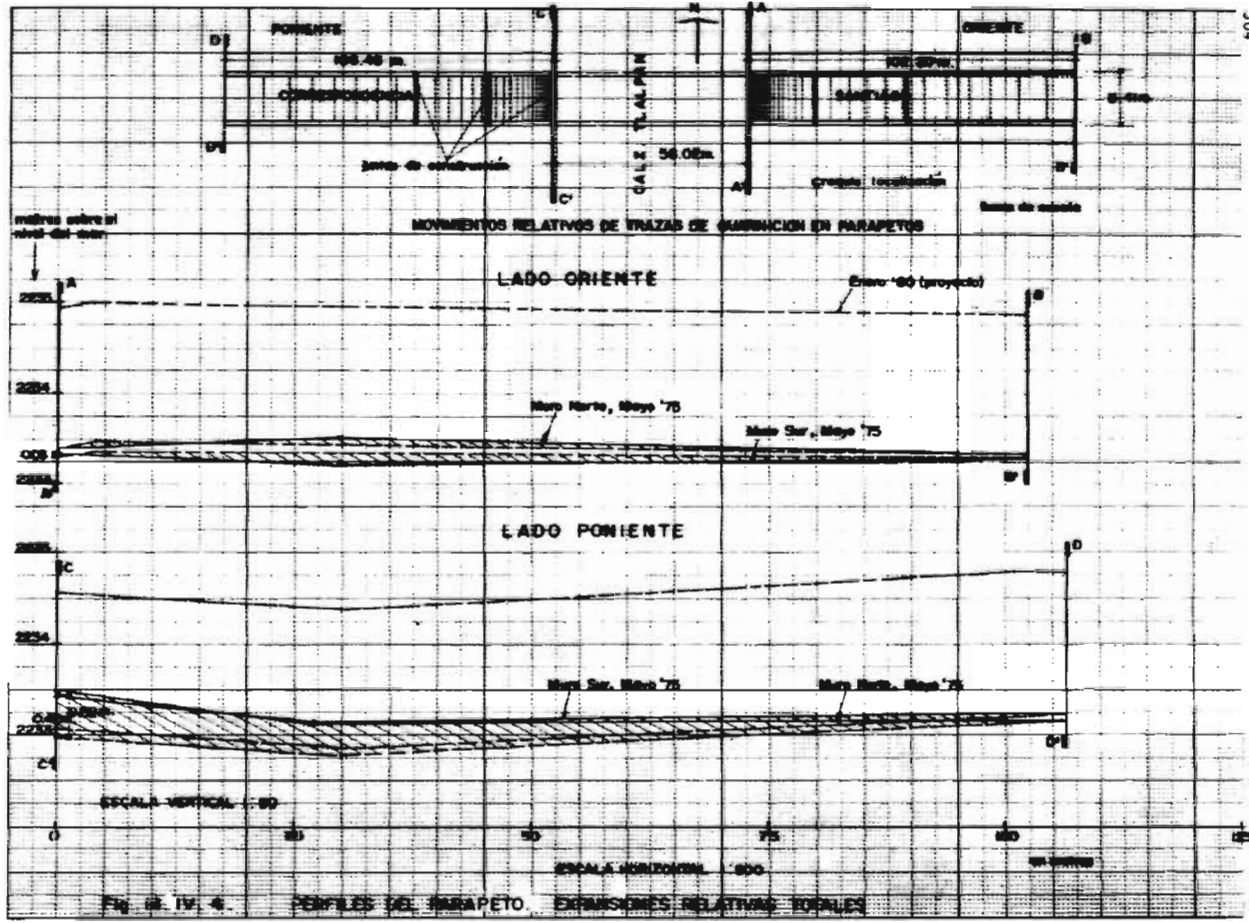
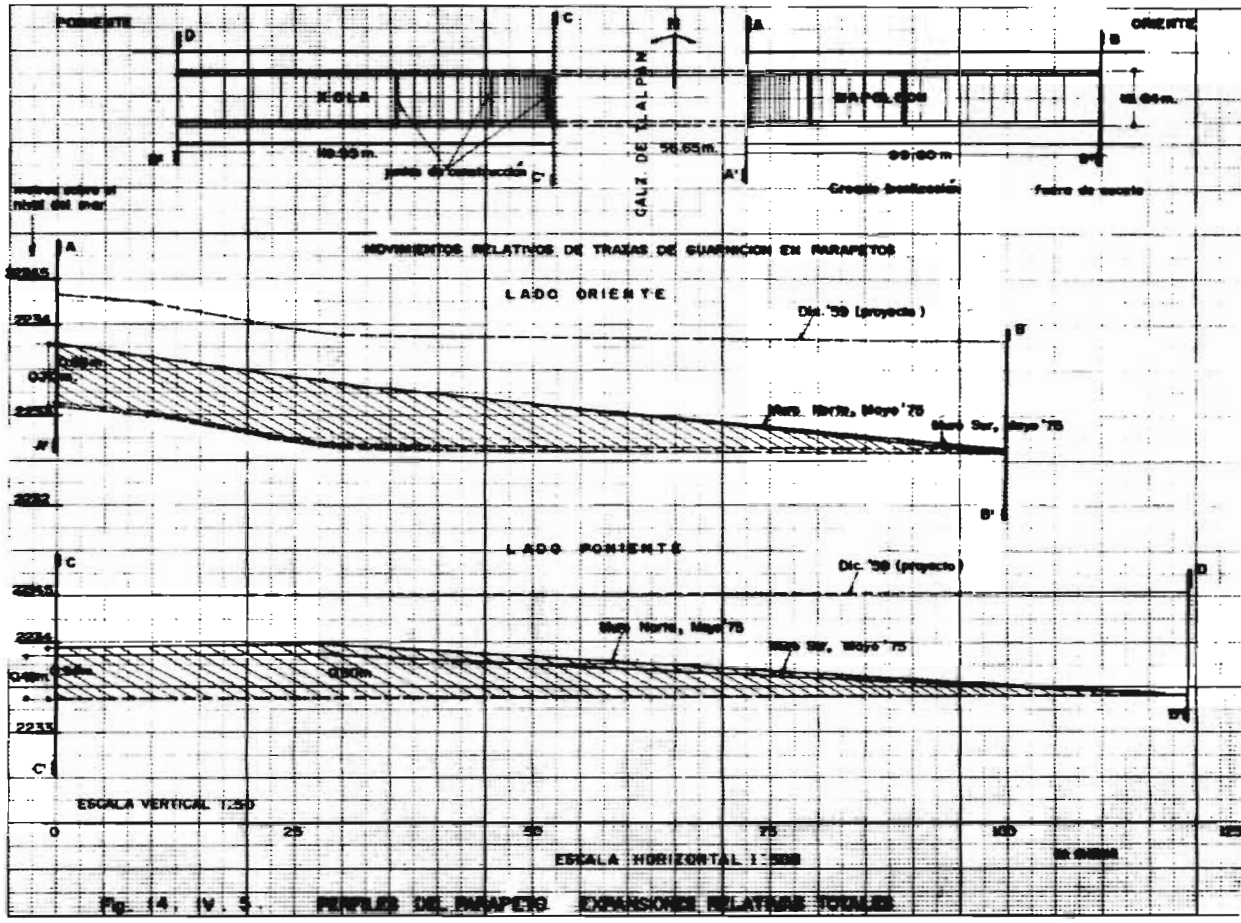
