

92

2 Gen.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS FINOS BAJO DEFORMACION NO LINEAL

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

JOSE ARTURO LEON GUTIERREZ



México, D. F.

Junio 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

CAPITULO I	RESUMEN	1
CAPITULO II	INTRODUCCION	2
CAPITULO III	PLANTEAMIENTO TEORICO	3
CAPITULO IV	DEMOSTRACION NUMERICA	9
CAPITULO V	EJEMPLO COMPARATIVO	51
CAPITULO VI	CONCLUSIONES	74
CAPITULO VII	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA.....	75

CAPITULO I

RESUMEN

En este trabajo se presenta la demostración numérica de la ecuación:

$$m_v = \frac{\gamma}{\sigma}$$

Relación constitutiva para los suelos finos sometidos al proceso de consolidación unidimensional, que forma parte de la teoría no lineal esfuerzo-deformación desarrollada por el Dr. Eulalio Juárez Badillo y que fuera presentada con el nombre: "Relaciones Constitutivas para los Suelos", en el Symposium on Recent Developments in the Analysis of Soil Behaviour and their Application to Geotechnical Structures, in the University of New South Wales Kensington, N.S.W., Australia en julio de 1975.

CAPITULO II

INTRODUCCION

El objeto de la prueba de consolidación unidimensional (Terzaghi, 1925) es determinar el decremento de volumen y la velocidad con que éste se produce, en un espécimen de suelo confinado lateralmente y sujeto a presión vertical; por cada incremento de presión aplicado, se miden los cambios volumétricos usando intervalos apropiados para hacer las mediciones. Los datos registrados conducen a la obtención de las curvas de consolidación, (lectura micro metro-tiempo), las que proporcionan los datos de partida para el trazo de las curvas de compresibilidad, en que se dibuja la presión vertical (σ) como abscisas en escala logarítmica y el cambio de volumen de vacíos (e) como ordenadas en escala natural.

Recientemente, el Dr. Eulalio Juárez Badillo ha postulado en su teoría de deformación no lineal de los suelos, que el módulo de deformación volumétrica (m_v) y la presión vertical (σ) son proporcionales a la constante γ , pendiente de la curva de compresibilidad en que se dibuja la presión vertical (σ) como abscisas y el cambio de volumen de muestra ($1+e$) como ordenadas, ambas en escala logarítmica (no es relevante ni afecta la forma básica de la curva el que se grafique como ordenadas al volumen de muestra en vez del volumen de vacíos).

Por lo anterior, previamente a la demostración de la ecuación $m_v = \frac{\gamma}{\sigma}$, será necesario demostrar que γ es constante (independiente del nivel de presiones).

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO TEORICO

La ecuación de estado para un gas ideal a temperatura constante, está dada por la relación:

$$V \cdot \sigma = \text{CTTE} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 1$$

(Ley de Boyle)

V: Volumen del gas

σ : Presión isotrónica

La diferencial total de la ecuación 1 es:

$$V \cdot d\sigma + \sigma \cdot dV = 0 \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 2$$

Agrupando términos comunes:

$$\frac{dV}{V} = - \frac{d\sigma}{\sigma} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 3$$

Ahora, se postula la siguiente ley, supuesta válida para los suelos finos arcillosos:

$$\frac{dV}{V} = - \gamma \frac{d\sigma}{\sigma} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 4$$

γ : Coeficiente de compresibilidad, supuesto constante.

Si $\gamma = 1$, se tiene la ecuación de estado del gas ideal; si $\gamma = 0$, se tiene un medio líquido para el que se supone compresibilidad constante. Por lo tanto, para los suelos es de esperarse que $0 < \gamma < 1$.

Integrando la ecuación 4 desde una presión σ_1 cualquiera hasta una de valor σ_2 .

$$\int_{V_{M1}}^{V_{M2}} \frac{dV}{V} = -\gamma \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \frac{d\sigma}{\sigma} \quad \text{-----} \quad 5$$

σ_1 : Presión inicial a que se somete a la muestra. Tiene asociado al volumen total de muestra V_{M1} y al volumen de vacíos e_1 .

σ_2 : Presión a que se somete a la muestra, tal que $\sigma_2 > \sigma_1$. Tiene asociado al volumen total de muestra V_{M2} y al volumen de vacíos e_2 .

$$\text{Ln} \left[\frac{V_{M2}}{V_{M1}} \right] = -\gamma \text{Ln} \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right] \quad \text{-----} \quad 6$$

Despejando el valor de γ :

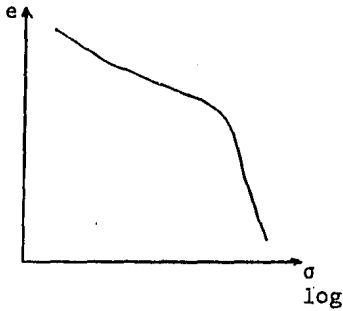
$$\gamma = - \frac{\text{Ln} \left[\frac{V_{M2}}{V_{M1}} \right]}{\text{Ln} \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]} \quad \text{-----} \quad 7$$

En un suelo, el volumen total V_M es directamente proporcional a $1 + e$, de ahí que no se afecte la forma de la curva de compresibilidad al usar como ordenadas al volumen de muestra, $1+e$ en vez del volumen de vacíos e .

Se demuestra numéricamente que al graficar en escala doble-logarítmica a la curva de compresibilidad, teniendo como abcisas a la presión normal σ y como ordenadas al volumen de muestra $1+e$, los tramos de recompresión y virgen(*) adoptan la forma de líneas rectas (figura 1).

(*) Se omite en este trabajo de tesis al tramo de descarga.

Curva típica de
Compresibilidad



Curva de Compresibilidad
modificada

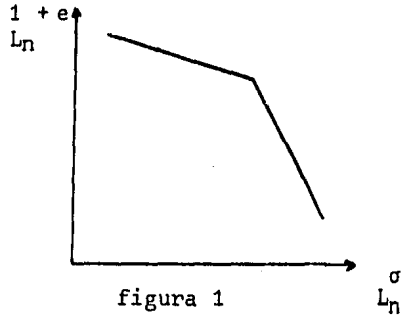


figura 1

Sea la figura siguiente:

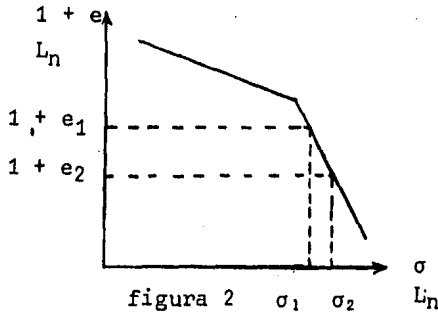


figura 2

La pendiente de cualquier tramo de la curva de compresibilidad modificada está dada por:

$$m = - \frac{\frac{1+e_2}{L_n}}{\frac{\sigma_2}{L_n}} \quad \frac{1+e_1}{L_n} \quad \frac{\sigma_1}{L_n} \quad 8$$

durante la realización de la prueba de consolidación unidimensional

nal, en el momento en que $\sigma = \sigma_1$, esquemáticamente se cumple lo siguiente:

σ_1

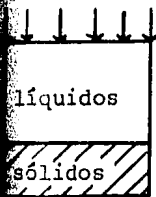


figura 3

Teóricamente, durante la realización de la prueba $Gw\% = 100$

V_v : Volumen de vacíos

V_s : Volumen de sólidos

Haciendo: $V_s = 1$ _____ 9

por definición de la relación de vacíos:

$$V_{v1} = e_1 \quad \text{_____} \quad 10$$

El volumen de muestra se obtiene sumando las ecuaciones 9 y 10.

$$V_{M1} = 1 + e_1 \quad \text{_____} \quad 11$$

Al incrementarse σ hasta σ_2 :

$$V_{v2} = e_2 \quad \text{_____} \quad 12$$

El nuevo volumen de muestra se obtiene sumando las ecuaciones 9 y 12.

$$V_{M2} = 1 + e_2 \quad \text{_____} \quad 13$$

Sustituyendo las ecuaciones 11 y 13 en la ecuación 8:

$$m = \frac{\text{Ln} \left[\frac{V_{M2}}{V_{M1}} \right]}{\text{Ln} \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]} \quad \text{_____} \quad 14$$

Igualando las ecuaciones 7 y 14:

$$\gamma = m \text{ _____} \quad 15$$

. para el tramo de recompresión: $\gamma = \gamma_r$

. para el tramo vírgen $\gamma = \gamma_v$

Físicamente, el coeficiente de compresibilidad γ representa la pendiente de cualesquiera de los tramos de la curva de compresibilidad modificada.

Sea el módulo de variación volumétrica, dado por la relación:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_1} \text{ _____} \quad 16$$

a_v : Coeficiente de compresibilidad tradicional. Físicamente representa la pendiente de la curva de compresibilidad en escala aritmética. Esta dado por la relación:

$$a_v = - \frac{de}{d\bar{\sigma}} \text{ _____} \quad 17$$

$d\bar{\sigma}$ Presión efectiva:

de: decremento del volumen de vacíos al pasar σ de σ_1 a σ_2 . Otra manera de representarle es la siguiente:

$$de = dV \text{ _____} \quad 18$$

Sustituyendo la ecuación 18 en la ecuación 17:

$$a_v = - \frac{dV}{d\bar{\sigma}} \text{ _____} \quad 19$$

Sustituyendo las ecuaciones 11 y 19 en la ecuación 16.

$$m_V = - \frac{dV/d\bar{\sigma}}{V_{M1}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 20$$

Reagrupando:

$$m_V = - \frac{dV/V_{M1}}{d\bar{\sigma}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 21$$

Multiplicando a la ecuación 4 por la razón $1/d\bar{\sigma}$:

$$\frac{dV/V}{d\sigma} = - \frac{\gamma}{\sigma} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 22$$

En estas condiciones, se cumple lo siguiente:

$$V = V_{M1} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 23$$

$$d\sigma = d\bar{\sigma}$$

Igualando las ecuaciones 21 y 22,

$$m_V = \frac{\gamma}{\sigma} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 24$$

CAPITULO IV

DEMOSTRACION NUMERICA

La metodología que se presenta a continuación, se aplica por separado a los tramos de recompresión y virgen.

A partir de la curva típica de compresibilidad se obtiene la curva de compresibilidad modificada.

Se correlacionan línealmente los puntos de cada tramo de la curva de compresibilidad modificada, para obtener el valor estadístico de γ .

Sean las ecuaciones de mínimos cuadrados:

$$b = \frac{\Sigma x y - \frac{1}{n} [\Sigma x \Sigma y]}{\Sigma x^2 - \frac{1}{n} [\Sigma x]^2} \quad \text{25}$$

$$a = \frac{1}{n} [\Sigma y - b \Sigma x] \quad \text{26}$$

$$r = \pm \left[\frac{\Sigma x y - \frac{1}{n} [\Sigma x \Sigma y]^2}{[\Sigma x^2 - \frac{1}{n} [\Sigma x]^2] [\Sigma y^2 - \frac{1}{n} [\Sigma y]^2]} \right]^{1/2} \quad \text{27}$$

En la aplicación de las ecuaciones 25, 26 y 27:

$$x = \text{Ln } \bar{\sigma} \quad \text{28}$$

$$y = \text{Ln} (1 + e) \quad \text{29}$$

que:

$$\text{Ln} (1+e) = a_L + b_L \text{Ln } \bar{\sigma} \quad \text{30}$$

a_L : Coeficiente de la regresión lineal

- . para el tramo de recompresión: $a_L = a_{Lr}$
- . para el tramo virgen : $a_L = a_{Lv}$

Sustituyendo la ecuación 15 en la ecuación 30:

$$\text{Ln}(1+e) = a_L + \gamma \text{Ln} \bar{\sigma} \quad \text{-----} \quad 31$$

Es condición necesaria para demostrar que en la curva de compresibilidad modificada, los tramos de recompresión y virgen se vuelven rectos, el que:

$$r_L \longrightarrow - 1.0 \quad \text{-----} \quad 32$$

r_L : Coeficiente de correlación de la regresión lineal.

- . para el tramo de recompresión: $r_L = r_{Lr}$
- . para el tramo virgen : $r_L = r_{Lv}$

Cumplíndose que si $r_L = -1.0$, se demuestre numéricamente que el coeficiente de compresibilidad γ es constante.

3. Se obtiene la magnitud de la presión de preconsolidación

Sea la figura siguiente:

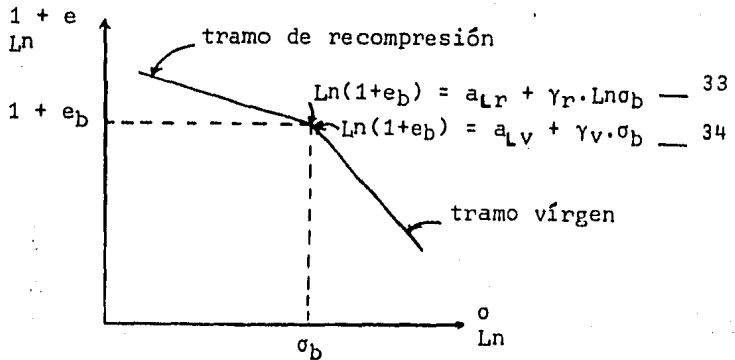


figura 4

σ_b : presión de preconsolidación.

e_b : volumen de vacíos asociado a la presión de preconsolidación.

Igualando las ecuaciones 33 y 34:

$$\sigma_b = e_n \left[\frac{a_{Lv} - a_{Lr}}{\gamma_r - \gamma_v} \right] \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 35$$

e_n : Base de los logaritmos Neperianos.

4. Se construye la curva de deformación volumétrica unitaria-presión vertical.

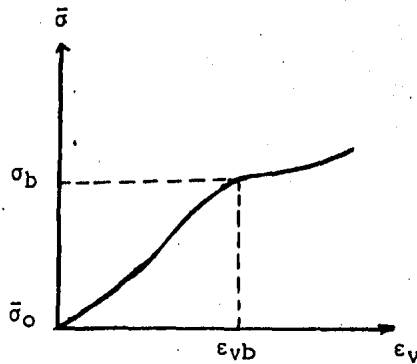


figura 5

ϵ_v : Deformación volumétrica unitaria.

ϵ_{vb} : Deformación volumétrica unitaria asociada a la presión de preconsolidación.

$\bar{\sigma}_0$: Presión efectiva inicial.

Sea la prueba de consolidación unidimensional, en el momento en que $\bar{\sigma} = \sigma_1$.

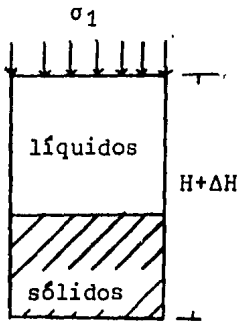


figura 6

$$V_{M1} = H + \Delta H \quad \text{_____} \quad 36$$

Al incrementarse $\bar{\sigma}$ hasta σ_2 , la altura de la muestra decrece en un ΔH , tal que:

$$V_{M2} = H \quad \text{_____} \quad 37$$

Sustituyendo las ecuaciones 36 y 37 en la ecuación 7:

$$\gamma = - \frac{\text{Ln} \left[\frac{H}{H + \Delta H} \right]}{\text{Ln} \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]} \quad \text{_____} \quad 38$$

Desarrollando:

$$\frac{\Delta H}{H} = \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]^\gamma - 1 \quad \text{_____} \quad 39$$

Se sabe que la deformación volumétrica unitaria está dada por la relación:

$$\epsilon_v = \frac{\Delta H}{H} \quad \text{_____} \quad 40$$

Sustituyendo la ecuación 40 en la ecuación 39:

$$\epsilon_v = \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]^\gamma - 1 \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 41$$

Para el tramo de recompresión:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \bar{\sigma}_0 \\ \bar{\sigma}_0 &\leq \sigma_2 \leq \sigma_b \\ \gamma &= \gamma_r \end{aligned} \right\} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 42$$

Para el tramo vírgen:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_b \\ \sigma_b &\leq \sigma_2 \\ \gamma &= \gamma_v \end{aligned} \right\} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 43$$

5. Se correlaciona exponencialmente a los puntos de la curva de formación volumétrica unitaria-esfuerzo normal.

Sean:

$$x = \epsilon_v \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 44$$

$$y = \text{Ln } \bar{\sigma} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 45$$

Sustituyendo las ecuaciones 44 y 45 en las ecuaciones 25 y 26 se obtienen los coeficientes b_e y a , tal que:

$$a_e = e_n^a \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 46$$

Para el tramo de recompresión: $a_e = a_{er}$

$$b_e = b_{er}$$

Para el tramo vírgen: $a_e = a_{ev}$
 $b_e = b_{ev}$

La ecuación resultante es del tipo:

$$\bar{\sigma} = a_e \cdot e_n^{b_e \epsilon_v} \quad \text{_____} \quad 47$$

Para comprobar la calidad del ajuste, al sustituir los valores de las ecuaciones 44 y 45 en la ecuación 27 se debe cumplir que:

$$r_e \rightarrow 1.0 \quad \text{_____} \quad 48$$

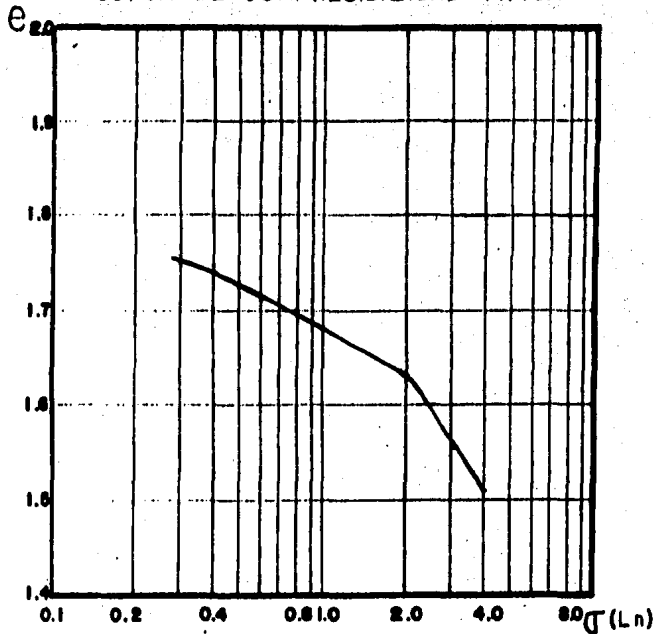
r_e : coeficiente de correlación de la regresión exponencial.

. para el tramo de recompresión: $r_e = r_{er}$

. para el tramo vírgen. $r_e = r_{ev}$

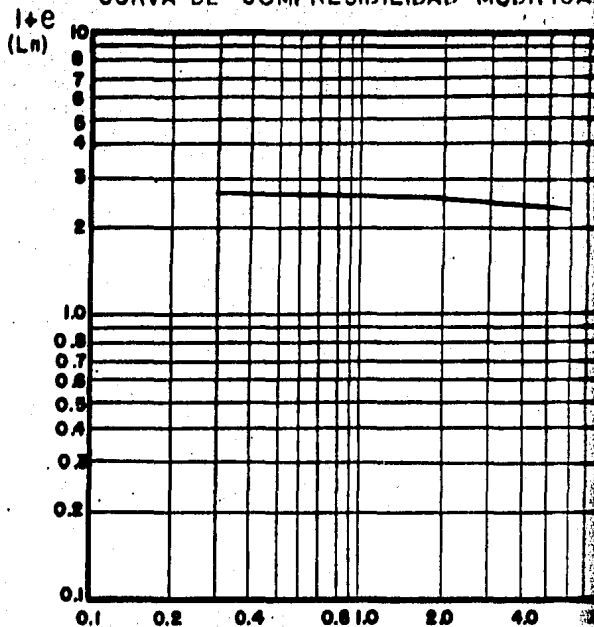
Para la demostración numérica de la ecuación 24, se escogió arbitrariamente una muestra de 25 suelos de diferentes localidades ($n = 25$). Los cálculos se pueden apreciar en las tablas siguientes.

