

**PRIMER ENCUENTRO NACIONAL
DE INGENIEROS DE
SUELOS Y ESTRUCTURAS**

**PANORAMA GENERAL DE LAS ARCILLAS
EXPANSIVAS
Y SU EFECTO SOBRE EDIFICACIONES**

Ing. ROBERTO MALDONADO G.

Santafé de Bogotá, 4,5 y 6 Septiembre de 1991

**PANORAMA GENERAL DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS Y
SU EFECTO SOBRE EDIFICACIONES**

IDENTIFICACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS

En Octubre de 1959 hubo un congreso de suelos en el "Colorado School of Mines" dedicado a arcillas expansivas.

Entre las contribuciones al congreso había un trabajo presentado por Lambe y Whitman con las siguientes conclusiones:

- 1) El mecanismo de esfuerzos dentro de las arcillas que se expanden es bastante oscuro.
- 2) La expresión $\text{esfuerzo efectivo} = \text{presión intergranular} - \text{presión de poros}$, no correlaciona bien con el comportamiento observado de arcillas expansivas.
- 3) A pesar de estas dificultades, el esfuerzo efectivo es la mejor herramienta, disponible hoy en día, para predecir cambios en resistencia al esfuerzo cortante y cambios de volumen en arcillas expansivas.
- 4) Se requiere medir en el campo las presiones de poros con relación a arcillas expansivas.

En estas conclusiones está la clave de los desarrollos posteriores que han permitido predecir con un grado de acierto satisfactorio el comportamiento de suelos expansivos en condiciones específicas de clima, presiones intergranulares, posibilidades de humedecimiento, etc.

En este simposio como en muchos que se han efectuado en los años siguientes se han propuesto sistemas para evaluar las deformaciones que pueden esperarse al construir con diversos sistemas sobre suelos expansivos.

Un cuadro general de las variables consideradas se incluye a continuación con comentarios sobre valores límites que se han encontrado aplicables a condiciones locales.

Límites Líquidos.— Los valores altos indican mayor retención de humedad para llegar a fluir y probablemente mayor actividad eléctrica y iónica. Valores por encima de 70% indican posibilidad de arcillas expansivas. La bentonita sódica puede llegar a tener 600% de límite líquido. En la Sabana de Bogotá hay muchos suelos con Límites mayores que no son expansivos, pero que si tienen alta contracción.

Límite Plástico.— Cuando hay una diferencia grande entre el Límite Líquido y el Plástico, o sea un índice de plasticidad alto, hay una gama importante de posibilidad de cambio de humedad y por lo tanto de cambio de volumen.

Límite de Contracción.— Es la humedad que corresponde al punto en que el suelo deja de contraerse al reducir su humedad en el horno. Entre más bajo sea, la posibilidad de variación de humedades es mayor. Siempre que los Límites Líquidos sean altos, un valor de contracción de 12% e inferior es un buen índice de posibilidad de arcillas expansivas.

Humedad Natural.— Cuando esta es baja en arcillas de alto Límite Líquido y alta plasticidad, es factible que se produzca el humedecimiento necesario para la expansión.

Granulometría y Coloides.— Si la arcilla potencialmente expansiva tiene cantidades de arena importantes, las posibilidades de que en el campo sea expansiva son pequeñas. Si el análisis granulométrico por hidrómetro corresponde a tamaños de arcilla, las posibilidades de expansión son grandes para plasticidades altas.

Al evaluar muestras de arcillas potencialmente expansivas usando los parámetros antes mencionados, se podría llegar a una preselección de arcillas de potencialidad media y alta para hacer ensayos que permitan hacer una cuantificación de los potenciales de expansión. A las arcillas seleccionadas se les podrían hacer ensayos como:

Expansiones en el Aparato de Lambe.— Para determinar el grado de expansividad dentro de un sistema todavía bastante cualitativo.

Expansiones en Consolidómetro.— Las variables de ensayo pueden incluir la determinación de la presión de expansión a volumen constante y luego un sistema de descarga registrando hinchamiento correspondiente partiendo de humedades que son casi siempre las correspondientes a la muestra que se ha obtenido relativamente inalterada. Si se pudiera partir de la humedad correspondiente a la más baja que pudiera existir en la arcilla expansiva en las condiciones de campo, este ensayo suministraría datos para calcular las expansiones esperadas con precisiones aceptables. En el caso de usar datos de expansión en consolidómetro hay que tener en cuenta las posibles humedades de equilibrio y tener en cuenta la posible expansión adicional partiendo de estas humedades que casi siempre son inferiores a las de la muestra ensayada. Hay otras correcciones que deben hacerse por el hecho de haber cargado la muestra con la expansión a volumen constante, reduciendo su permeabilidad.

Los sistemas de identificar arcillas expansivas antes mencionados son los que se ha usado corrientemente con resultados buenos en zonas definidas donde hay unidad de clima, mineralogía de las arcillas, experiencia en sistemas para contrarrestar sus efectos en edificaciones comunes en el área, etc.

La aplicación universal de estos sistemas en otras áreas donde no existen las experiencias antes mencionadas, ha producido frecuentemente resultados inadecuados.

Por lo anterior, el diseño de cimentaciones sobre arcillas expansivas sigue siendo difícil. Las variables de diseño pueden llegar a ser formidables y el tiempo necesario para desarrollar el suficiente conocimiento de los mecanismos de cada zona impráctico.

NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA INVESTIGACION DE SUELOS EXPANSIVOS Y DETERMINACION DE LAS EXPANSIONES ESPERADAS

En los ensayos de triaxial con medición de presión de poros, se llegaron a registrar presiones de poros negativas en contados casos. Algunos autores llamaron estas presiones de poros negativas succiones.