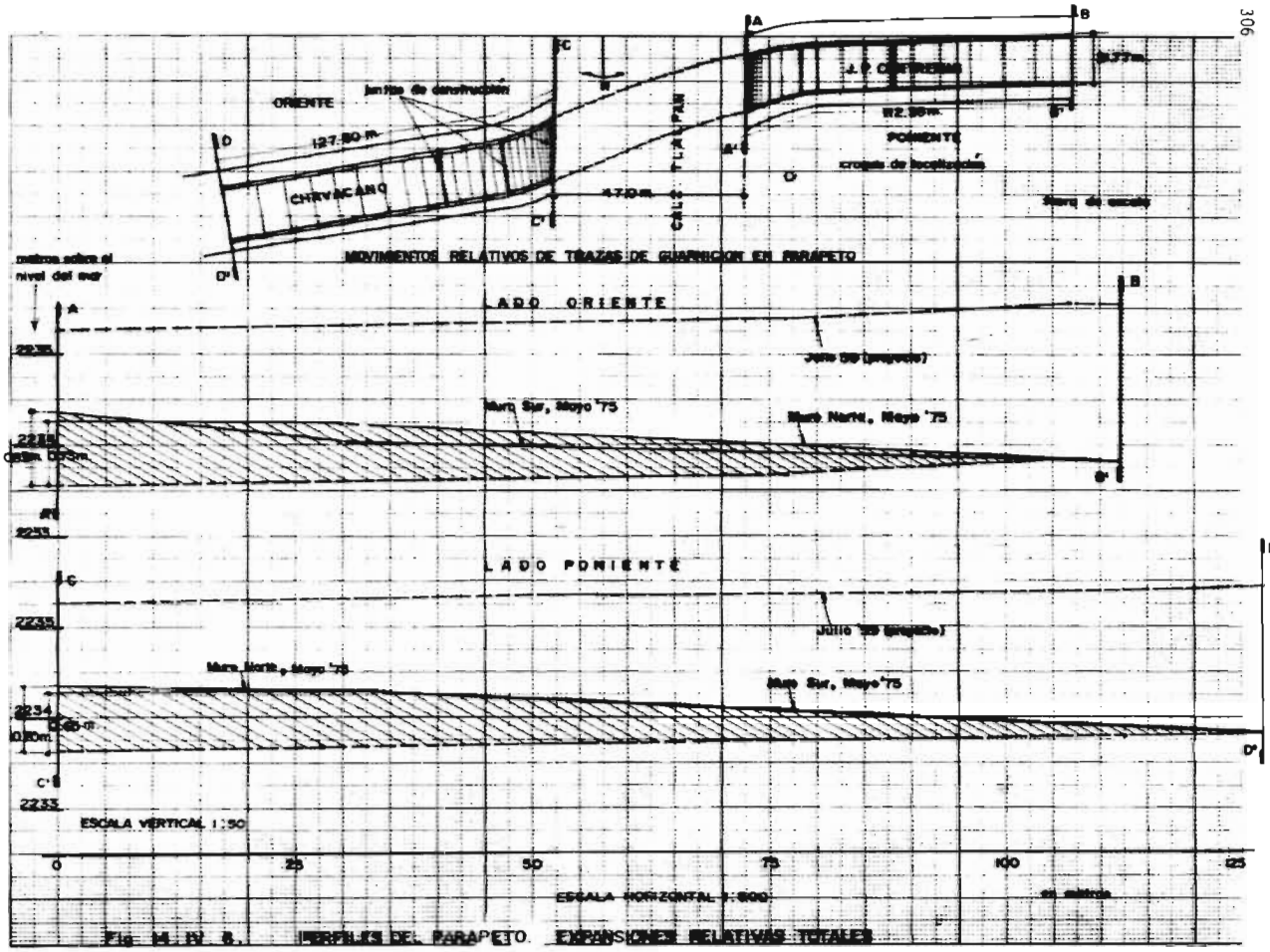


Fig. No. 2. PERFILES DEL PROYECTO