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

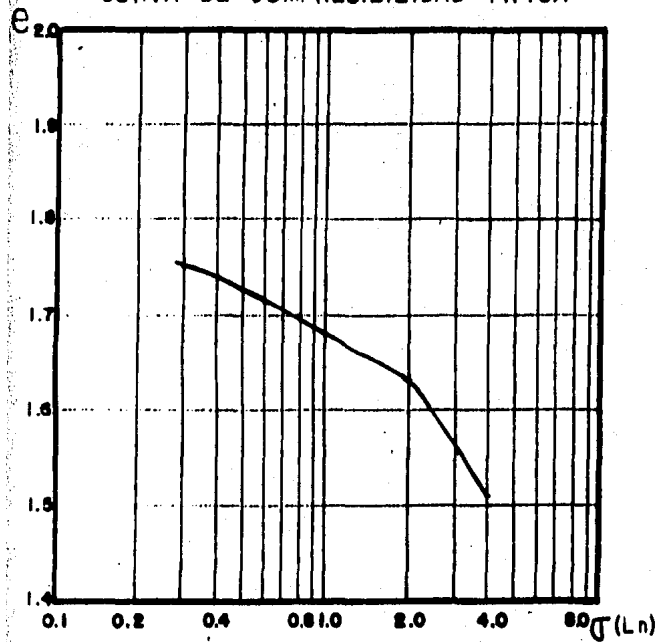


CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.60
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.32
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		1.78
CONTENIDO MAX. W = 7.60%	w	%	78.30
LIMITE LIQUIDO	LL	%	89.10
LIMITE PLASTICO	LP	%	40.80
INDICE PLASTICO	IP	%	18.60
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.33
P. DE PRECONSOLIDACION S.C.	σ _c	KG/cm ²	2.20
CLASIFICACION SUCS			MH
LOCALIZACION EN CAMI:			D.C.C.O.H. CARGAMO DE B. EN LUIS TLAXIAL.
W ₉₀ HUMEDO.	W ₉₀	KG/m ³	1481

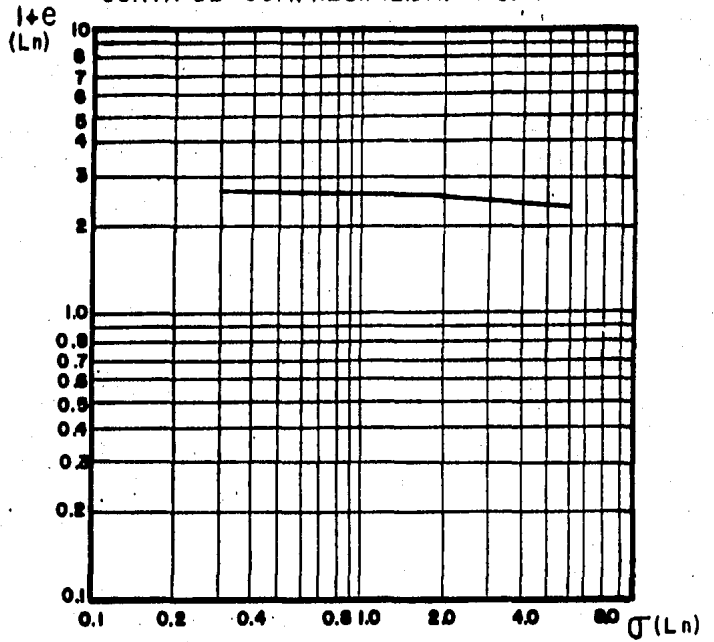
GRAFICA No

$U_b = 1.9$
 $\delta_r = 0.0$
 $\delta_v = 0.0$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

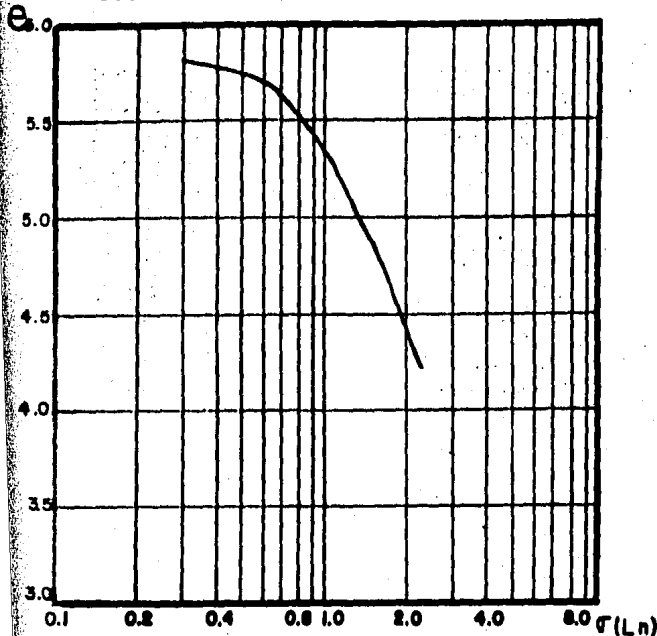
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No. 1

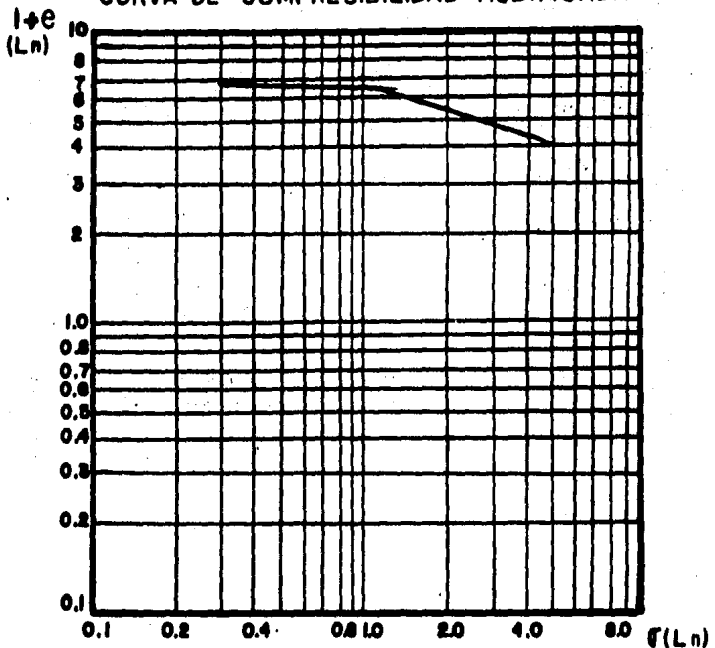
$U_b = 1.991$
 $\delta_r = 0.0212$
 $\delta_v = 0.07535$

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.60
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.32
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		1.78
CONTENIDO DE AGUA (%)	w	%	72.30
LIMITE LIQUIDO	LL	%	32.10
LIMITE PLASTICO	LP	%	40.80
INDICE PLASTICO	IP	%	18.60
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.83
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	2.20
CLASIFICACION SUGS			MH
LOCALIZACION EN CAMI:			D.C.O.H. CARGAMO DE S. EN LUIS TLAXIAL.
ESFUERZO HUMEDO.	γ _m	KG/m ³	1481

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

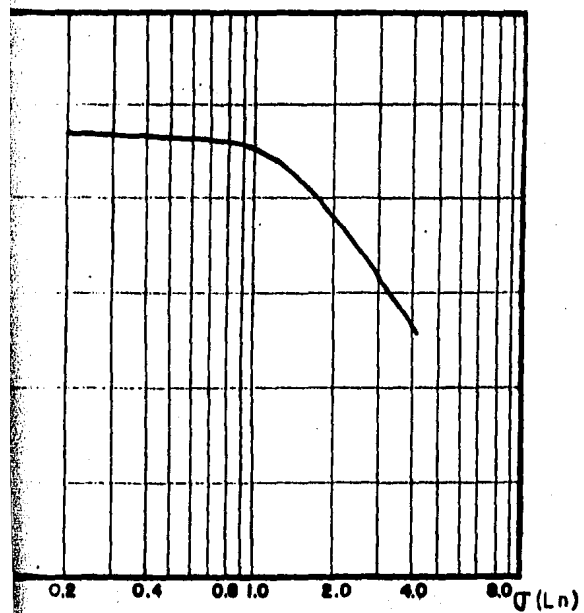
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 2

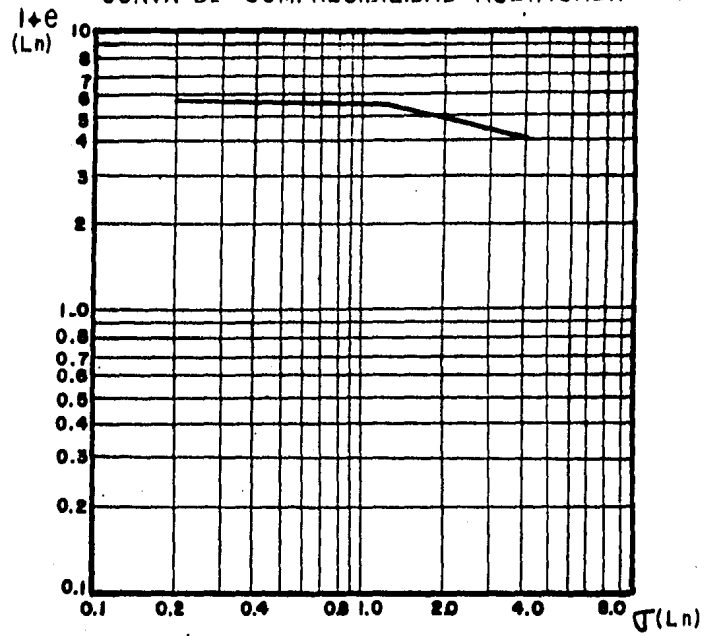
$\sqrt{b} = 1.2298$
 $\delta_r = 0.04491$
 $\delta_w = 0.34173$

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	17.40
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		2.21
RELACION DE VAGUOS INI.	e_0		5.81
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	283.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	182.0
LIMITE PLASTICO	LP	%	84.0
INDICE PLASTICO	IP	%	108.0
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.77
P. DE PRECONSOLIDACION A.G.	σ'_c	KG/cm ²	1.30
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMPO			D.S.C.O.H. CARCANO DE S. N. LUIS TLAXIAL.
PLSO HUMEDO	σ_m	KG/cm ²	1145

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No. 3

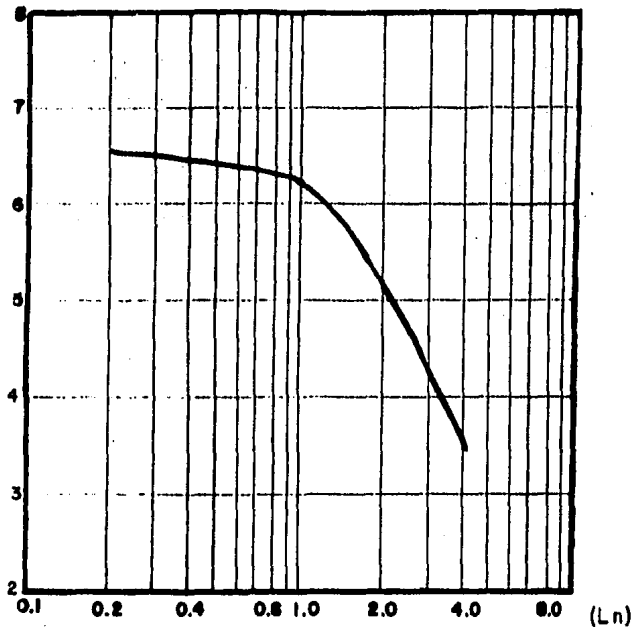
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	11.88
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.62
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		4.74
AGUJERADO NAT. 1% 7.60%	w	%	218.16
LIMITE LIQUIDO	LL	%	164.80
LIMITE PLASTICO	LP	%	68.40
INDICE PLASTICO	IP	%	96.40
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ _v	KG/cm ²	0.88
PRESION PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	1.41
CLASIFICACION SUGS			MH
LOCALIZACION EN CANTO			D.C.C.O.H. CARCAMO DE B. STA. NA. NATIVITA
TESTO NUMERO	T ₁	KG/cm ²	1819

$\sigma_b = 1.43$

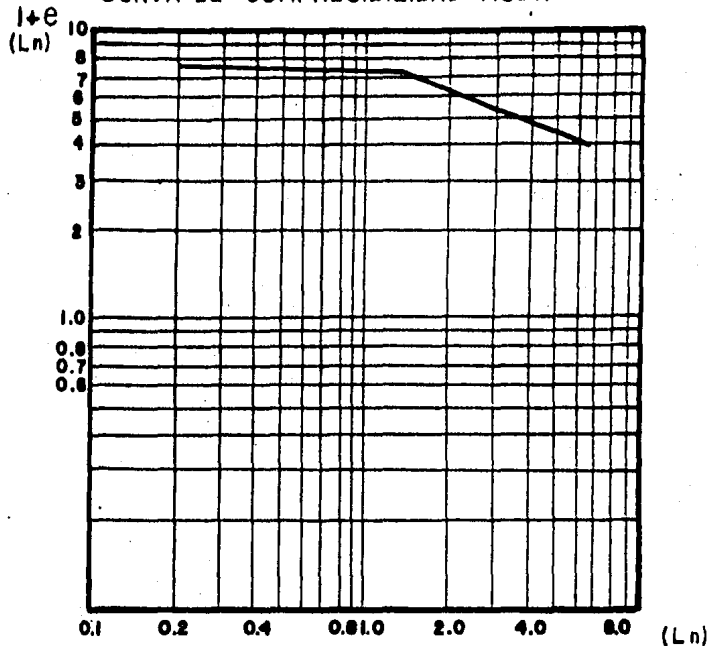
$\delta_r = 0.01556$

$\delta_v = 0.4058$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 4

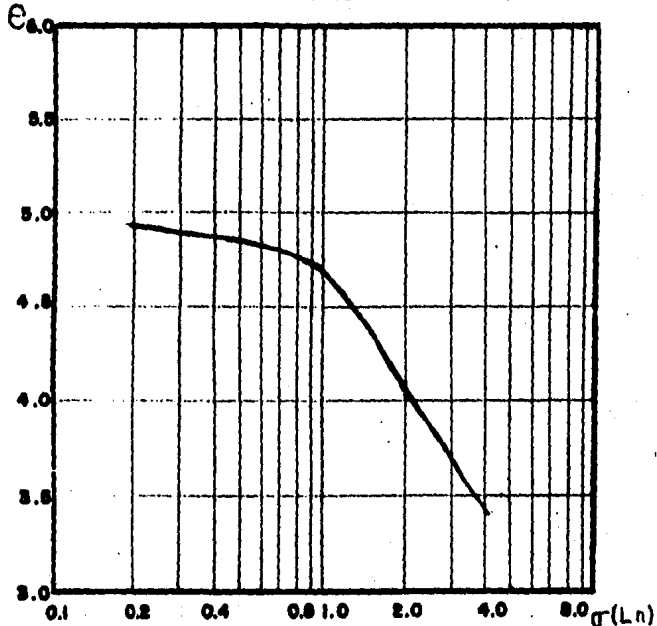
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	8.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.65
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		0.89
CONTENIDO DE AGUA	w	%	29.81
LIMITE LIQUIDO	LL	%	108.00
LIMITE PLASTICO	LP	%	88.32
INDICE PLASTICO	IP	%	80.88
PRESION EFECTIVA INICIAL		KG/cm ²	0.99
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.		KG/cm ²	1.28
CLASIFICACION SUCS			MH
LOCALIZACION EN CARTA			D. S. C. O. H. CARGAMO DE S. STA. MA. NATIVITAS
USO HUMEDO		KG/m ³	1188

$U_b = 1.38661$

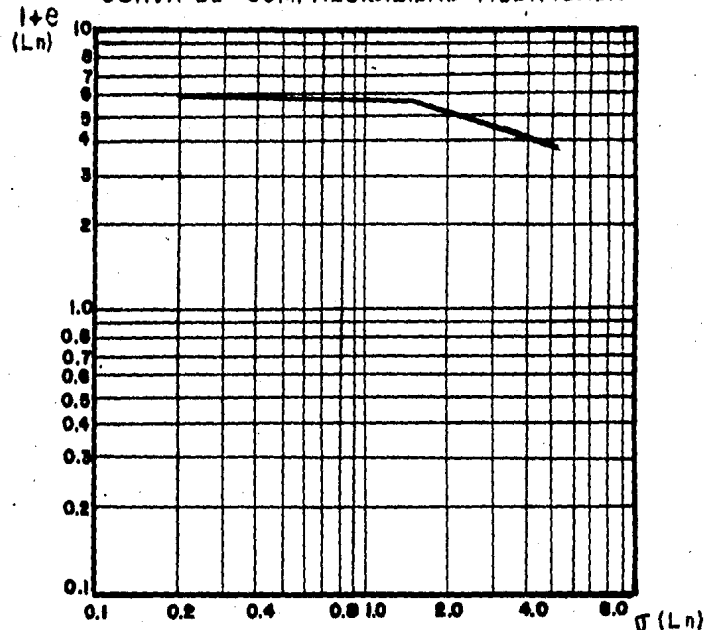
$U_r = 0.2184$

$U_v = 0.4386$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

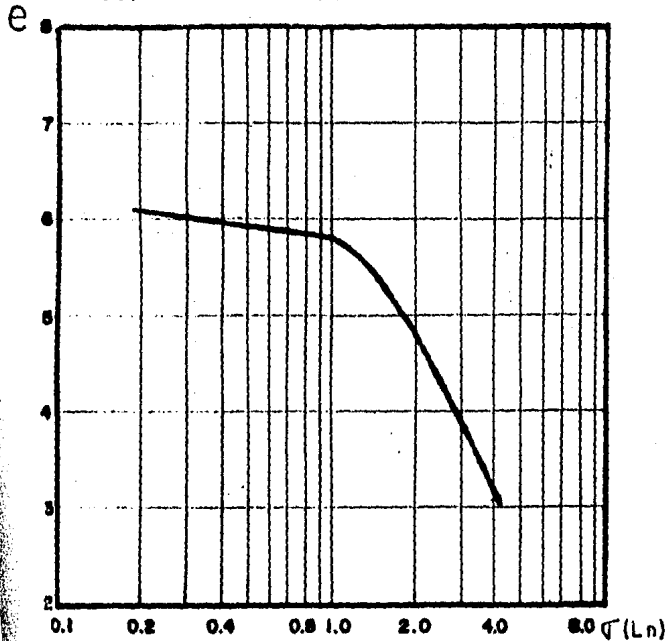
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 5

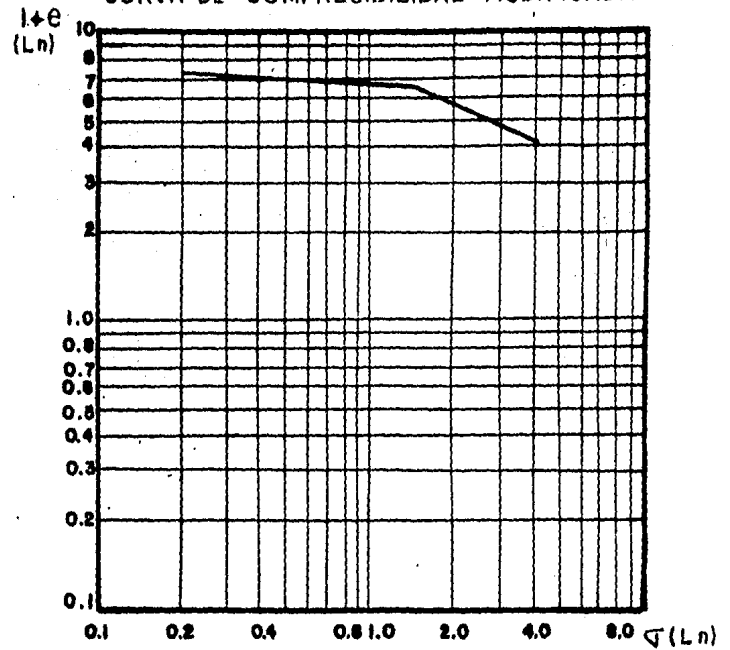
$\sqrt{b} = 1.40649$
 $\sigma_r = 0.02532$
 $k_v = 0.3317$

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	15.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	S_s		2.58
RELACION DE VACIOS INI.	e_0		2.028
AGUJERO NAT. DE 7.62	w	%	122.10
LIMITE LIQUIDO	LL	%	122.70
LIMITE PLASTICO	LP	%	22.90
INDICE PLASTICO	IP	%	100.90
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ_v	KG/cm ²	0.88
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ_h	KG/cm ²	1.80
CLASIFICACION SUCS			GH
LOCALIZACION EN CAMPO			ANDBA
PESO HUMEDO.	σ_m	KG/m ²	122.9