EN POSICIONES RELATIVAS TOTALES









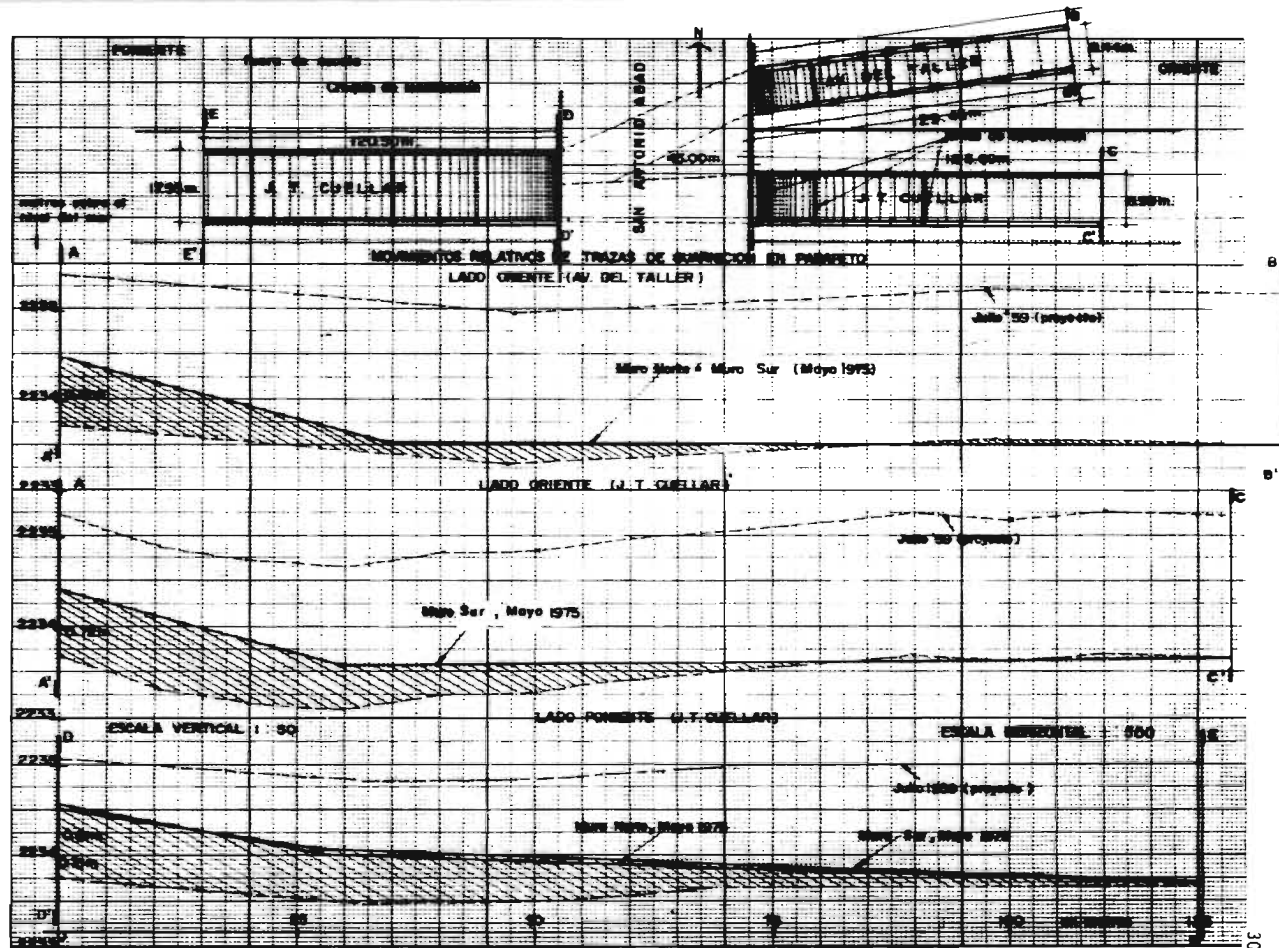
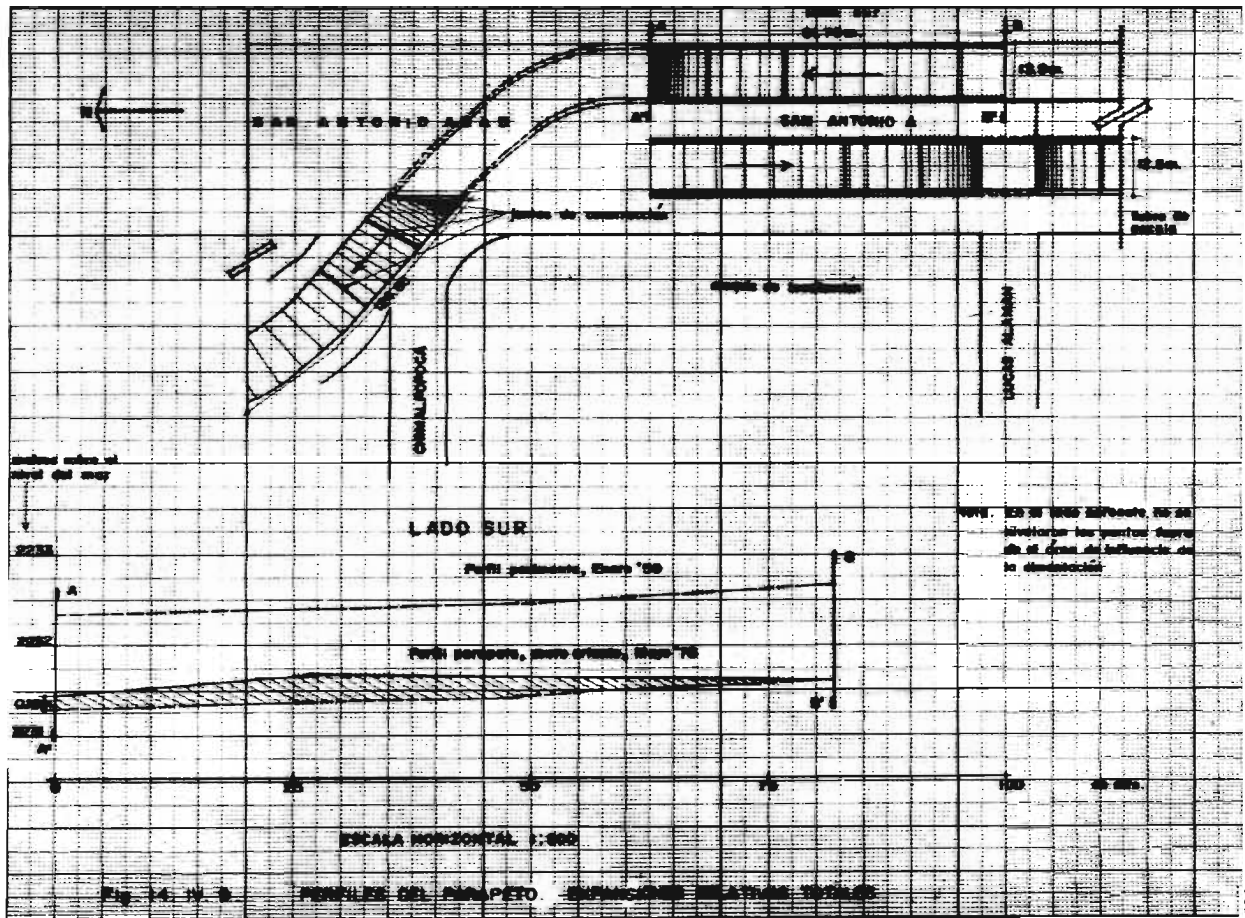
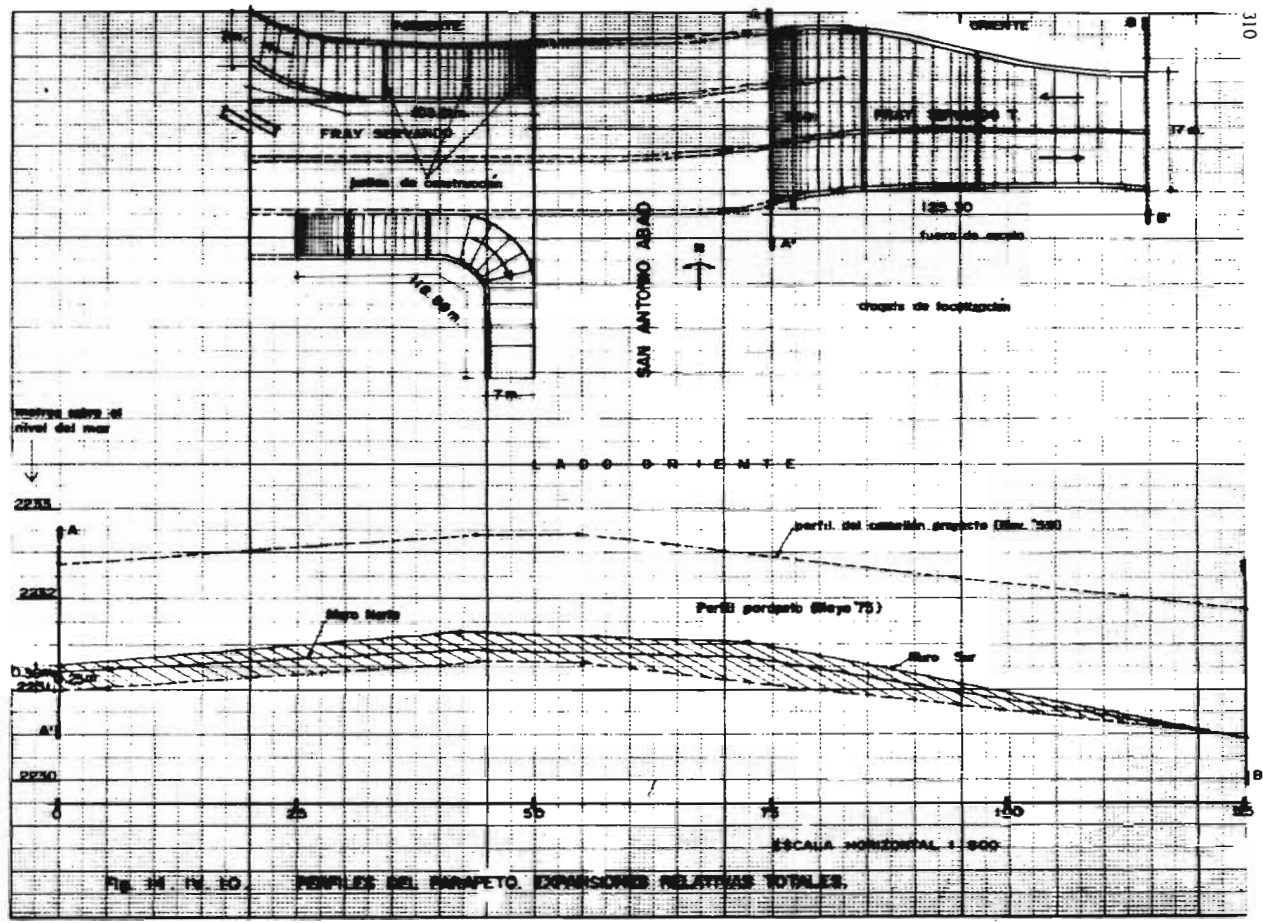


Figura 14. IV. 7. PERFILES DEL PARAPETO. EXPANSIONES RELATIVAS TOTALES.