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.60
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.39
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		5.185
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	287.2
LIMITE LIQUIDO	LL	%	208.8
LIMITE PLASTICO	LP	%	28.8
INDICE PLASTICO	IP	%	179.7
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ _v	KG/cm ²	0.48
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _b	KG/cm ²	1.80
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMPO			ANDSA
PIESO HUMEDO	σ _m	KG/m ²	1285

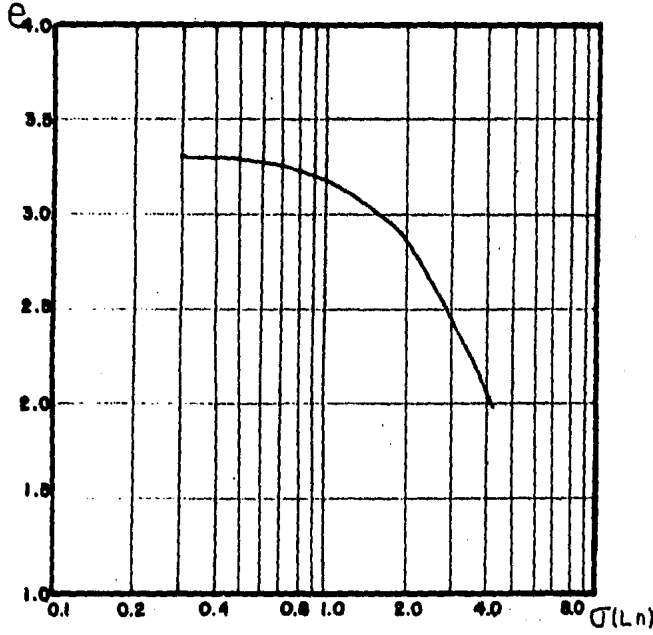
GRAFICA No. 6

$\sigma_b = 1.51529$

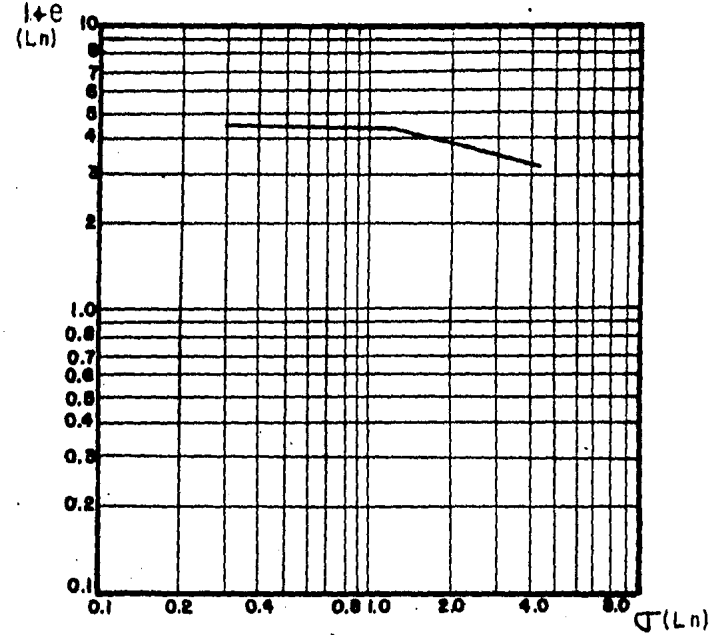
$\sigma_r = 0.01817$

$\sigma_v = 0.52772$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

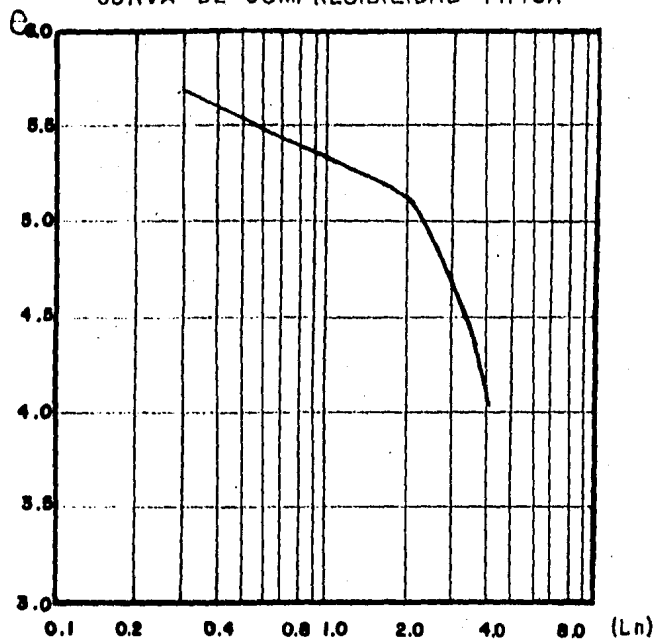
PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	14.10
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.50
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		3.38
CONTENIDO NAT. DE A.G./	w	%	149.20
LIMITE LIQUIDO	LL	%	248.80
LIMITE PLASTICO	LP	%	88.80
INDICE PLASTICO	IP	%	189.80
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.82
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _b	KG/cm ²	1.70
CLASIFICACION SUCS			GH
LOCALIZACION EN CAMI			D.E.G.O.H. CARCAMO DE D. EN LUIS TLAXIALTE.
PESO HUMEDO.	γ _m	KG/m ³	1287

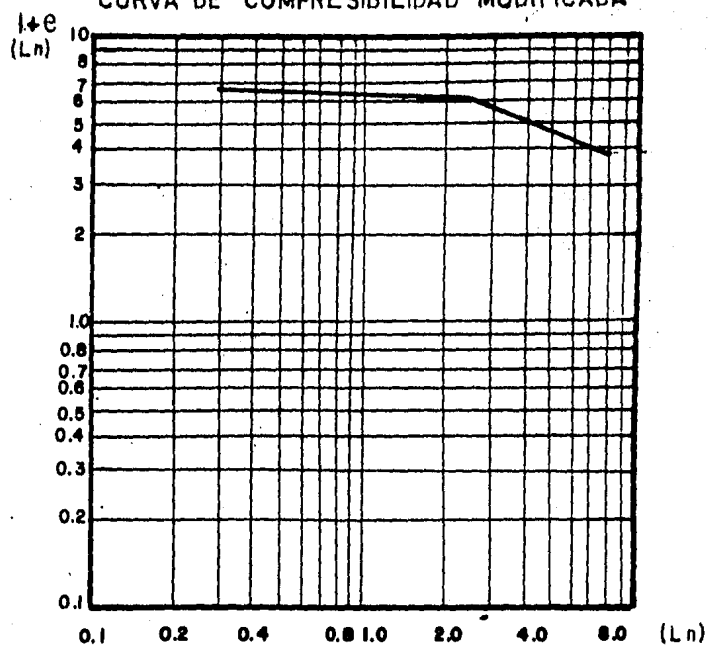
GRAFICA No 7

$\sigma_b = 1.5985$
 $\sigma_r = 0.03001$
 $\sigma_v = 0.32092$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

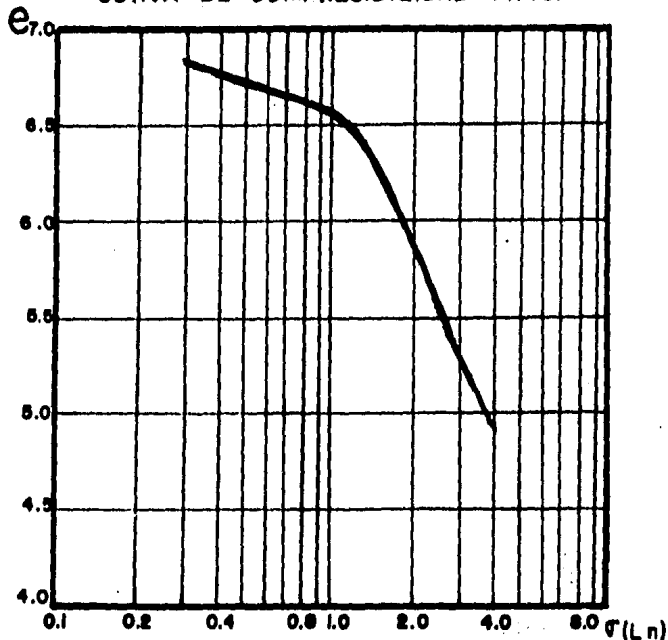
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 8

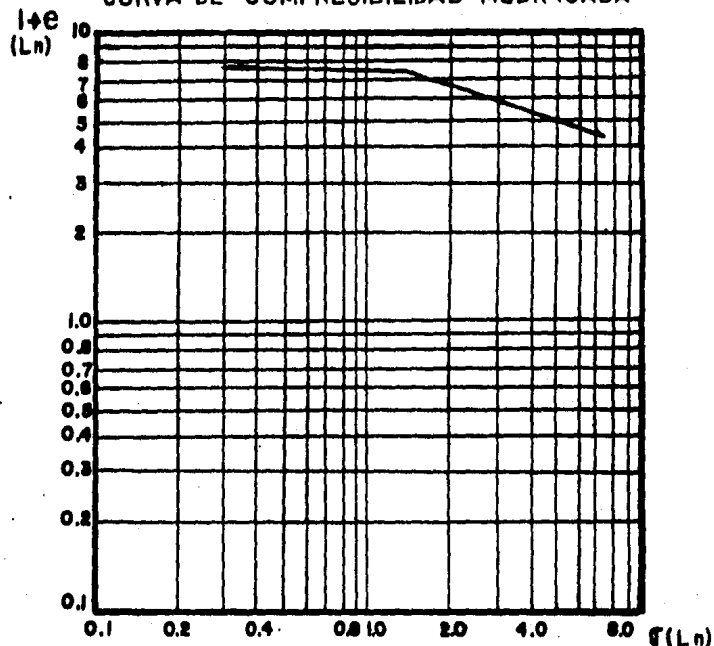
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	14.25
DENSIDAD DE SOLIDOS	S_s		2.37
RELACION DE VACIOS INI.	e_0		5.678
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	214.7
LIMITE LIQUIDO	LL	%	139.90
LIMITE PLASTICO	LP	%	49.90
INDICE PLASTICO	IP	%	90.0
PRESION EFECTIVA INICIAL	q_0	KG/cm ²	1.08
P. DE PRECONSOLIDACION A.G.	q_b	KG/cm ²	2.60
CLASIFICACION SIUCS			GM
LOCALIZACION EN CAMI			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO.	S_w	KG/ m ³	1088

$\sqrt{v_b} = 2.5544$
 $v_r = 0.0443$
 $v_v = 0.4101$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	19.45
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		2.42
RELACION DE VACIOS INI.	e_0		8.922
INDICEDOR NAT. DE L.G.U.	w	%	277.8
LIMITE LIQUIDO	LL	%	228.4
LIMITE PLASTICO	LP	%	71.8
INDICE PLASTICO	IP	%	153.90
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ_v	KG/cm ²	1.19
P. DE PRECONSOLIDACION A.G.	σ_c	KG/cm ²	1.81
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN C.A.M.I.			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	γ_m	KG/m ³	1184

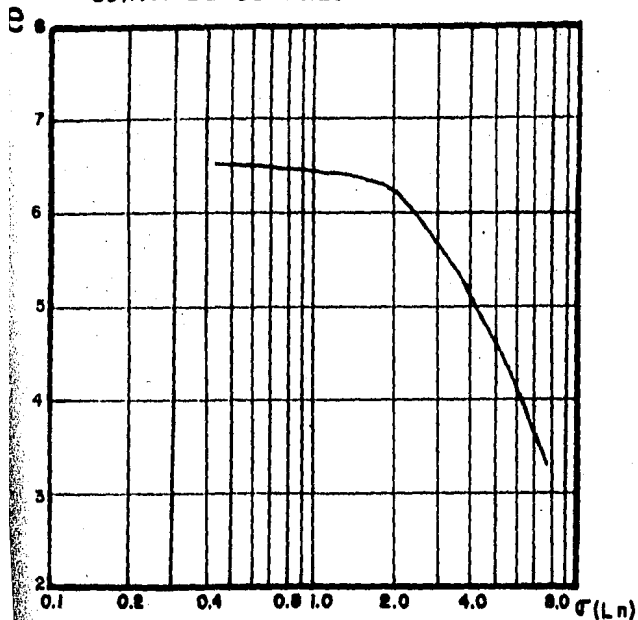
GRAFICA No 9

$$U_b = 1.4963$$

$$\gamma_r = 0.02511$$

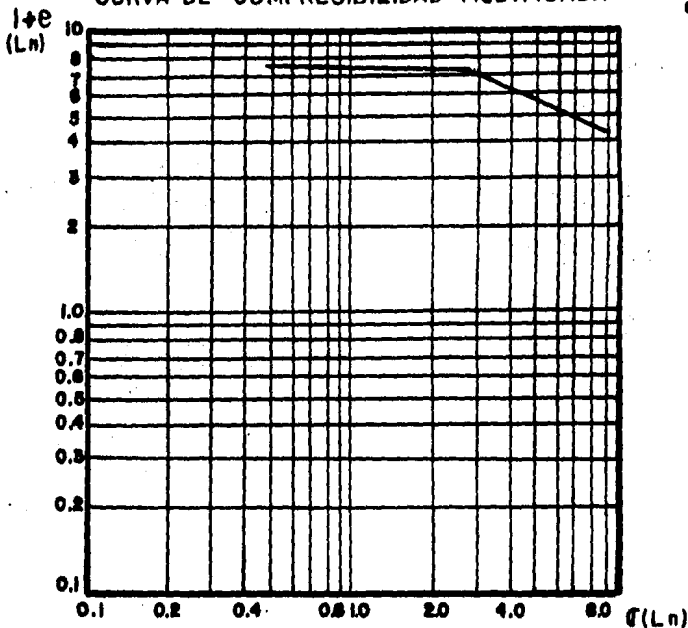
$$\gamma_v = 0.36227$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	26.90
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _p		2.37
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		6.705
CONTENIDO H ₂ O DE 7.602	w	%	287.5
LIMITE LIQUIDO	LL	%	278.5
LIMITE PLASTICO	LP	%	88.5
INDICE PLASTICO	IP	%	211.0
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ	KG/cm ²	2.87
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	2.80
CLASIFICACION AUGE			GH
LOCALIZACION EN CAMI:			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	σ _m	KG/m ³	1150

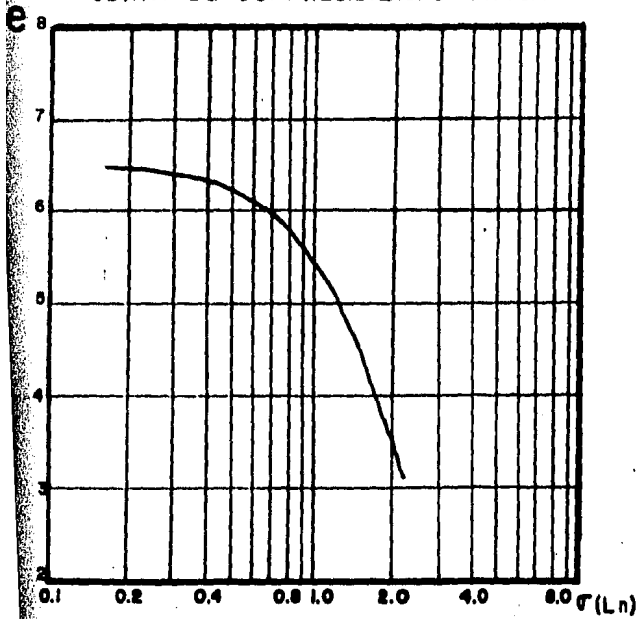
GRAFICA No. 10

$$\sigma_b = 2.9199$$

$$\sigma_r = 0.02542$$

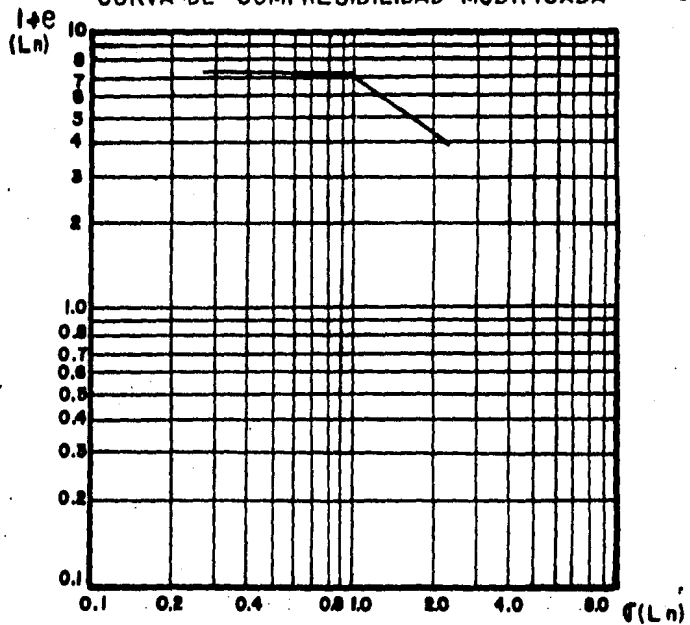
$$\sigma_v = 0.4996$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		2.22
RELACION DE VACIOS INI.	e_0		6.864
CONTENIDO INI. DE AGUA	w	%	298.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	387.0
LIMITE PLASTICO	LP	%	87.0
INDICE PLASTICO	IP	%	320.0
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ	KG/cm ²	0.80
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ_c	KG/cm ²	0.89
CLASIFICACION SUGS			CH
LOCALIZACION EN CEMI			COMPLEJO HIDALGO
PRO HUMEDO	u_m	KG/cm ²	1188