RELACION DE FIGURAS

FIG. NO.	RELACION DE FIGURAS	313 PAG.
1.1	Representación de elementos de suelo dentro y fuera del área de influencia de la cimentación.	2
1.2	Curva de compresibilidad. Estado de esfuerzos inicial y final (descarga más abatimiento) de los elementos de la Fig. 1.1	2
2.2.1	Localización de pasos a desnivel nivelados.	8
2.3.1	Paso a desnivel. Zonas de túnel y rampa.	9
2.3.2	Secciones transversales de los pasos a desnivel.	10
2.3.3	Detalle de drenes en pasos a desnivel.	11
5.1.1	Registro de estaciones piezométricas P_c - 188 y P_c - 197.	22
5.1.2	Registro de estaciones piezométricas P_c - 66 y P_c - 303.	23
5.1.3	Registro de estaciones piezométricas P_c - 501-1, P_c - 218 y P_c - 247-1.	25
5.1.4	Registro de estaciones piezométricas P_c - 215 y P_c - 74.	29
5.1.5	Registro de estación piezométrica P_c - 235.	30
5.1.6	Traza de la ley de abatimientos.	31
6.4.1	Puntos en la zona del túnel donde se obtuvieron las expansiones y asentamientos.	42
7.4.1	Esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad, por peso propio, por descarga y por abatimiento. Combinación de todos.	49-171-246
8.1.1	Puntos nivelados en la zona del túnel, sobre banqueta.	62
8.3.1	Expansiones relativas totales debidas al abatimiento y diferentes condiciones de sobrecarga - (edificaciones).	71
9.1.1	Expansiones relativas totales de diferentes pasos a desnivel, en el sentido Sur - Norte.	78
10.1	Relación teórica de grados de consolidación - incremento de expansión relativa total por hundimiento regional.	89
11.A.1.1	Sección transversal de la estructura (proyecto) y Calzada de Tlalpan.	113
11.B.1.1	Sección transversal de la estructura (proyecto) y Calzada de Tlalpan.	193

FIG. NO.		PAG.
11.A.1.2	Plano topográfico. Areas de descarga.	115
11.B.1.2	Plano topográfico. Areas de descarga	195
11.A.1.3	Perfiles de los muros de retención. Diferentes espesores de la losa de piso.	119
11.B.1.3	Perfiles de los muros de retención. Diferentes espesores de la losa de piso.	199
11.A.1.4	Muros de retención con losa corrida y con zapatas.	120
11.B.1.4	Sección transversal en zona de muros de retención con losa corrida.	200
11.A.1.5	Sección transversal del cajón y detalle de intrados. Cálculo de cargas.	126
11.B.1.5	Perfil estratigráfico. Representación gráfica de los ensayos.	205
11.A.1.6	Características geométricas del paso para peatones.	129
11.B.1.6	Perfil estratigráfico. Representación gráfica de los ensayos.	206
11.A.1.7	Perfil estratigráfico. Representación gráfica de los ensayos.	131
11.B.1.7	Descargas netas según las diferentes áreas consideradas.	209
11.A.1.8	Descargas netas. Zona de rampa y túnel.	135
11.A.3.1	Variación con respecto a la profundidad de los esfuerzos efectivos por peso propio y por descarga en los diferentes puntos.	141
11.B.3.1	Variación con respecto a la profundidad de los esfuerzos efectivos por peso propio y por descarga en los diferentes puntos.	215
11.A.3.2	Distribución de los abatimientos piezométricos con respecto a la profundidad.	142
11.B.3.2	Distribución de los abatimientos piezométricos con respecto a la profundidad.	216
11.A.3.3	Distribución de esfuerzos efectivos por peso propio e incremento de éstos por abatimiento.	143
11.B.3.3	Distribución de esfuerzos efectivos por peso propio e incremento de éstos por abatimiento.	217
11.A.3.4	Esfuerzos efectivos por peso propio, abatimiento y descarga.	145

FIG. NO.		PAG.
11.B.3.4	Esfuerzos efectivos por peso propio, abatimiento y descarga.	219
11.A.4.1	Curvas de compresibilidad.	147
11.A.4.2	Curvas de compresibilidad.	148
11.A.4.3	Curvas de compresibilidad.	149
11.A.4.4	Curvas de compresibilidad.	150
11.A.4.5	Curvas de compresibilidad.	151
11.A.4.6.	Curvas de compresibilidad.	152
11.A.4.7	Curvas de compresibilidad.	153
11.A.4.8	Curvas de compresibilidad.	154
11.B.4.1	Curvas de compresibilidad.	221
11.B.4.2	Curvas de compresibilidad.	222
11.B.4.3	Curvas de compresibilidad.	223
11.B.4.4	Curvas de compresibilidad.	224
11.B.4.5	Curvas de compresibilidad.	225
11.B.4.6	Curvas de compresibilidad.	226
11.B.4.7	Curvas de compresibilidad.	227
11.B.4.8	Curvas de compresibilidad.	228
11.A.6.1	Tiempos de consolidación. Localización de drenes. Ley de abatimientos.	54-163
11.B.6.1	Tiempos de consolidación en 1a. y 2a. formación arcillosa. Ley de abatimiento.	238
11.A.6.2	Contribuciones teóricas en el hundimiento regional de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	56-166
11.B.6.2	Contribuciones teóricas en el hundimiento regional de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	241
11.A.6.3	Porcentaje de consolidación alcanzado (1a. más 2a. formación arcillosa) con respecto al tiempo.	59-168
11.B.6.3	Porcentaje de consolidación alcanzado (1a. más 2a. formación arcillosa) con respecto al tiempo.	244
11.A.9.1	Variación de la expansión relativa total y sus componentes ($\Delta\delta_a$ y $\Delta\delta_e$) con respecto al tiempo y al grado de consolidación.	94-177

FIG. NO.		PAG.
11.A.9.2	Variación de la expansión relativa total y sus componentes ($\Delta\delta_a$ y $\Delta\delta_e$) con respecto al -- tiempo y al grado de consolidación.	95-178
11.A.10.1	Relación: porcentaje de expansión relativa total alcanzada, tiempo - grado de consolidación.	99-181
12.1.1	Relación de vacíos inicial vs contenido natural de agua (línea de regresión).	262
12.2.1	Índice de compresibilidad en la recompresión - descarga vs contenido natural de agua (línea - de regresión).	264
12.3.1	Índice de compresibilidad en la rama virgen vs contenido natural de agua (línea de regresión).	265
13.1.1	Localización en planta de los puntos nivelados. Morelos - Nativitas - Av. Nueve.	279
13.1.2	" 1º de Mayo - Gabriel Ramos Millán.	281
13.1.3	" N. H. de Chapultepec - Sur 124.	283
13.1.4	" Correspondencia - Santiago.	285
13.1.5	" Xola - Napoleón.	287
13.1.6	" Chavacano - J. Peón Contreras.	289
13.1.7	" J. T. Cuellar - Av. del Taller.	291
13.1.8	" Lorenzo Boturini.	293
13.1.9	" Chimalpopoca.	295
13.1.10	" Fray Servando Teresa de Mier.	297
14.IV.1	Perfiles de parapeto. Expansiones relativas <u>to</u> tales. Morelos - Nativitas - Av. Nueve.	301
14.IV.2	" 1º de Mayo - Gabriel Ramos Millán.	302
14.IV.3	" N. H. de Chapultepec - Sur 124.	303
14.IV.4	" Correspondencia - Santiago.	304
14.IV.5	" Xola - Napoleón.	305
14.IV.6	" Chavacano - J. Peón Contreras.	306
14.IV.7	" J. T. Cuellar - Av. del Taller.	307
14.IV.8	" Lorenzo Boturini.	308
14.IV.9	" Chimalpopoca.	309
14.IV.10	" Fray Servando Teresa de Mier.	310

TAB. NO.	RELACION DE TABLAS	317 PAG.