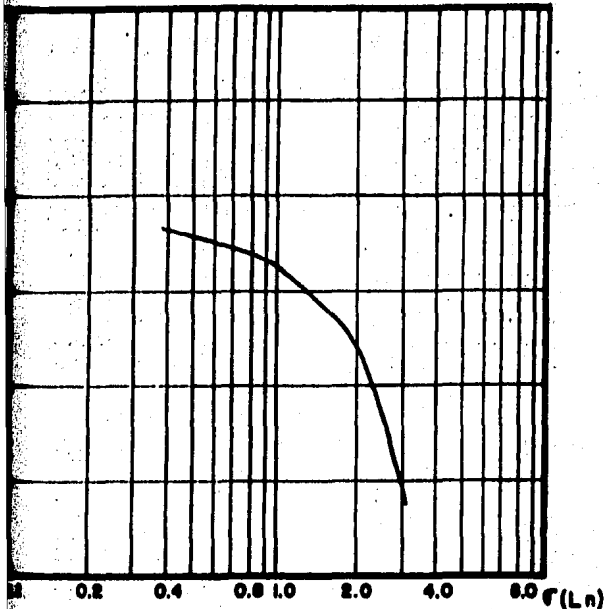
GRAFICA No 11

$$U_b = 0.86026$$

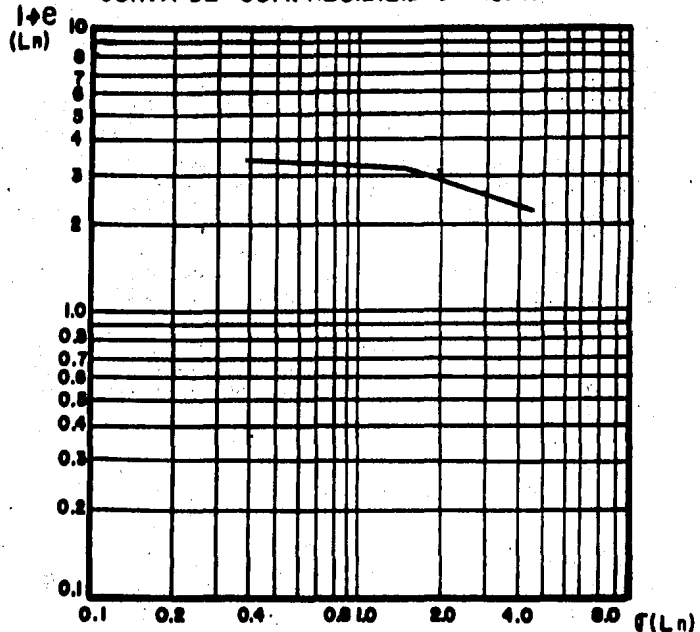
$$U_r = 0.04031$$

$$U_v = 0.5434$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 12

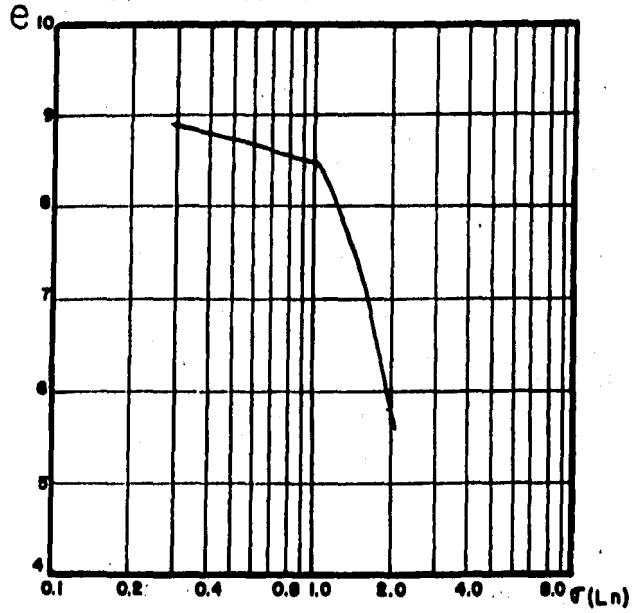
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	13.30
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		2.47
RELACION DE VACIOS INI.	e_0		1.818
CONTENIDO MAX. DE A.S.U.	w	%	63.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	81.5
LIMITE PLASTICO	LP	%	60.3
INDICE PLASTICO	IP	%	17.2
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ_v	KG/cm ²	0.78
P. DE FRACCIÓN SOLICITACION A.C.	σ_c	KG/cm ²	1.79
CLASIFICACION SUCE			CH
LOCALIZACION EN CAMPO			COMPLEJO HIDALGO
PRSO. HUMEDO	ρ_m	KG/m ³	1.887

$$\sigma_b = 1.7305$$

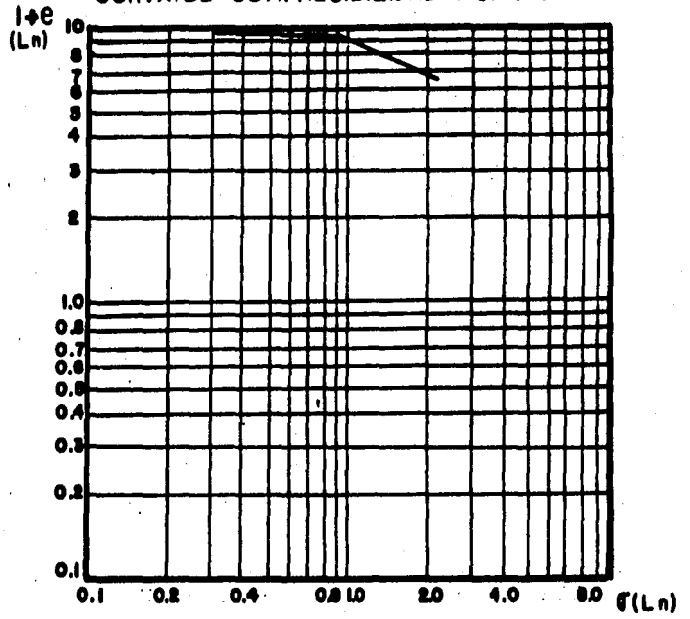
$$\delta_r = 0.03425$$

$$\delta_v = 0.32031$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

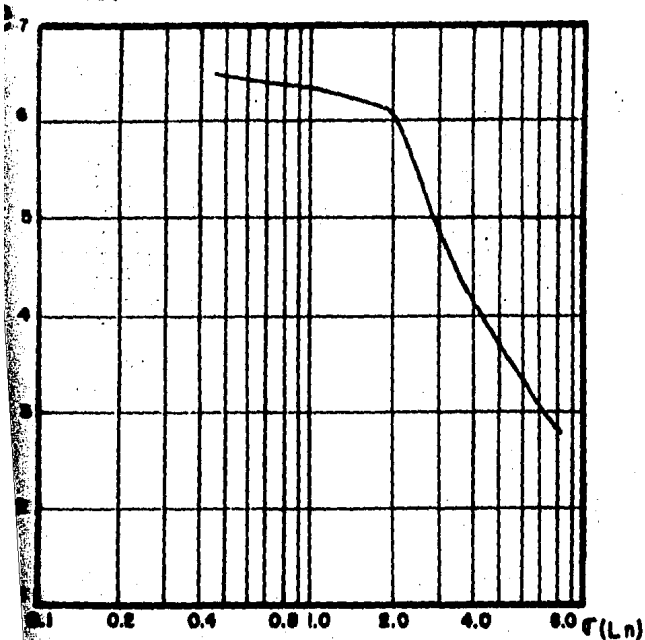
PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	8.15
DENSIDAD DE SOLIDOS	Ss		2.52
RELACION DE VAGIOS INI.	Sp		0.152
CONTENIDO MAX DE AGUA	w	%	370.0
LIMITE LIQUIDO	Ll	%	118.0
LIMITE PLASTICO	Lp	%	23.0
INDICE PLASTICO	IP	%	95.0
PRESION SELECTIVA INICIAL	S	KG/cm ²	0.88
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	sc	KG/cm ²	0.80
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAVI			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	Ln	KG/m ³	1078

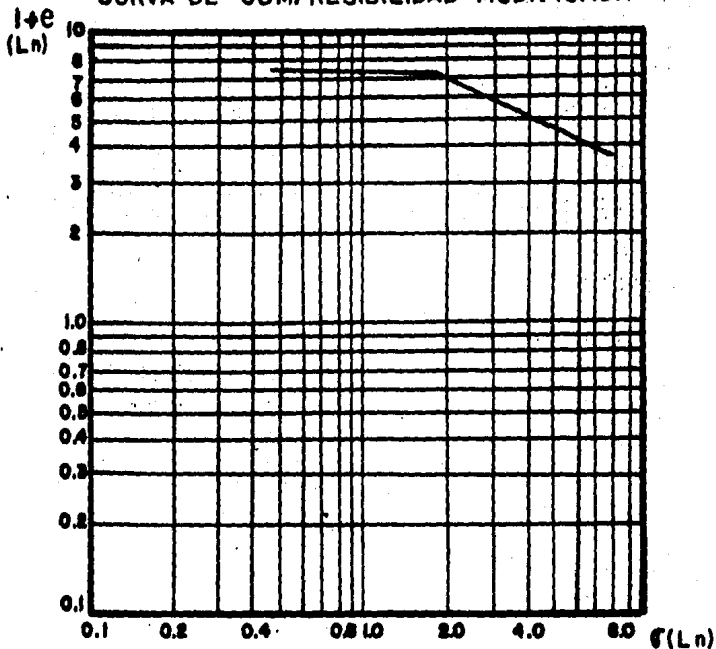
GRAFICA No 13

$\sqrt{b} = 0.87696$
 $\xi_r = 0.021895$
 $\xi_v = 0.4135$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



28

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	24.80
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.72
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		0.888
CONTENIDO H ₂ O DE A.C.U.	w	%	280.8
LIMITE LIQUIDO	LL	%	271.7
LIMITE PLASTICO	LP	%	80.9
INDICE PLASTICO	IP	%	280.8
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ	KG/cm ²	1.95
P.V. PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	2.03
CLASIFICACION SUGS			OH
LOCALIZACION EN CAMPO			COMPLEJO HIDALGO
PRSO HUMEDO	σ _m	KG/cm ²	1188

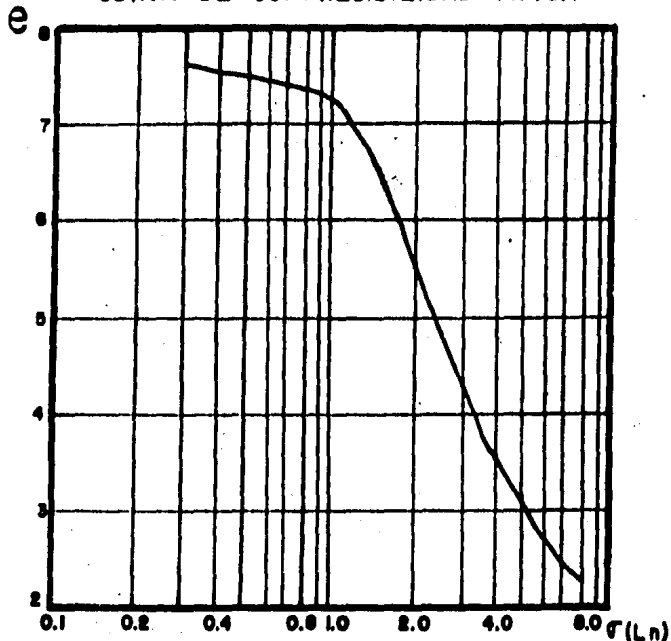
GRAFICA No 14

$$\sigma_b = 1.951$$

$$\sigma_r = 0.02915$$

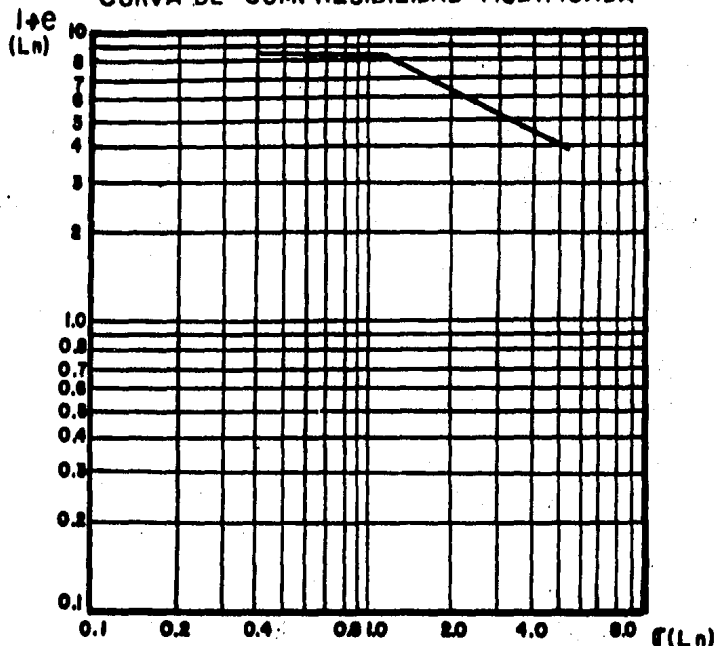
$$\sigma_v = 0.4465$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	13.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	Ss		2.65
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		7.552
CONTENIDO H ₂ O DE 7.5%	w	%	330.3
LIMITE LIQUIDO	LL	%	282.5
LIMITE PLASTICO	LP	%	81.1
INDICE PLASTICO	IP	%	201.4
PRESION SELECTIVA INICIAL	c	KG/cm ²	0.95
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	c _h	KG/cm ²	1.25
CLASIFICACION SUCS			OH
LOCALIZACION EN CAMPO			COMPLEJO HIDALGO
PRSO HUMEDO	w _m	KG/m ³	1141

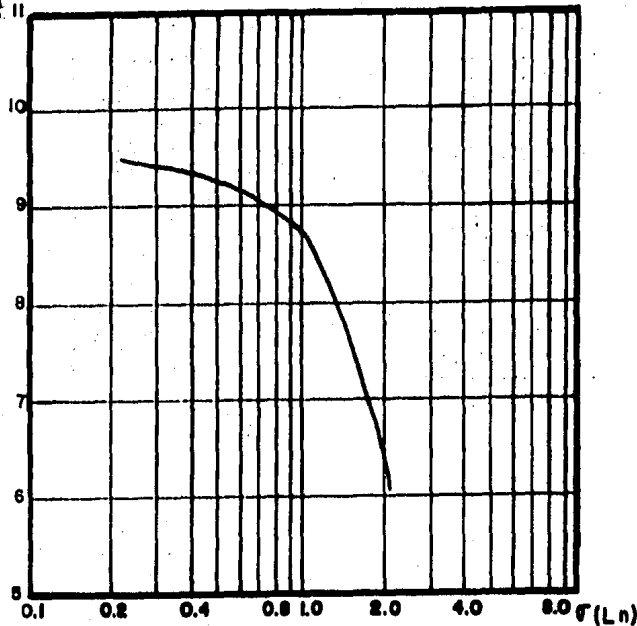
GRAFICA No 15

$\sigma_b = 1.1995$

$\sigma_r = 0.03265$

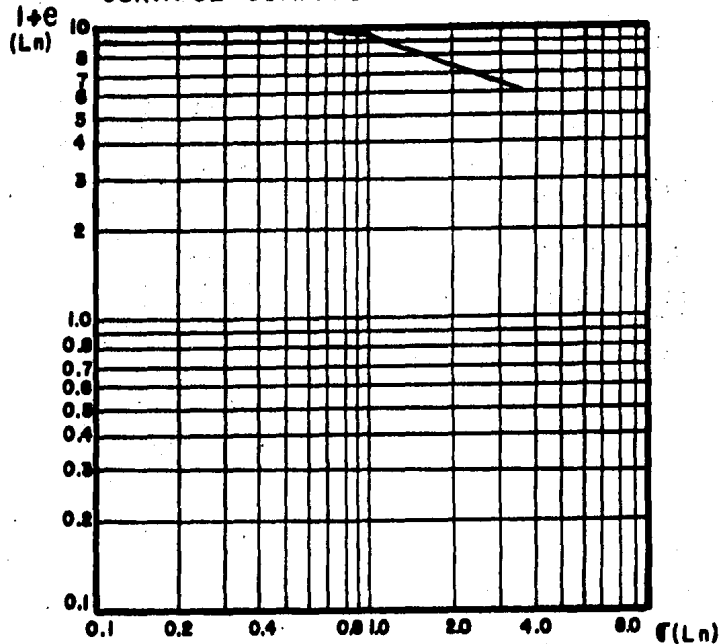
$\sigma_v = 0.47171$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.50
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.47
RELACION DE VAGIOS INI.	S _a		0.845
MOLEFIDO MAY. D. %	w	%	377.1
LIMITE LIQUIDO	LL	%	323.3
LIMITE PLASTICO	LP	%	37.8
INDICE PLASTICO	IP	%	285.0
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.78
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	0.98
CLASIFICACION SUGS			CH
LOCALIZACION EN CAMI			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	S _m	KG/m ³	1118

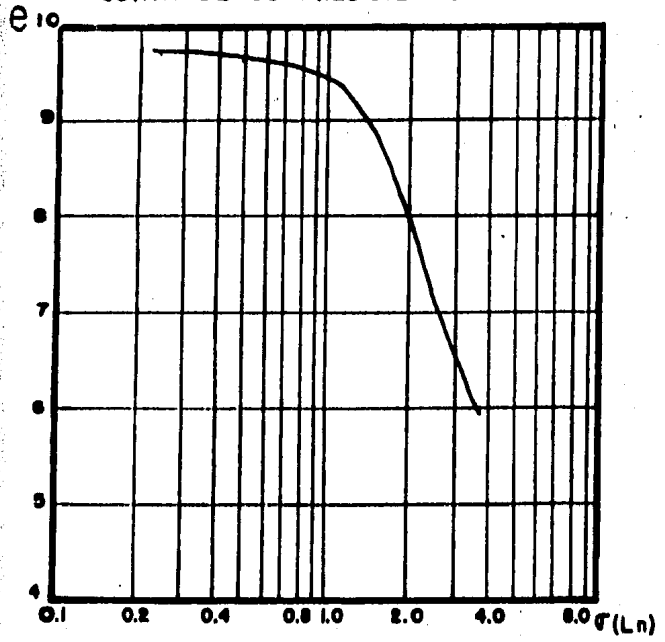
GRAFICA No 16

$\sigma'_b = 0.93073$

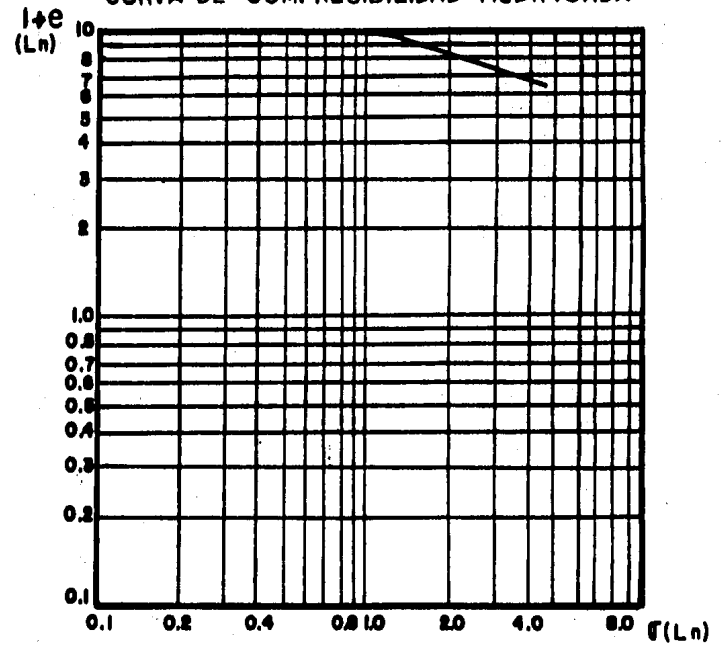
$\sigma'_r = 0.0195$

$\sigma'_v = 0.4263$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	17.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	Ss		2.65
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		9.391
CONTENIDO DE AGUA	w	%	423.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	360.0
LIMITE PLASTICO	LP	%	108.8
LIMITE PLASTICO	IP	%	249.8
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	1.10
P. DE PRECONSOLIDACION A. G.	σ _v	KG/cm ²	1.20
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CANAL			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	σ _m	KG/m ³	1094

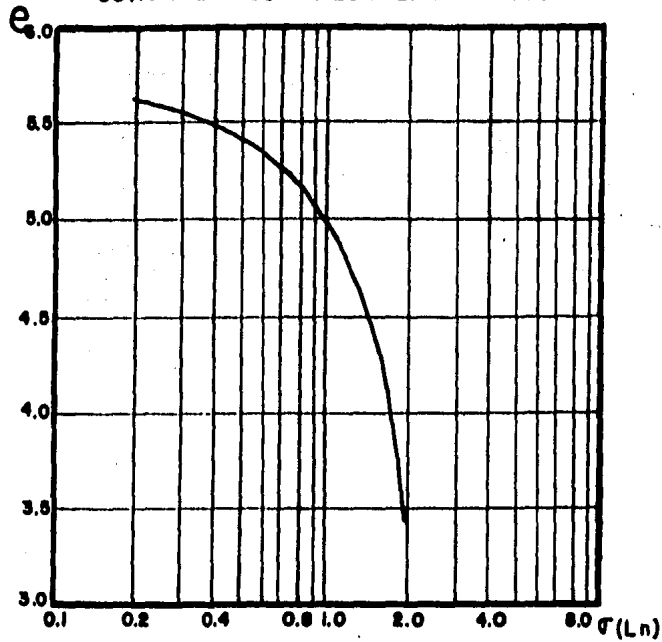
GRAFICA No 17

$U_b = 1.3023$

$\delta_r = 0.02717$

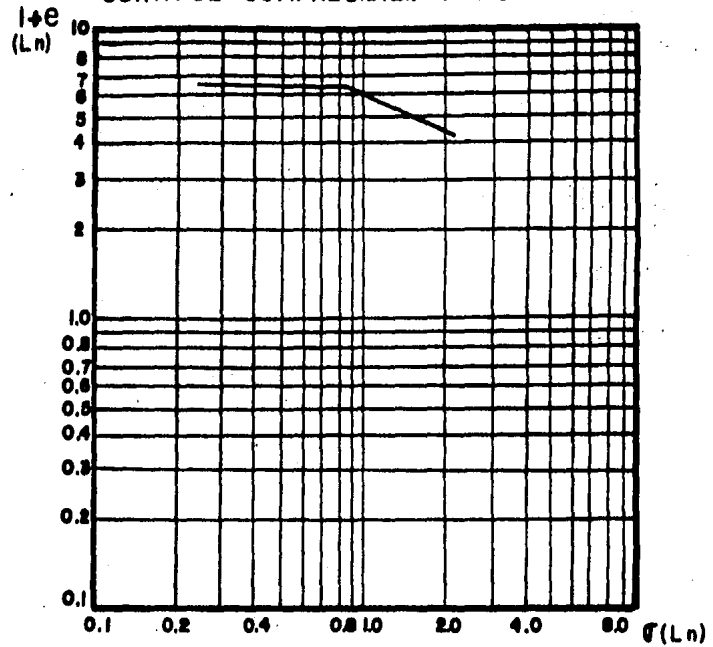
$\delta_v = 0.3568$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



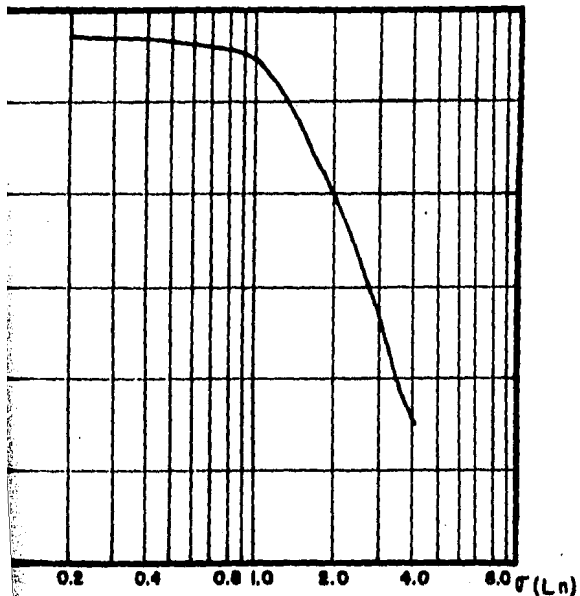
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 18

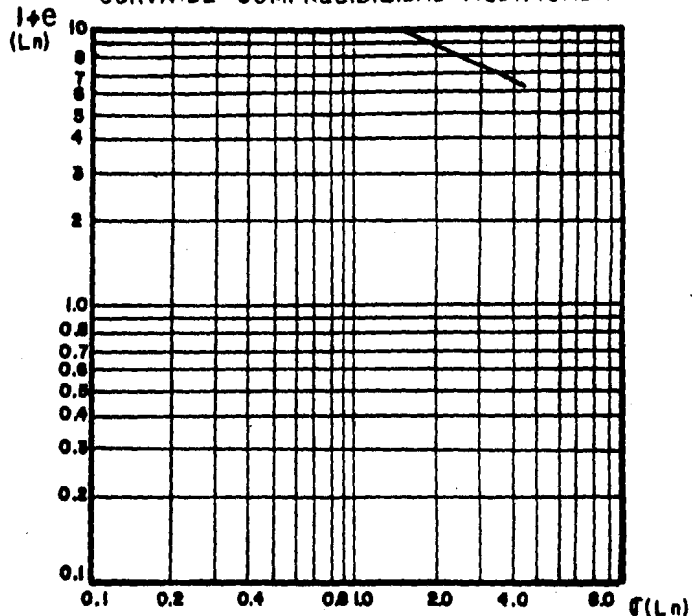
$\sqrt{b} = 0.8772$
 $\delta_r = 0.02440$
 $\delta_v = 0.4475$

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	6.0
DENSIDAD DE SOLIDOS	Ss		2.45
RELACION DE VACIOS INI.	e _s		5.648
GRADIENTE HASTA DE 7.500	w	%	219.8
LIMITE LIQUIDO	LL	%	50.0
LIMITE PLASTICO	LI	%	84.1
INDICE PLASTICO	IP	%	275.9
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.50
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _h	KG/cm ²	0.81
MODIFICACION SUCC			CH
LOCALIZACION EN CANTO			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	σ _m	KG/m ³	1178

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

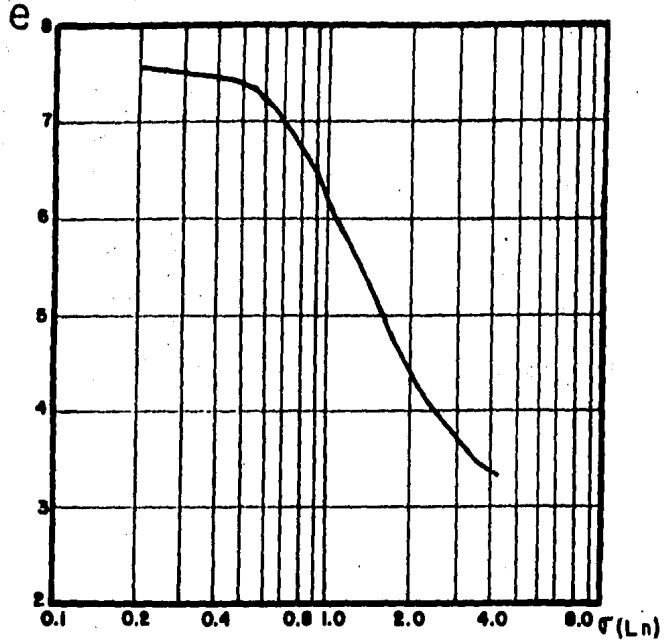
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 19

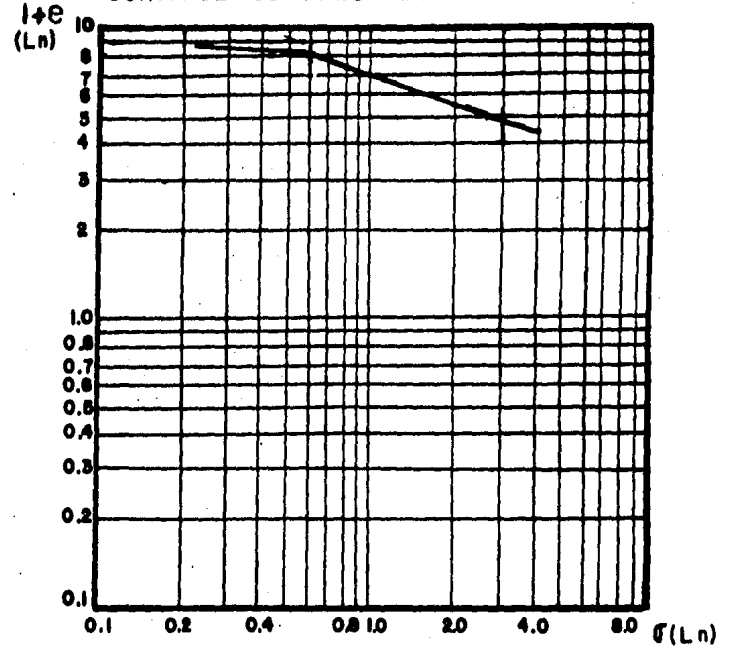
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	19.20
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.32
RELACION DE VACIOS INICIAL	e ₀		0.858
CONTENIDO HUM. DE A.S.U.	w	%	416.1
LIMITE LIQUIDO	LL	%	321.8
LIMITE PLASTICO	LP	%	84.1
INDICE PLASTICO	IP	%	237.7
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ _v	KG/cm ²	1.22
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _b	KG/cm ²	1.36
CLASIFICACION SUGS			CH
LOCALIZACION EN CAMI			COMPLEJO HIDALGO
PESO HUMEDO	γ _m	KG/m ³	1108

$\sigma_b = 1.3806$
 $\sigma_r = 0.0209$
 $\sigma_v = 0.4204$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 20

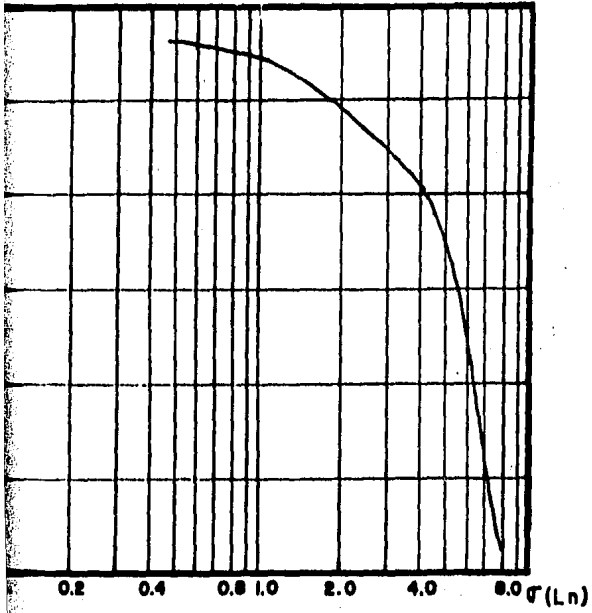
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	9.80
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.20
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		7.92
RENTIMIENTO NAT. DE A.G.U.	w	%	337.5
LIMITE LIQUIDO	LL	%	478.5
LIMITE PLASTICO	LI	%	129.5
INDICE PLASTICO	IP	%	349.7
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.375
P. DE PRECONSOLIDACION A.G.	σ _b	KG/cm ²	0.72
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMI			NO DEFINIDO
PRSO HUMEDO	σ _m	KG/cm ²	1118

$$U_b = 0.6503$$

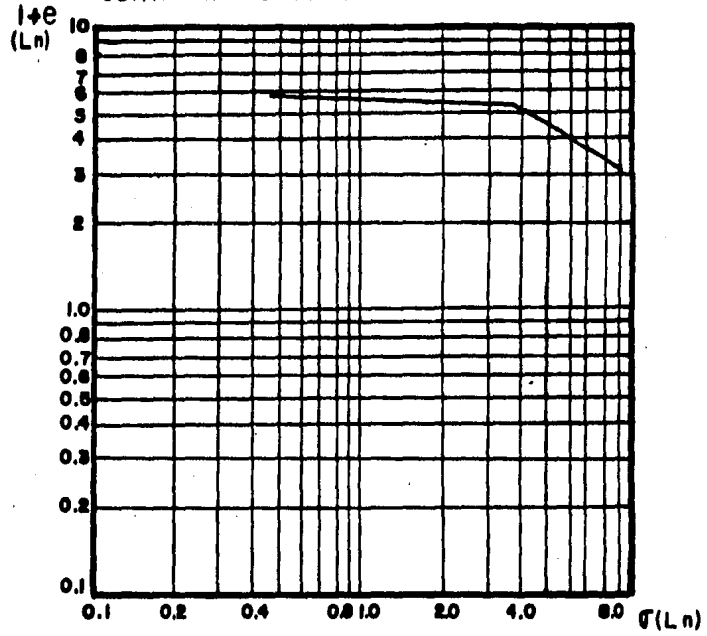
$$U_r = 0.02703$$

$$U_v = 0.3619$$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

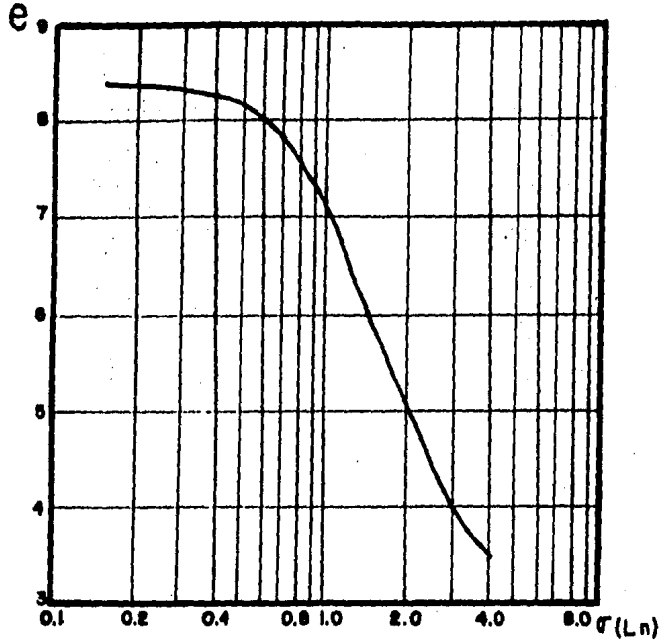
PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	41.40
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.14
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		4.852
CONTENIDO REL. DE AGUA	w	%	226.2
LIMITE LIQUIDO	LL	%	207.6
LIMITE PLASTICO	LI	%	66.4
LIMITE PLASTICO	IP	%	138.1
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	1.38
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ' _b	KG/cm ²	4.20
CLASIFICACION SUGS			CH
LOCALIZACION EN CAMI			NO DEFINIDO
PESO HUMEDO	σ _m	KG/m ²	1191

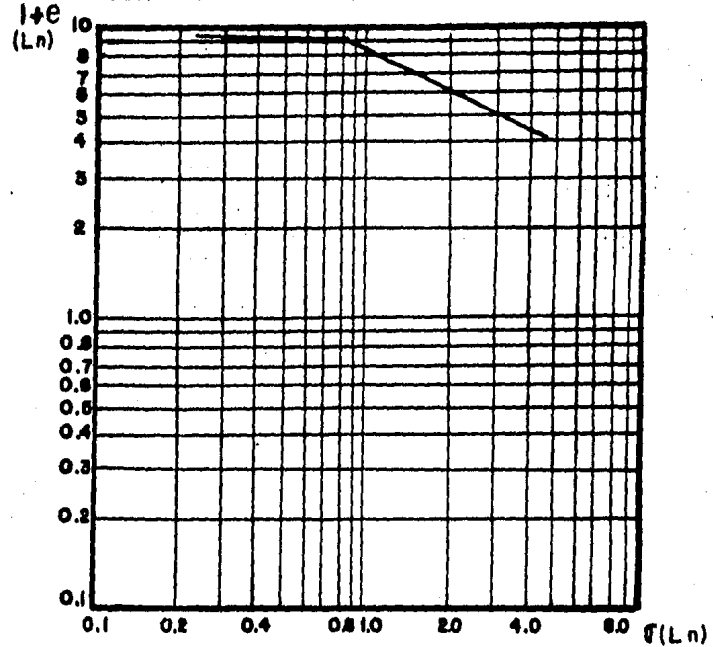
GRAFICA No 21

$\sigma'_b = 3.6353$
 $\sigma'_r = 0.0436$
 $\sigma'_{v0} = 0.6838$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

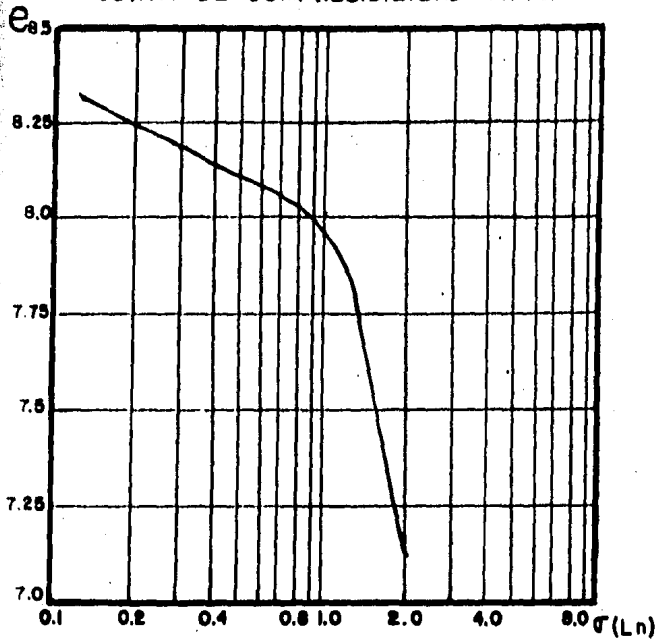
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 22

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	11.10
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.17
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		8.804
CONTENIDO HUM. DE L. LIQ.	w	%	390.4
LIMITE LIQUIDO	LL	%	501.0
LIMITE PLASTICO	LP	%	104.1
INDICE PLASTICO	IP	%	396.9
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	0.85
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	0.80
CLASIFICACION SUCS			GH
LOCALIZACION: EJ. CAW 1			ESTACIONAMIENTO
PESO HUMEDO	γ _m	KG/m ³	1087

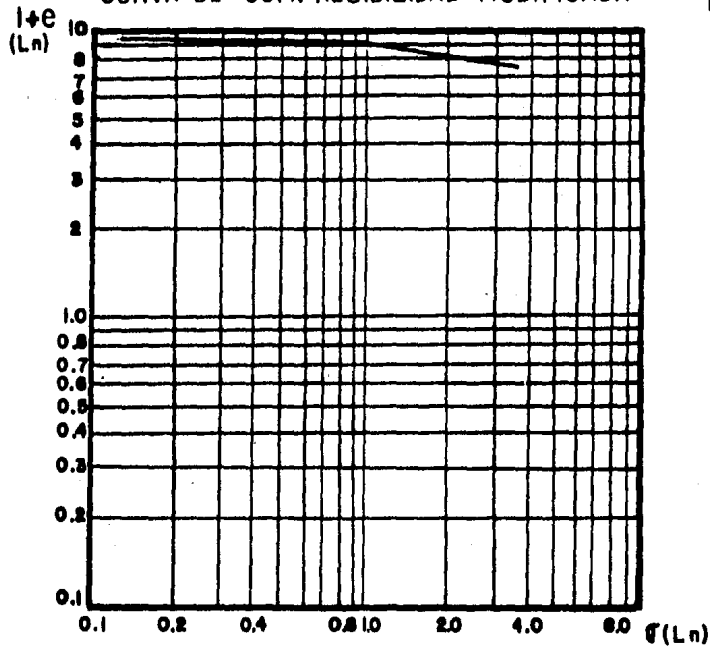
$U_b = 0.82018$
 $\delta_r = 0.04526$
 $\delta_v = 0.42014$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 23

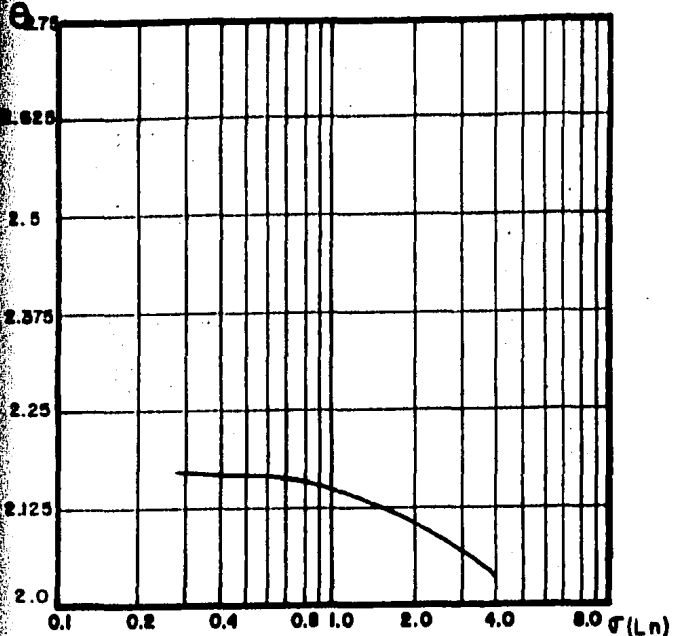
$\sigma_b = 0.9584$

$\delta_r = 0.01331$

$\delta_v = 0.14667$

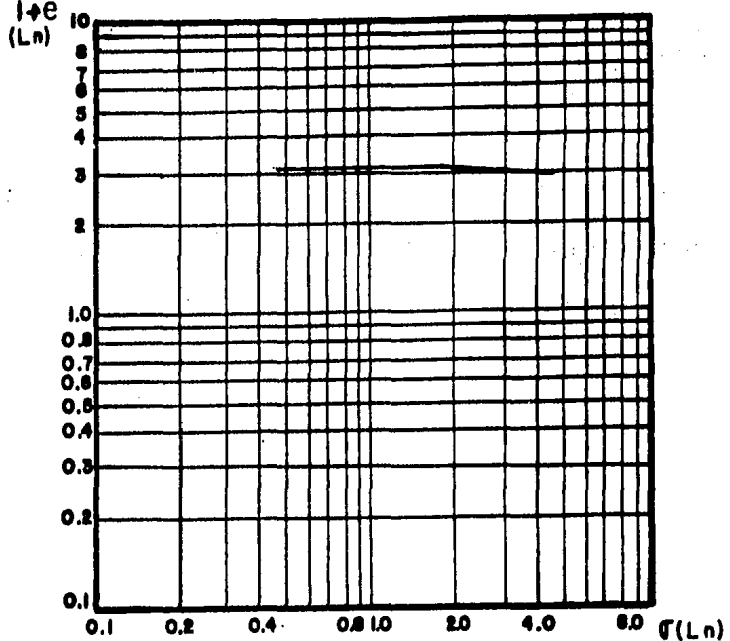
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	4.90
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.27
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		0.348
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	363.3
LIMITE LIQUIDO	LL	%	435.0
LIMITE PLASTICO	LP	%	66.6
INDICE PLASTICO	IP	%	368.2
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ	KG/cm ²	0.275
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	1.02
CLASIFICACION SUCS			GH
LOCALIZACION EN CAMI			AV. EDUARDO MOLINA
PESO HUMEDO	γ _m	KG/m ³	1120