2.3.1	Características de los muros de retención.	12
5.1.1	Pérdida de carga por abatimiento en los pasos - a - 33 y - 50 m. de profundidad.	26
5.1.2	Velocidad de hundimiento en los pasos a desnivel.	27
5.2.1	Contribución en el hundimiento regional de la 1a. y 2a. formación arcillosa.	34-236
5.3.1	Evolución del nivel freático con respecto al -- tiempo.	36
8.2.1	Expansiones relativas totales obtenidas aplicando la teoría.	65
8.3.1	Comparación de resultados obtenidos de la teoría y la nivelación.	67
9.2.1	Expansiones relativas totales $\delta_{e_{rt}}$ y locales $\delta_{e_{in}}$.	79
9.3.1	Aproximaciones de los grados de consolidación -- teóricos con respecto a los obtenidos en campo.	82
9.3.2	Aproximaciones en las expansiones y en los grados de consolidación (datos representativos).	82
10.1.1	Aproximaciones de las expansiones relativas totales y grados de consolidación.	90
11.A.1.1	Mediciones en campo de la geometría de la estructura.	117
11.B.1.1	Mediciones en campo de la geometría de la estructura.	197
11.A.1.2	Dimensiones de los muros y losa, para las diferentes áreas de carga.	121
11.B.1.2	Dimensiones de los muros y losa, para las diferentes áreas de carga.	201
11.A.2.1	Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad, en los diferentes puntos (zona del túnel).	139
11.B.2.1	Esfuerzos de descarga con respecto a la profundidad, en los diferentes puntos (zona del túnel).	212
11.A.4.1	Parámetros que se emplearon para la construcción de las curvas de compresibilidad.	144
11.B.4.1	Parámetros que se emplearon para la construcción de las curvas de compresibilidad.	229
11.A.4.2.1	Obtención de las expansiones y asentamientos.	157-159
11.B.4.2.1	Obtención de las expansiones y asentamientos.	231-233

318

TAB. NO.		PAG.
11.A.9.1	Contribución de $\Delta\delta e$ y $\Delta\delta a$ en la expansión relativa total (δe_{rt}).	179
11.A.10.1	Porcentaje de la expansión relativa total - (δe_{rt}) con respecto al grado de consolidación.	182
11.A.11.1	Aproximaciones en la expansión relativa total para los diferentes grados de consolidación (preconsolidación) en la 2a. formación arcillosa.	85-187

REFERENCIAS

REFERENCIA
No.

- 1 El Subsuelo de la Ciudad de México. Raúl J. Marsal y ----
Marcos Mazari. Segunda Edición, 1969.
- 2 Boletfn No. 1 de Mecánica de Suelos (hasta 1953). Comi---
sión de Aguas del Valle de México. (C. A. V. M).
- 3 Boletfn No. 2 de M. de S. (1953-1956). C. A. V. M.
- 4 Boletfn No. 3 de M. de S. (1956-1959). C. A. V. M.
- 5 Boletfn No. 4 de M. de S. (1959-1963). C. A. V. M.
- 6 Boletfn No. 5 de M. de S. (1963-1966). C. A. V. M.
- 7 Boletfn No. 6 de M. de S. (1966-1970). C. A. V. M.
- 8 Boletfn No. 7 de M. de S. (1970-1973). C. A. V. M.
- 9 Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions.
Leonardo Zeevaert. 1973, Van Nostrand Reinhold Company.
- 10 Soil Testing for Engineers. T. William Lambe. 1951, John
Wiley & Sons, Inc.
- 11 V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos; 1970.
- 12 Mecánica de Suelos, Tomo I.E. Juárez Badillo y A. Rico R.
1969, Segunda Edición.
- 13 Introduction to Statistical Analysis.
Dixon & Massey. Second Edition, 1957.
Mc Graw - Hill Book Company, Inc.