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No 24

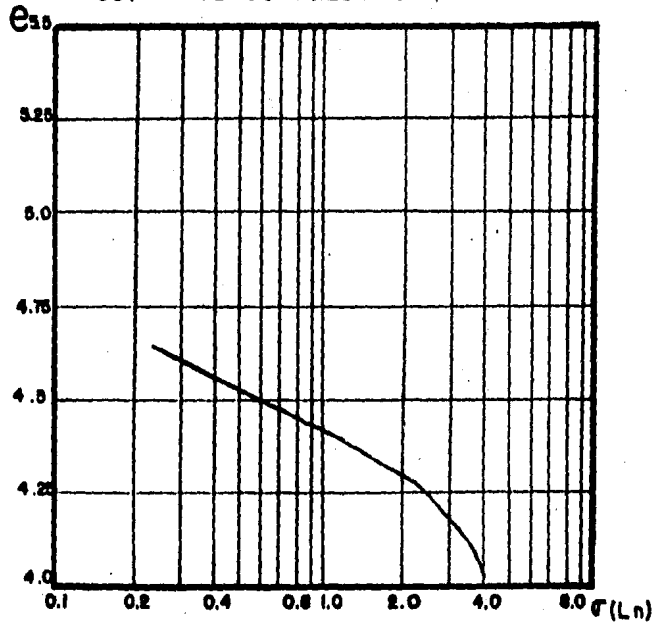
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	15.85
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		2.84
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		2.18
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	72.4
LIMITE LIQUIDO	LL	%	72.8
LIMITE PLASTICO	LP	%	49.9
INDICE PLASTICO	IP	%	22.9
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	1.5
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _v	KG/cm ²	2.18
CLASIFICACION SUCS			MH
LOCALIZACION EN CAMI.			D.O.C.O.H. CARCAMO DE B. STA. CRUZ ACALPIXCA
PISO HUMEDO	σ _p	KG/cm ²	14.85

$\sigma_b = 1.9630$

$\delta_r = 0.00783$

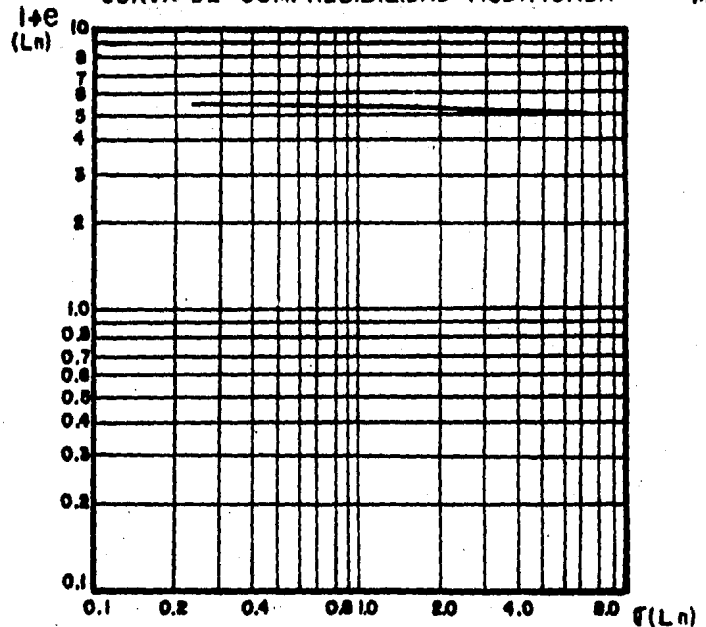
$\delta_v = 0.03657$

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD. CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	6.05
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		2.29
RELACION DE VACIOS INI.	e_m		4.82
CONTENIDO H ₂ O (%)	w	%	191.6
LIMITE LIQUIDO	LL	%	118.6
LIMITE PLASTICO	LP	%	42.2
INDICE PLASTICO	IP	%	74.4
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'_v	KG/cm ²	0.82
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ'_b	KG/cm ²	1.80
CLASIFICACION SUCS			GH
LOCALIZACION EN CAMI.			D.G.C.O.H. CARCAMODES, STA. CRUZ APALPIXCA
PESO HUMEDO	γ_m	KG/m ³	1210

GRAFICA No 25

$$\sigma'_b = 1.8431$$

$$\delta_r = 0.01131$$

$$\delta_v = 0.07243$$

TABLA A

I	II	III	IV
n	a_{Lr}	γ_r	r_{Lr}
1	1.036290897	-0.021211848	-0.993584
2	1.974812883	-0.0449059483	-0.9904684
3	1.748185086	-0.015557387	-0.841407517
4	2.038644035	-0.021842802	-0.935777166
5	1.804033097	-0.025315361	-0.968371349
6	1.967064243	-0.018170019	-0.990068036
7	1.504875667	-0.030009915	-0.941119245
8	1.949664944	-0.044367638	-0.99817115
9	2.089993683	-0.025110645	-0.982884895
10	2.059443335	-0.025415956	-0.975318920
11	2.040344132	-0.040309216	-1.000000
12	1.28183484	-0.034249564	-1.000000
13	2.315578553	-0.021895264	-1.00002
14	2.061812254	-0.029146345	-0.999998745
15	2.19144232459	-0.032653215	-0.999999839
16	2.361608463	-0.019515014	-1.000003
17	2.408854974	-0.027172607	-0.973375572
18	1.903345033	-0.024396655	-0.999997311
19	2.401547721	-0.020998599	-0.97893982
20	2.178852614	-0.027030207	-1.000000
21	1.832845977	-0.043575978	-0.963358536
22	2.281115339	-0.045258611	-1.000000
23	2.233540312	-0.013907927	-0.994593279
24	1.160358069	-0.007828298	-0.9856583
25	1.708458727	-0.011307662	-0.99827037
ECUACION	26	25	27
PASO	2	2	2
TRAMO	RECOMPRESION	RECOMPRESION	RECOMPRESION

TABLA A

	V	VI	VII
n	a_{Lv}	γ_v	r_{Lv}
1	1.198225557	-0.075346134	-1.000000
2	2.719669286	-0.3417308983	-0.99998
3	2.786449429	-0.40584462	-0.999546027
4	3.134656632	-0.438665697	-0.998436141
5	2.614000014	-0.331693319	-0.998589134
6	3.352077787	-0.527717592	-0.998543717
7	2.311169105	-0.320919135	-0.9994869
8	3.134780555	-0.410100668	-0.99921098
9	3.002177603	-0.362267016	-0.99999973
10	3.659309364	-0.499571021	-1.000000
11	3.123017705	-0.5433960	-0.9999999
12	2.097400040	-0.320311347	-1.000000
13	3.16578449	-0.413461643	-1.000000
14	3.301855725	-0.446542381	-0.999861141
15	3.282256503	-0.471708230	-0.99990093
16	3.269087652	-0.426310501	-0.99999955
17	3.254905664	-0.356792359	-0.999999991
18	2.822071818	-0.447458968	-0.99999983
19	3.450002149	-0.42046274	-0.99999983
20	2.805788604	-0.36188002	-0.99829308
21	4.143768855	-0.68378552	-0.99999997
22	3.0699539	-0.420138150	-0.99995789
23	2.534943908	-0.14669642	-0.999999936
24	1.246114138	-0.03657336	-1.000000
25	1.886568182	-0.07242848	-1.000000
ECUACION	26	25	27
PASO	2	2	2
TRAMO	VIRGEN	VIRGEN	VIRGEN

TABLA A

VIII

IX

X

n	$\bar{\sigma}_o$ T/M ²	σ_{bM} T/M ²	σ_{er}
1	5.3	19.91256972	5.311084931
2	7.7	12.2977098	7.704660881
3	5.6	14.2996371	5.604522098
4	4.8	13.86606296	4.806881076
5	6.6	14.06494239	6.605756224
6	4.2	15.151872370	4.207105625
7	6.2	15.98470728	6.209874122
8	10.5	25.54353916	10.52196685
9	11.9	14.96256002	11.900972970
10	22.7	29.19918994	22.70226873
11	5.0	8.602572174	5.003632663
12	7.9	17.30526318	7.910002231
13	5.5	8.76962939	5.50160920
14	16.3	19.50954445	16.30095466
15	9.5	11.99462931	9.501047149
16	7.5	9.307304746	7.50042368
17	11.0	13.02339746	11.00053022
18	5.0	8.77240525	5.00235352
19	12.2	13.80601352	12.2002439
20	3.75	6.503172048	3.751877414
21	13.8	36.95256762	13.83447575
22	6.5	8.20182029	6.50098827
23	2.75	9.58352901	2.75323786
24	13.0	19.63021232	13.00106327
25	8.2	18.43139327	8.20363554
UNION	DATO	35	46
CASO		3	5
RAMO		COMUN	RECOMPRESION

TABLA A

	XI	XII	XIII
n	b_{er}	r_{er}	a_{ev}
1	46.49226909	0.99998	13.73138854
2	22.03606364	0.99999	11.61987938
3	63.81381234	0.99999	13.9184293
4	45.25760096	0.99998	13.31255918
5	39.12648411	0.99999193	13.37218364
6	34.4037357	0.999989	14.7240278
7	32.85414417	0.999982	14.7773873
8	22.09985065	0.99996588	23.4967944
9	39.7094965	0.9999983	14.7456800
10	39.21978341	0.99999971	28.8813347
11	24.5871493	0.99998949	8.32557103
12	28.8097791	0.999984111	16.0480423
13	45.43975219	0.999997719	8.5905862
14	34.2199145	1.000000	19.30158604
15	30.50856363	0.99999834	11.8227748
16	51.13485715	0.99999963	9.226768
17	36.71748410	1.000000	12.8668492
18	40.70974563	0.999999586	8.55714638
19	47.58314878	0.99999809	13.72725875
20	36.72197053	0.999995123	6.27319663
21	22.46266692	0.99995957	35.3748575
22	21.97930279	0.99999738	8.0132430
23	74.5274051	0.99999397	8.60971260
24	127.5362661	0.99999970	17.9820863
25	88.03362684	0.99999820	16.2796452
ECUACION	25	27	46
PASO	5	5	5
TRAMO	RECOMPRESION	RECOMPRESION	VIRGEN

TABLA A

XIV

XV

XVI

n	b _{ev}	r _{ev}	CLASIFICACION SUCS
1	12.99948198	0.99996	MH
2	2.770133067	0.9997	CH
3	2.233390083	0.999185	MH
4	2.036536548	0.99893415	MH
5	2.806641034	0.999563312	CH
6	1.634714118	0.998197897	CH
7	2.883008863	0.999485965	CH
8	2.213609072	0.99921082	CH
9	2.668249751	0.999899632	CH
10	1.902737791	0.999779108	CH
11	1.670331127	0.999209598	CH
12	2.909663087	0.999576613	CH
13	2.263317306	0.999624351	CH
14	2.164055338	0.999898583	CH
15	2.026739351	0.999827340	CH
16	2.257989891	0.999875232	CH
17	2.731112514	0.999942101	CH
18	2.060317599	0.999439757	CH
19	2.323897462	0.99995272	CH
20	2.590310405	0.999642706	CH
21	1.231199684	0.99758353	CH
22	2.28702422	0.999862589	CH
23	6.55275509	0.99786339	CH
24	27.1972868	0.9999974454	MH
25	13.58754764	0.999977828	CH
ECUACION	25	27	
PASO	5	5	
TRAMO	VIRGEN	VIRGEN	

Del análisis de los valores tabulados en las columnas IV y VII de la tabla "A", se observa que se satisface la ecuación 32, de ahí que se demuestre que los tramos de recompresión y vírgen se vuelven rectos en la curva de compresibilidad modificada. Consecuentemente, se concluye que los coeficientes de compresibilidad γ_r y γ_v son constantes.

Por otro lado, del análisis de los valores tabulados en las columnas XII y XV de la tabla "A", también se observa que se satisface la ecuación 48, dando por resultado que la ecuación 47 es válida.

Para demostrar numéricamente la validez de la ecuación 24, se hace necesario obtener la variación de la presión vertical en relación con la deformación volumétrica unitaria.

Derivando la ecuación 47:

$$\frac{d\bar{\sigma}}{d\varepsilon_v} = b_e \cdot a_e \cdot e_n^{b_e} \cdot \varepsilon_v \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 49$$

Sustituyendo la ecuación 47 en la ecuación 49.

$$\frac{d\bar{\sigma}}{d\varepsilon_v} = b_e \cdot \bar{\sigma} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 50$$

El módulo de rigidez confinado del suelo, obtenido de la prueba de consolidación unidimensional está dado por la relación:

$$E_C = \frac{d\bar{\sigma}}{\varepsilon_v} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 51$$

E_C : módulo de rigidez confinado.

Igualando las ecuaciones 51 y 50:

$$E_C = b_e \cdot \bar{\sigma} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 52$$

Sea la deformación volumétrica unitaria dada por la relación:

$$\varepsilon_v = \frac{dV}{V} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 53$$

Sustituyendo la ecuación 53 en la ecuación 21:

$$m_v = - \frac{\varepsilon_v}{d\bar{\sigma}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 54$$

Igualando las ecuaciones 51 y 54:

$$E_c = \frac{-1}{m_v} \quad \text{_____} \quad 55$$

Sustituyendo la ecuación 55 en la ecuación 52:

$$m_v = \frac{-1}{b_e \cdot \bar{\sigma}} \quad \text{_____} \quad 56$$

Ahora se hace una correlación potencial entre los valores tabulados en las columnas III y XI y otra entre los valores tabulados en las columnas VI y XIV de la tabla "A".

Sean:

$$x = \text{Ln } Y \quad \text{_____} \quad 57$$

$$y = \text{Ln } b_e \quad \text{_____} \quad 58$$

Sustituyendo las ecuaciones 57 y 58 en las ecuaciones 25 y 26 se obtiene la ecuación:

$$b_e = a_p \gamma^{b_p} \quad \text{_____} \quad 59$$

a_p : coeficiente de correlación de la regresión potencial.

. para el tramo de recompresión: $a_p = a_{pr}$

. para el tramo virgen : $a_p = a_{pv}$

b_p : coeficiente de correlación de la regresión potencial.

. para el tramo de recompresión: $b_p = b_{pr}$

. para el tramo virgen : $b_p = b_{pv}$

Para comprobar la calidad del ajuste, al sustituir los valores de las ecuaciones 57 y 58 en la ecuación 27 se debe cumplir que:

$$r_p \longrightarrow - 1.0 \quad \text{_____} \quad 60$$

r_p : coeficiente de correlación de la regresión potencial.

. para el tramo de recompresión: $r_p = r_{pr}$

. para el tramo vírgen : $r_p = r_{pv}$

De la aplicación de las ecuaciones de correlación se obtiene el siguiente resultado:

$$b_{er} = 0.971299509 \quad \gamma_r \quad -1.005692354 \quad \text{_____} \quad 61$$

$$r_{pr} = -0.999937566 \quad \text{_____} \quad 62$$

$$b_{ev} = 0.902634265 \quad \gamma_v \quad -1.034003966 \quad \text{_____} \quad 63$$

$$r_{pv} = -0.998967121 \quad \text{_____} \quad 64$$

Suponiendo que el valor de b_e se pudiera estimar por medio de la relación:

$$b_e = \frac{1}{\gamma} \quad \text{_____} \quad 65$$

El error que se cometería en relación con la ecuación 59 está dado por:

$$\epsilon_q = 100. \frac{a_p \cdot \gamma \quad b_p - \frac{1}{\gamma}}{a_p \cdot \gamma \quad b_p} \quad \text{_____} \quad 66$$

Y, el error que se cometería en relación con la ecuación 25 y las ecuaciones 28 y 29 está dado por:

$$\epsilon_q = 100 \frac{\frac{1}{\gamma} - b_e}{b_e} \quad \text{_____} \quad 67$$

El resultado de aplicar las ecuaciones 66 y 67, se puede apreciar en la tabla siguiente:

n	ϵ_{rx}	$\epsilon_{v\%}$	ϵ'_{rx}	$\epsilon'_{v\%}$
1	-0.721253790	-1.462089936	1.4006	2.0969
2	-1.152184750	-6.814841218	1.0560	5.6367
3	-0.54366088	-7.441203379	7.2763	10.3250
4	-0.738060708	-7.725696290	1.1569	11.9370
5	-0.822701051	-6.706612261	0.9590	7.4178
6	-0.032547160	-8.40485595	1.1616	15.9195
7	-0.920381325	-6.586862242	1.4250	8.0830
8	-1.145240909	-7.479323729	1.9870	10.1560
9	-0.616041226	-7.027015309	2.8794	3.4533
10	-0.824977125	-8.20299823	3.2019	5.2019
11	-1.090023780	-6.512830644	1.0980	10.1744
12	-0.995324399	-6.579991759	1.3480	7.2960
13	-0.739436344	-7.509158039	5.11060	6.6610
14	-0.903609034	-7.790907131	2.6214	3.4829
15	-0.968887549	-7.992050499	3.8117	4.5992
16	-0.673462380	-7.621093573	2.1069	3.8847
17	-0.6633418280	-6.971611312	0.2295	2.6330
18	-0.801488195	-7.798423231	0.6865	6.4707
19	-0.715167735	-7.570246155	1.2980	2.3511
20	-0.660324786	-7.023125591	7.4526	6.6801
21	-1.134675426	-9.364105773	2.1625	16.7825
22	-1.156689103	-7.567734559	6.2749	4.0727
23	-0.454316543	-3.786599475	8.2620	4.0848
24	-0.151357368	1.001163021	-5.3182	5.3320
25	-0.361221802	-1.325926065	0.4566	1.6130
MAXIMO	-1.156689103	-9.364105773	8.2620	16.7825
MINIMO	-0.151357368	1.001163021	-5.3182	1.6130
MEDIO	-0.807583796	-6.490557578	2.3642	6.8199
RESTAN.	-0.247394583	-2.379272272	2.7306	4.1769
ECUACION	66	66	67	67
COLUMNA	III	VI	III	VI
RAMO	RECOMPRESION	VIRGEN	RECOMPRESION	VIRGEN

El análisis de los valores anteriores, se concluye que es válido aplicar al coeficiente b_e utilizando la ecuación 65, por lo tanto, sustituir esta ecuación en la ecuación 56:

$$m_v = \frac{Y}{\sigma}$$

68

lo que se demuestra numéricamente esta relación.

CAPITULO V

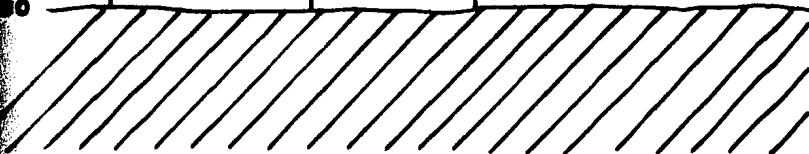
EJEMPLO COMPARATIVO

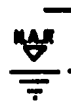
En el ejercicio que se presenta a continuación, se estima la magnitud de la deformación del suelo al aplicarle una sobrecarga de 10 Ton/m², distribuida uniformemente en un área rectangular de 20 x 30 m. Dicha estimación se realizará a manera de comparación por medio de los dos procedimientos siguientes:

- a) Utilizando la teoría tradicional.
- b) Utilizando la teoría de deformación no lineal

Las características del suelo se obtuvieron de un sondeo mixto que se llevó a cabo en la esquina que forman las calles de Ticomán y Pernambuco en el Distrito Federal y se muestran en la figura 6.

E S T R A T I G R A F I A

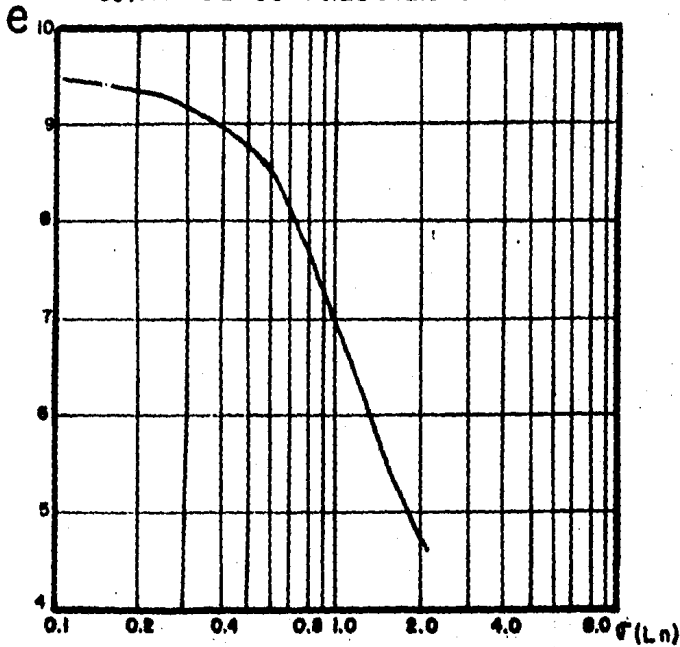
COTIZACION	ESTRATO	CLASIFICACION SUCS	MASA VOLUMETRICAS
100	1	CH-MH	$\gamma = 1.20 \text{ T/M}^3$
100	2	CH	$\gamma = 1.10 \text{ T/M}^3$
100	2	CH	$\gamma = 1.10 \text{ T/M}^3$
100	3	CH	$\gamma = 1.30 \text{ T/M}^3$
100	3	CH	$\gamma = 1.30 \text{ T/M}^3$
100	4	MH	$\gamma = 1.42 \text{ T/M}^3$
100	4	MH	$\gamma = 1.42 \text{ T/M}^3$
100	5	CH	$\gamma = 1.35 \text{ T/M}^3$
100	6	MH	$\gamma = 1.30 \text{ T/M}^3$
100	7	CH-ML	$\gamma = 1.40 \text{ T/M}^3$
100	8	CH	$\gamma = 1.45 \text{ T/M}^3$
100			

NOTA:

 SE SUPONE
 EL NIVEL
 DEL MAR

CAPA
DURA No.1

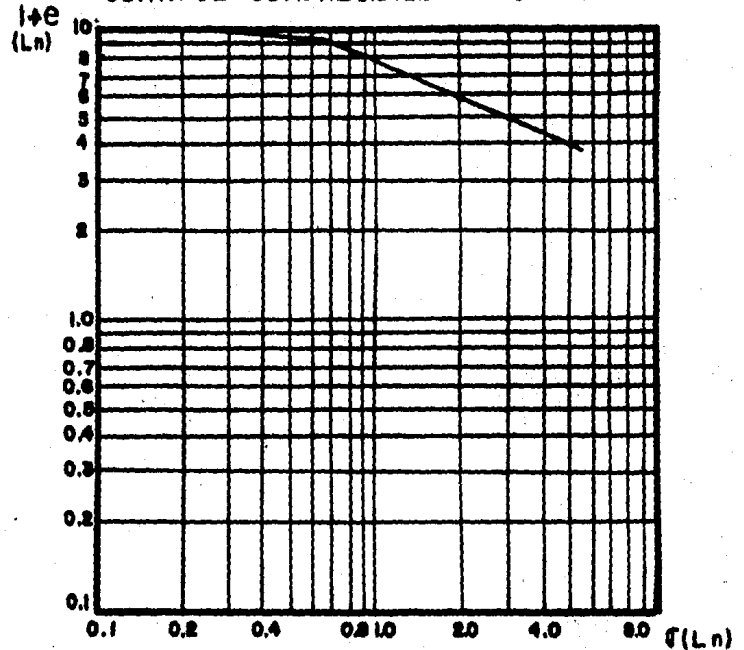
FIGURA 6

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm^2

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

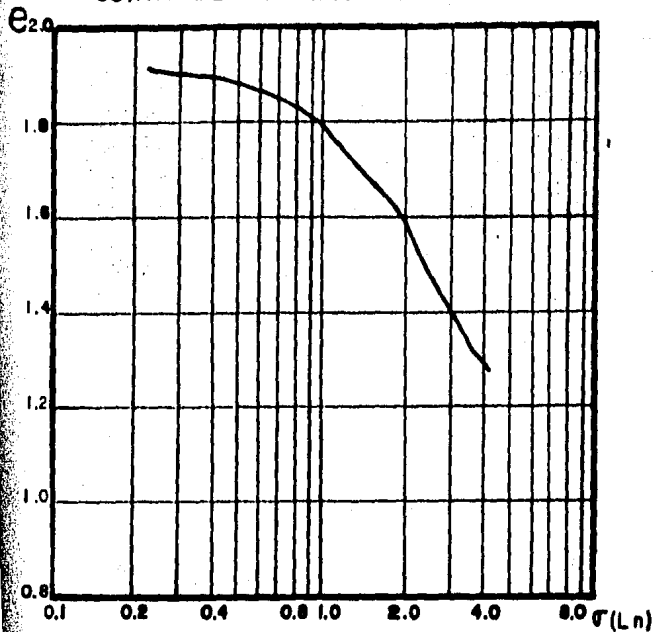


PRESION EN KG/cm^2

GRAFICA No. E1

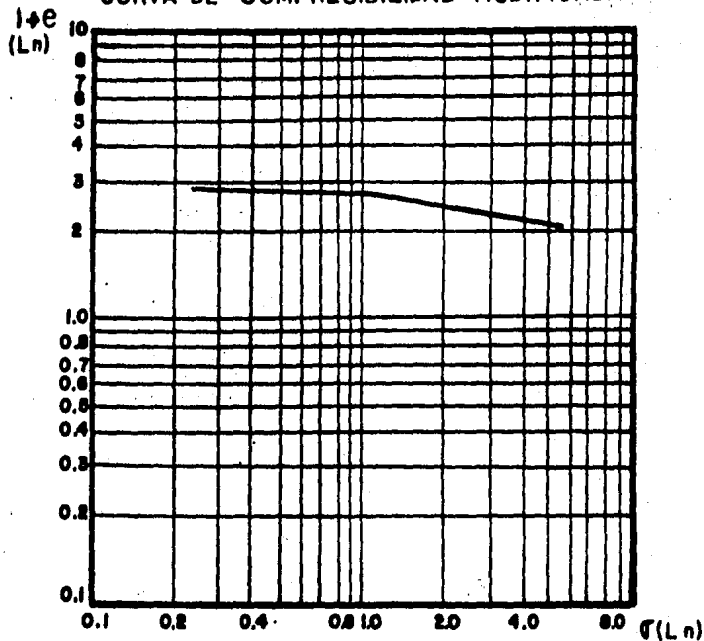
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	4.5
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s		—
RELACION DE VAGIOS INI.	S_0		0.83
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	581.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—
LIMITE PLASTICO	LP	%	—
INDICE PLASTICO	IP	%	—
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ_v	KG/cm^2	—
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ_c	KG/cm^2	0.8
CLASIFICACION SUGS			CH-NH
LOCALIZACION EN CAMI:			TIGOMAN Y PERANABUCO
PESO HUMEDO	γ_m	KG/m^3	—

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm^2

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

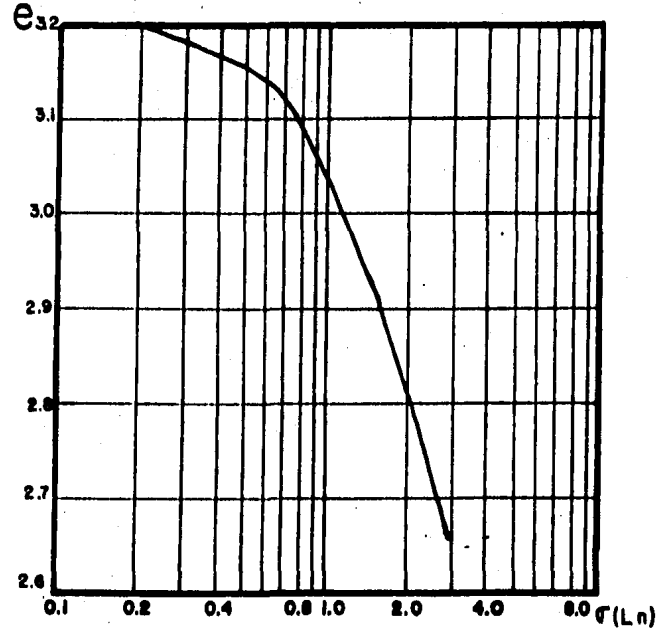


PRESION EN KG/cm^2

GRAFICA No E.2

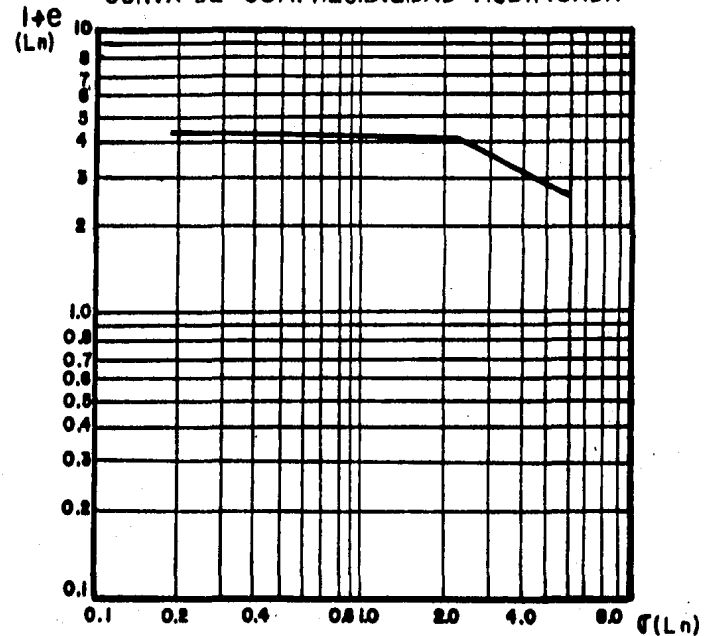
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	7.80
DENSIDAD DE SOLIDOS	S_s		—
RELACION DE VAGIOS INI.	C_m		1.89
CONTENIDO MAX. DE AGUA	w	%	85.6
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—
LIMITE PLASTICO	LP	%	—
INDICE PLASTICO	IP	%	—
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm^2	—
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ'_c	KG/cm^2	—
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMI			YICOMAN Y PERNAMBUCO
PERO HUMEDO	w_m	KG/cm^2	—

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

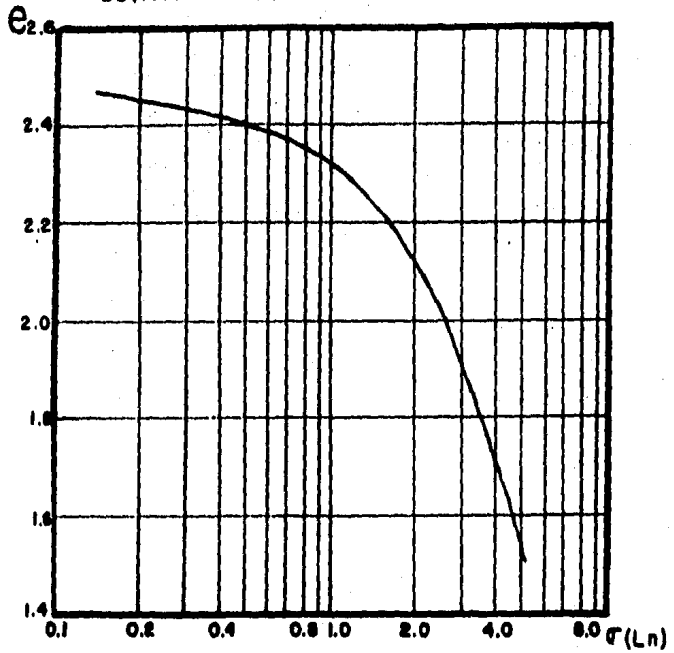


PRESION EN KG/cm²

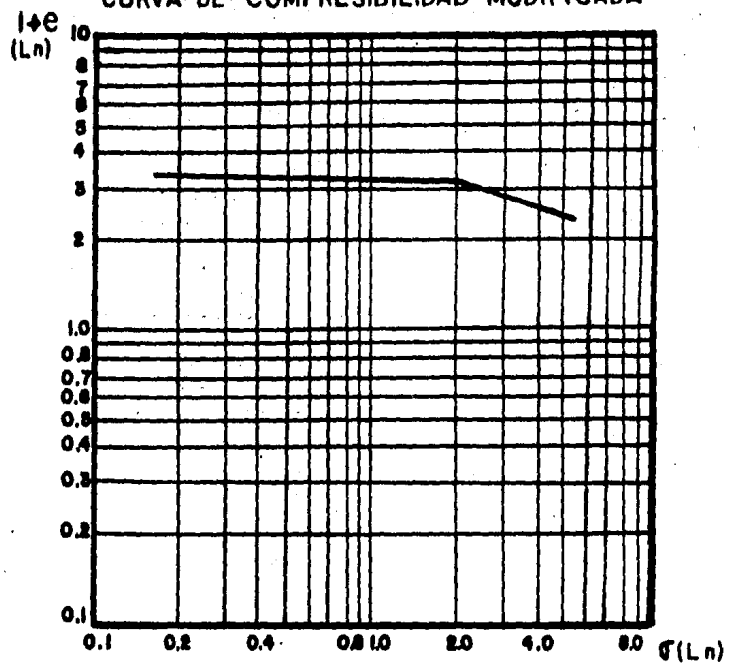
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	10.0
DENSIDAD DE SOLIDOS	Sp		
RELACION DE VAGIOS INI.	ea		3.23
CONTENIDO NAT. DE AGUA	w	%	139.65
LIMITE LIQUIDO	LL	%	
LIMITE PLASTICO	LP	%	
INDICE PLASTICO	IP	%	
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	σ _h	KG/cm ²	
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAPAS			TICOMAN Y PERNAMBUCO
PLSO HUMEDO	w _h	%	

GRAFICA No E3

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



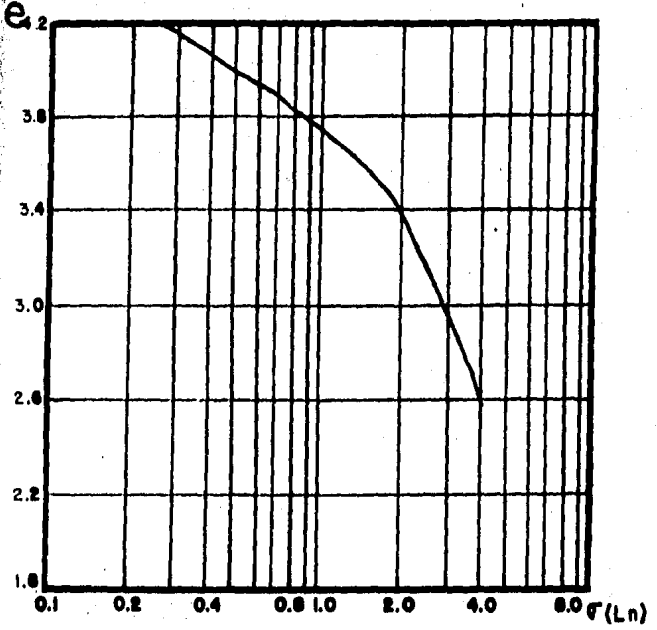
PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

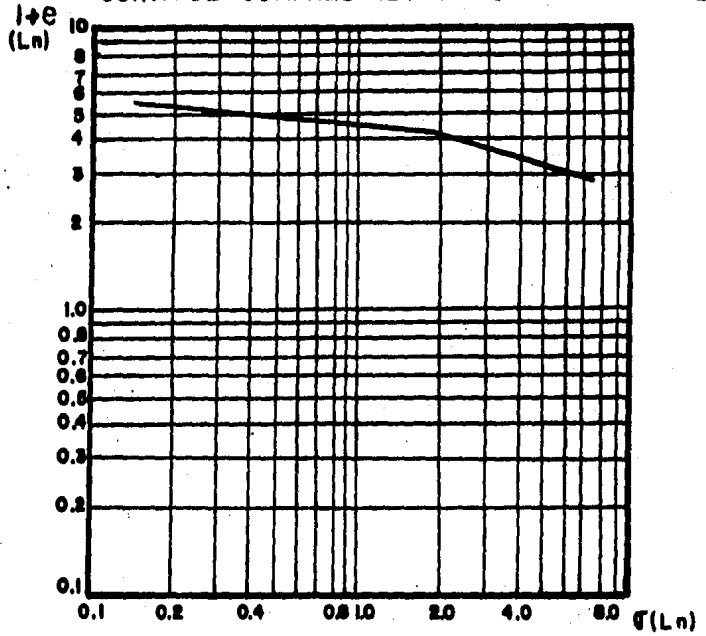
GRAFICA No E4

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	12.5
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		145.0
CONTENIDO MAX. DE A.G.U.	w	%	
LIMITE LIQUIDO	LL	%	
LIMITE PLASTICO	LP	%	
INDICE PLASTICO	IP	%	
PRESION SELECTIVA INICIAL	c	KG/cm ²	
P. DE PRECONSOLIDACION A.C.	c _v	KG/cm ²	
CLASIFICACION SUCS			MH
LOCALIZACION EN C.M.V.			TIGONAN Y PERNAMBUCO
PLSO HUMEDO	v _m	KG/m ³	

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



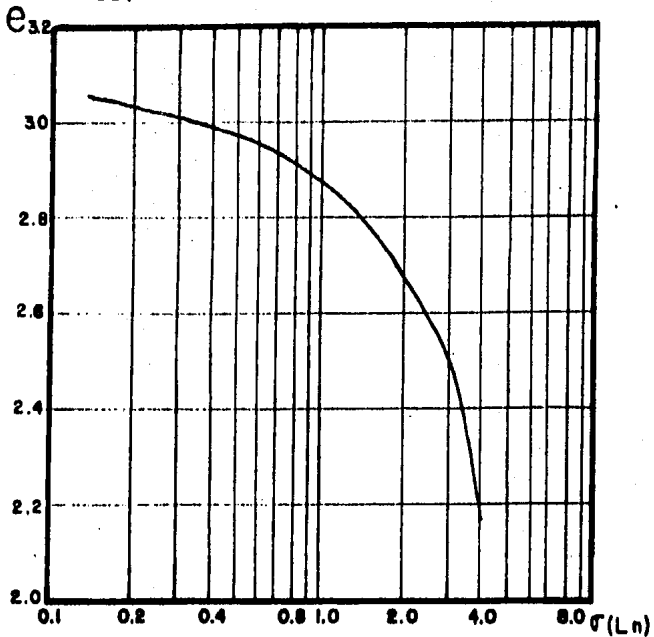
PRESION EN KG/cm²

PRESION EN KG/cm²

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION. LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	15.6
DENSIDAD DE SOLIDOS	Ss		—
RELACION DE VACIOS INI.	So		4.18
CONTENIDO NAT. DE A.G.	w	%	175.8
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—
LIMITE PLASTICO	LP	%	—
INDICE PLASTICO	IP	%	—
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ	KG/cm ²	—
P. DE PRECONSOLIDACION A.G.	σ _c	KG/cm ²	—
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMI.			TICOMAN Y PERNAMBUCO
PSO HUMEDO	σ _m	KG/cm ²	—

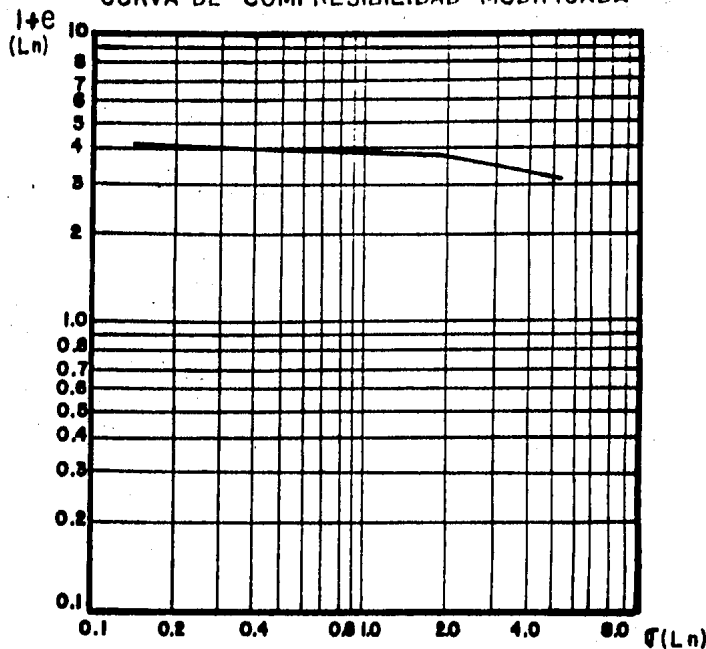
GRAFICA No E5

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TÍPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

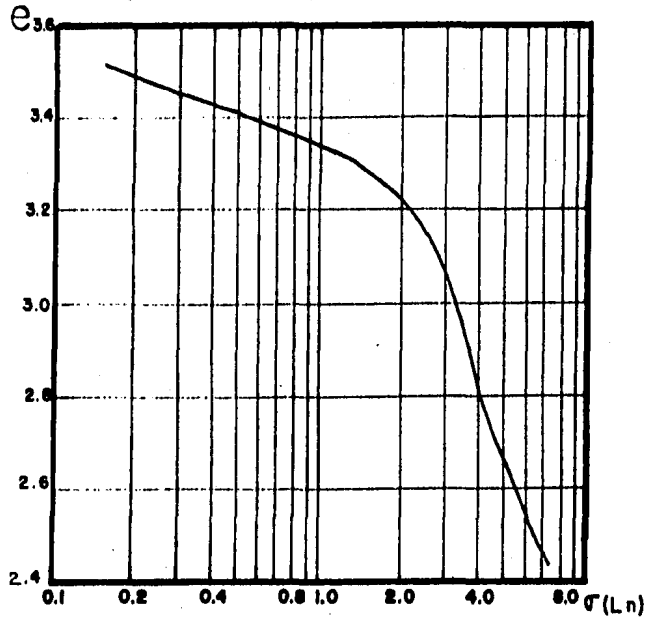


PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No. E.6

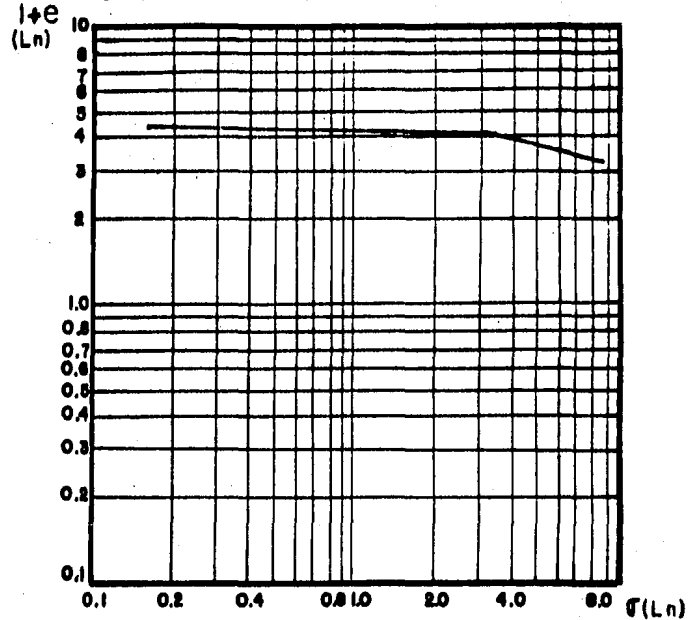
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	19.5
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		—————
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		3.09
CONTENIDO DE AGUA W (%)	w	%	144.7
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—————
LIMITE PLASTICO	LP	%	—————
INDICE PLASTICO	IP	%	—————
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ'	KG/cm ²	—————
PRESION PRECONSOLIDACION σ _c	σ _c	KG/cm ²	—————
CLASIFICACION SUCS			MH
LOCALIZACION EN CAMPO			TICOMAN Y PERNAMBUCO
PES. HUMED.	w _m	KG/cm ³	—————

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA

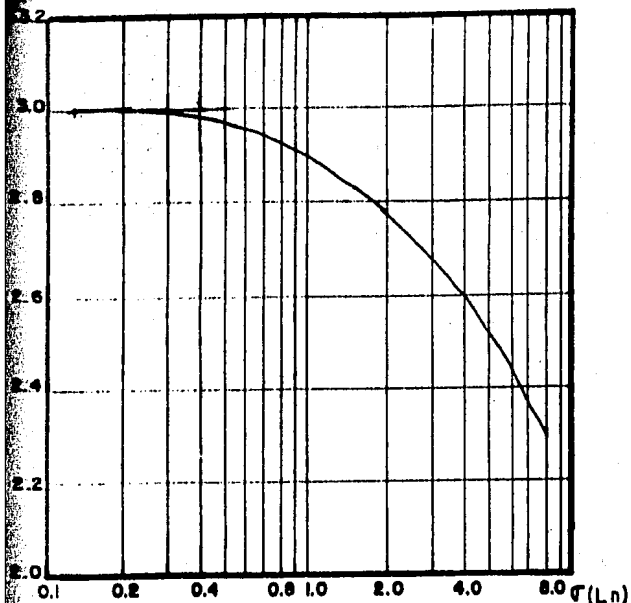


PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No E.7

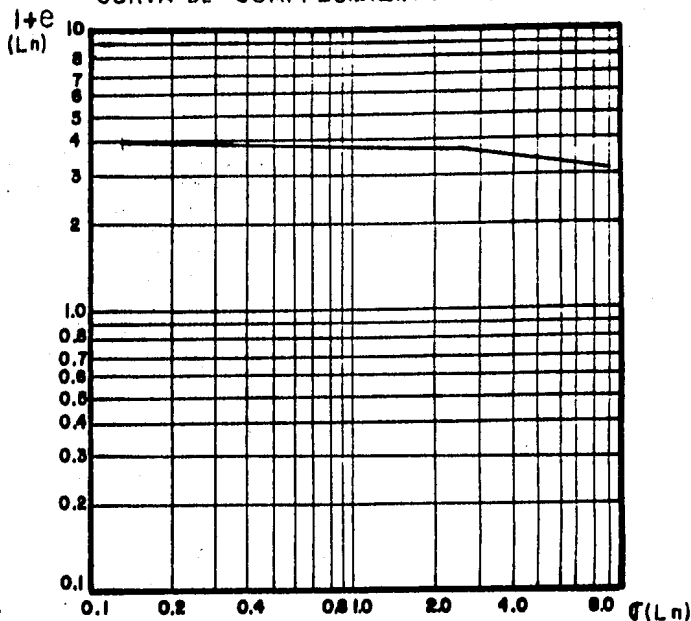
CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	24.0
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		—
RELACION DE VACIOS INI.	e ₀		3.53
GRANDEZA W = 7.0%	w	%	182.0
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—
LIMITE PLASTICO	LI	%	—
LIMITE PLASTICI	IP	%	—
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ _v	KG/cm ²	—
INTE FLECCIONACION A.C.	σ _v	KG/cm ²	—
CLASIFICACION SUCS			CH - ML
LOCALIZACION EN CAMPO			TIGOMAN Y PERNANBUCO
PRES. HUMEDA	σ _m	KG/cm ²	—

CURVA DE COMPRESIBILIDAD TIPICA



PRESION EN KG/cm²

CURVA DE COMPRESIBILIDAD MODIFICADA



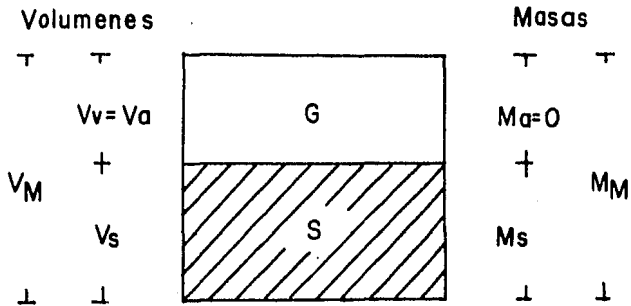
PRESION EN KG/cm²

GRAFICA No E8

CONCEPTO	SIMBOLO	UNIDADES	MAGNITUD, CLASIFICACION, LOCALI.
PROFUNDIDAD	z	metro	30.0
DENSIDAD DE SOLIDOS	S _s		—
RELACION DE VAGIOS INI.	e ₀		3.08
CONTENIDO DE AGUA (w)	w	%	134.5
LIMITE LIQUIDO	LL	%	—
LIMITE PLASTICO	LI	%	—
INDICE PLASTICO	IP	%	—
PRESION EFECTIVA INICIAL	σ _v	KG/cm ²	—
P.P.E. PRECONSOLIDACION A.C.	σ _c	KG/cm ²	—
CLASIFICACION SUCS			CH
LOCALIZACION EN CAMPO			TIGOMAN Y PERNAMBUCO
PISC. HOMLEC	σ _m	KG/cm ²	—

DETERMINACION DE LA MASA VOLUMETRICA DE LA PORCION SECA.

Sea:



$$\begin{aligned}
 V_s &= 1 \\
 e_o &= V_v \\
 V_M &= 1 + e_o \\
 S_s &= \frac{M_s}{V_s \gamma_o} \\
 M_s &= S_s \gamma_o
 \end{aligned}$$

Se deduce:

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + e_o} \gamma_o$$

CALCULO DE LAS PRESIONES TOTAL, HIDROSTATICA Y EFECTIVA

Sea la presión total σ dada por la relación:

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^i (\gamma \cdot z)_j \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 70$$

j: estrato i

la presión hidrostática μ_h tal que:

$$\mu_{hi} = \gamma_0 \cdot z_i \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 71$$

y la presión efectiva inicial $\bar{\sigma}_0$ dada por la diferencia de las ecuaciones 70 y 71:

$$\bar{\sigma}_{0i} = \sigma_i - \mu_{hi} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 72$$

Al sustituir los valores de las profundidades y las masas volumétricas tabuladas en la figura 6 en las ecuaciones 70, 71 y 72 se forma la tabla B.

Profundidad (m)	σ (Total) (T/m ²)	μ_h (hidrostática) (T/m ²)	$\bar{\sigma}_o$ (efectiva) (T/m ²)
2.45	0.56	0.00	0.56
3.50	0.81	0.00	0.81
4.90	2.41	1.40	1.09
5.10	2.77	1.60	1.17
6.15	3.93	2.65	1.28
7.20	5.08	3.70	1.38
7.40	5.37	3.90	1.47
9.15	7.64	5.65	1.99
10.90	9.92	7.40	2.52
11.10	10.22	7.60	2.62
12.20	11.78	8.70	3.08
13.30	13.34	9.80	3.54
15.80	16.72	12.30	4.42
18.30	20.09	14.80	5.29
19.50	21.65	16.00	5.65
20.70	23.21	17.20	6.01
23.35	26.92	19.85	7.07
26.00	30.63	22.50	8.13
28.50	34.26	25.00	9.26
31.00	37.88	27.50	10.38

Tabla B

ESTIMACION DE LA PRESION INDUCIDA POR LA SOBRECARGA

Su determinación a las diferentes profundidades se hará empleando la ecuación de Boussinesq para áreas rectangulares uniformemente cargadas.

$$\Delta\sigma = \frac{\omega}{4\pi} \left[\frac{AB^{1/2}}{B+C} \cdot \frac{D}{B} + \text{ATN} \frac{AB^{1/2}}{B-C} \right] \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 73$$

$\Delta\sigma$: Presión inducida a la profundidad z por la sobrecarga.

ω : Sobrecarga.

A = 2 m n		74
B = m ² + n ² + 1		75
C = m ² n ²		76
D = B + 1		77
m = x / z		78
n = y / z		79

x: ancho de la sobrecarga.

y: longitud de la sobrecarga.

Sustituyendo valores en la ecuación 73 se forma la tabla siguiente:

Estrato	Profundidad (al centro del estrato) (m)	$\Delta\sigma$ (al centro del área cargada) (T/m ²)
1	2.45	9.93
2	6.15	9.19
3	9.15	8.09
4	12.20	6.86
5	15.80	5.53
6	19.50	4.41
7	23.55	3.52
8	28.50	2.65

Tabla C

CALCULO DE LA DEFORMACION TOTAL

a) Por medio de la Teoría Tradicional.

Sea la expresión:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1+e_0} \cdot H$$

80

- Δe : Cambio del volumen de vacíos
- e_0 : Volumen de vacíos inicial
- ΔH : Deformación del estrato
- H: Espesor del estrato

Con los datos de las tablas B y C, las curvas de compresibilidad del suelo y la ecuación 80 se forma la tabla D.

Estrato	$\bar{\sigma}_0$ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_0 + \Delta\sigma$ (kg/cm ²)	e_0	e	Δe	Espesor (cm)	ΔH (cm)
1	0.056	0.99	1.05	9.5	6.56	2.94	490	137.2
2	0.13	0.92	1.05	1.97	1.78	0.19	210	13.43
3	0.20	0.81	1.01	3.23	3.12	0.11	350	9.10
4	0.31	0.69	1.0	2.42	2.35	0.07	220	4.50
5	0.44	0.55	0.99	3.89	3.84	0.05	50	0.51
6	0.57	0.44	1.01	2.99	2.91	0.08	240	4.81
7	0.71	0.95	1.06	3.38	3.34	0.04	530	4.84
8	0.93	0.27	1.20	2.94	2.91	0.03	50	0.38

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_T = 174.77 \text{ cm}$$

ΔH_T : Deformación de la masa del suelo

Tabla D.

Analizando el resultado se observa que desplantando en la superficie se tiene un asentamiento al centro de la sobrecarga de 1.75 m, mayor que el permisible (30 cm)*; haciéndose necesaria una compensación parcial.

Suponiendo que el cuerpo de la sobrecarga es impermeable, del diagrama de presiones totales de la tabla B se tiene que para 11.0m de profundidad la deformación del suelo es nula, ya que la magnitud de la sobrecarga es igual a la masa del suelo excavado. De la tabla D se observa que el estrato 1 es el de mayor deformación contribuyendo con un 78.5% de la deformación total; de ahí que se proponga una profundidad de desplante de 4.9 m.

La masa del suelo excavada es de 2.485 T/m². La estimación de las presiones inducidas por la sobrecarga compensada $W_c = 10 - 2.485 = 7.515$ T/m² se presenta en la tabla siguiente:

Estrato	Profundidad corregida (al centro del estrato) (m)	$\Delta\sigma$ (al centro del área cargada) (T/m ²)
2	6.15	7.51
3	9.15	7.28
4	12.20	6.61
5	15.80	5.55
6	19.50	4.47
7	23.35	3.53
8	28.50	2.61

Tabla E

Las nuevas deformaciones se presentan en la Tabla F.

* Normas Técnicas Complementarias para el Reglamento de Construcciones del D.D.F. Informe 400 Requisitos de Seguridad y Servicio I.I.

trato	$\bar{\sigma}_0$ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_0 + \Delta\sigma$ (kg/cm ²)	e_0	e	Δe	Espesor (cm)	ΔH (cm)
2	0.13	0.75	0.88	1.97	1.81	0.16	210	11.31
3	0.20	0.73	0.93	3.23	3.13	0.10	350	8.68
4	0.31	0.66	0.97	2.42	2.35	0.07	220	4.50
5	0.44	0.56	1.00	3.89	3.84	0.05	50	0.51
6	0.57	0.45	1.02	2.99	2.90	0.09	240	5.41
7	0.71	0.35	1.06	3.38	3.34	0.04	530	4.84
8	0.93	0.26	1.19	2.94	2.91	0.03	50	0.38

$$\Delta H_T = 35.63 \text{ cm}$$

Tabla F

De la práctica se sabe que las deformaciones totales calculadas son, en promedio, de dos a cinco veces mayores que las reales; de ahí que se acepten la deformación total obtenida y la profundidad de desplante.

b) Por medio de la teoría de deformación no lineal,

De la ecuación 17:

$$de = a_v d\bar{\sigma} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 81$$

De la ecuación 80,

$$dH = \frac{de}{1 + e_0} \cdot H \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 82$$

Sustituyendo la ecuación 81 en la ecuación 82:

$$dH = \frac{a_v}{1 + e_0} d\bar{\sigma} \cdot H \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 83$$

Sustituyendo la ecuación 16 en la ecuación 83:

$$dH = m_v \cdot d\bar{\sigma} \cdot H \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 84$$

Sustituyendo la ecuación 24 en la ecuación 84:

$$dH = \frac{\gamma}{\bar{\sigma}} \cdot d\bar{\sigma} \cdot H \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 85$$

Integrando la ecuación 85 desde la presión σ_1 hasta la presión σ_2 :

$$\int dH = \gamma \cdot H \cdot \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \frac{d\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}$$
$$\Delta H = \gamma \cdot H \cdot \text{Ln} \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right] \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 86$$

Para el tramo de recompresión:

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_r \\ \sigma_1 &= \bar{\sigma}_0 \\ \bar{\sigma}_0 &\leq \sigma_2 \leq \sigma_b \end{aligned}$$

Para el tramo vírgen:

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_v \\ \sigma_1 &= \sigma_b \\ \sigma_2 &\geq \sigma_b \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de las curvas de compresibilidad del suelo (gráficas E-2 a E-8) en las ecuaciones 25 y 35 se obtiene el resultado siguiente:

Curva de Compresibilidad	γ_r	γ_v	σ_b (Kg/cm ²)
E2	- 0.0256804	- 0.15031030	1.035
E3	- 0.0103565092	- 0.3981492958	2.3076
E4	- 0.01675861373	- 0.2876373686	1.977
E5	- 0.077446152766	- 0.28756012756	1.9631
E6	- 0.0165489863	- 0.2532010989	1.997
E7	- 0.01804129312	- 0.289045601	3.254
E8	- 0.00312350923	- 0.1723672131	2.66377

Tabla G

Al sustituir los valores de la tabla G en la ecuación 86, se obtiene la magnitud de las deformaciones. Los resultados se muestran en la Tabla H.

Estrato	$\bar{\sigma}_0$ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_0 + \Delta\sigma$ (kg/cm ²)	Espesor (cm)	ΔH (cm)
2	0.13	0.75	0.88	210	10.40
3	0.20	0.73	0.93	350	5.57
4	0.31	0.66	0.97	220	4.22
5	0.44	0.56	1.00	50	3.15
6	0.57	0.45	1.02	240	2.31
7	0.71	0.35	1.06	530	3.88
8	0.93	0.26	1.19	50	0.04

$$\Sigma\Delta H = \Delta H_T = 29.77 \text{ cm}$$

Tabla H

De la tabla H se observa que la deformación obtenida es de 29.77 cm de ahí que se acepte la profundidad de desplante.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

A) La pendiente de la curva de compresibilidad modificada (γ) es constante, lo cual significa que no depende del nivel de presiones a diferencia de la pendiente de la curva típica de compresibilidad (C_c) por lo tanto, el cálculo de asentamientos tiende a ser más simple.

B) Para la estimación de la carga de preconsolidación (σ_b) en la curva típica de compresibilidad se aplica el procedimiento desarrollado por Arthur Casagrande, el cual no siempre conduce a los resultados deseados; un procedimiento alternativo surge de la curva de compresibilidad modificada en la que la carga de preconsolidación se visualiza directamente como el punto de intersección de los tramos de recompresión y vírgen, siendo ambos rectos con diferente pendiente. Nótese, que con este procedimiento se obtiene la magnitud de la carga de preconsolidación de laboratorio, la cual se supone menor que la carga de preconsolidación de campo; de lo anterior se recomienda que los resultados de la prueba de consolidación unidimensional se presenten de la manera previamente expuesta.

C) No siempre es necesario llevar a cabo la prueba de consolidación unidimensional para conocer las características esfuerzo-deformación de los suelos; la alternativa es el empleo de correlaciones estadísticas, las cuales tienen hasta el momento un valor muy limitado; pero aún cuando falte mucho por hacer se ha observado que las correlaciones en que interviene la pendiente de la curva de compresibilidad modificada y en su caso la carga de preconsolidación, son más confiables.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mecánica de Suelos, Juárez Badillo - Rico Rodríguez.
Tomos I y II.
Editorial Limusa, México.
- Symposium on Recent Developments in the Analysis of Soil Behaviour
and their Application to Geotechnical Structures.
University of New South Wales Kensington, N.S.W., Australia.
Julio 1975.
- Probability and Statistics for Engineers, I. Miller and J.E.
Freund.
Prentice Hall. New York, U.S.A.
- Normas Técnicas Complementarias para el Reglamento de Construc-
ciones del Departamento del D.F.
Informe 400, Requisitos de Seguridad y Servicio.
Instituto de Ingeniería, UNAM, México.