El profesor Escario de España fue uno de los primeros que diseñó un aparato para medir la succión en los suelos y con él pudo determinar que había succiones mucho mayores a las que el aparato podía medir. Diseñó otros aparatos de más capacidad y no llegó a los valores máximos de succión que se producen en arcillas expansivas. (1969)

Posteriormente se diseñaron aparatos para medir succión denominados "psicrómetros" que pueden cubrir toda la gama de succiones posibles en la naturaleza.

Estos aparatos consisten en medir por medio de termocuplas la caída de la temperatura al enfriar el vapor de agua que está en equilibrio con el potencial de agua del suelo circundante. Los psicrómetros bien calibrados miden indirectamente las succiones que pueden ser expresadas en unidades Pf o en medidas de presión. Las unidades Pf son el logaritmo de la altura en cm de agua equivalente en succión.

Los psicrómetros se pueden instalar en el campo en columnas que miden la succión a diferentes profundidades y permiten determinar las variaciones con el tiempo y las relaciones de las succiones con la humedad natural en el suelo. Hay psicrómetros de laboratorio basados en los mismos principios de los de campo y otros sistemas de medición de la succión, como el de papel filtro calibrado.

Usando los sistemas antes mencionados se pueden establecer relaciones entre las humedades naturales y las succiones para cualquier suelo y para una gama alta de humedades.

La Figura No. 1 adjunta es un ejemplo de estas relaciones para arcillas Africanas similares a las encontradas en algunos sitios de Colombia. Curvas como estas podrían establecerse para áreas de arcillas expansivas como en la Carretera de la Cordialidad, o en las zonas de "neme" de la Sabana de Bogotá.

CALCULO DE LAS EXPANSIONES

Brackley () en 1980 propone la expresión de la Figura No. 2 para evaluar la expansión que produce una arcilla desecada al humedecerse.

Con tal expansión se podría predecir la expansión que se produciría en una arcilla deseada a la que se le ha quitado una cantidad determinada de sobrecarga y para la cual se prevee un humedecimiento hasta llegar al equilibrio. El efecto total de expansión se podrá determinar haciendo una integración por capas, determinando las succiones en cada capa, lo mismo que las presiones intergranulares, los límites, etc.

EFFECTOS DE LA EXPANSION SOBRE LAS ESTRUCTURAS

El hinchamiento producido sobre las estructuras cimentadas sobre arcillas expansivas se traduce generalmente en movimientos diferenciales.

Estos movimientos diferenciales son del tipo mostrado en la Figura No. 3 y la ocurrencia de los mismos depende de una cantidad considerable de variables. Predecir el tipo de movimiento y su intensidad tanto total como diferencial es esencial para poder diseñar la estructura de la edificación que va a sufrir los efectos de la arcilla expansiva.

Los movimientos diferenciales de expansión con mayor hinchamiento en el centro (entumecimiento) se producen generalmente por el corte de transpiración del suelo al construir sobre una área que nunca ha tenido construcción. Este efecto también se produce al final de la época húmeda en condiciones de permeabilidad y clima que pueden causar un decremento diferencial de humedad del suelo en el perímetro con respecto al centro.

Los movimientos de expansión diferencial en que el perímetro tiene mayor hinchamiento que el centro de la edificación pueden producirse en conexión con descargas del suelo expansivo por excavación y condiciones de humedad bajas iniciales.

De acuerdo con la rigidez de la estructura y las características del diferencial de humedad y expansividad, se producirán deformaciones con poco esfuerzo cortante o con suficiente esfuerzo cortante para causar discontinuidades en la estructura sometida a los efectos del hinchamiento.

SISTEMAS DE CIMENTACION APTOS PARA ZONAS DE ARCILLAS EXPANSIVAS

Teniendo en cuenta que es difícil predecir los asentamientos diferenciales causados por la expansión y más difícil predecir el sentido de estos asentamientos en las diversas zonas afectadas de la estructura, se han hecho propuestas de tipos de cimentación seleccionadas de acuerdo con la expansión total prevista.

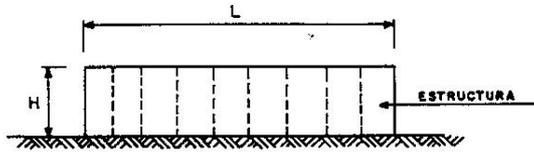
Si por refinamiento en la investigación de las arcillas expansivas y experiencia en cuanto a la cantidad y sentido de las deformaciones diferenciales producidas, se pueden cuantificar los parámetros de diseño estructural, tal diseño deberá tener en cuenta las deformaciones y su sentido lo cual producirá un diseño más económico. Puesto que lo anterior requiere un conocimiento detallado de las variables, es más práctico en la mayoría de los casos usar una aproximación estadística al diseño teniendo en cuenta el hinchamiento total previsto y la calidad de construcción obtenible.

CUADRO DE HINCHAMIENTOS PREVISTOS Y TIPOS DE CIMENTACION

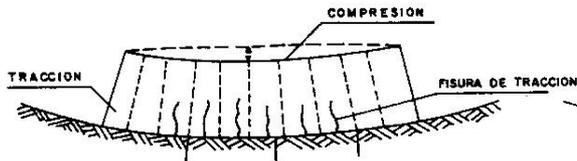
HINCHAMIENTO TOTAL	CLASIFICACION	GRUPO
0 a 0.5 cm	baja expansion	1
0.5 a 1.5 cm	sitio adecuado	2
1.5 a 5.0 cm	expansion media	3
5.0 a 10.0 cm	expansion alta	4
superior a 10 cm	expansion muy alta	5

CONCLUSIONES

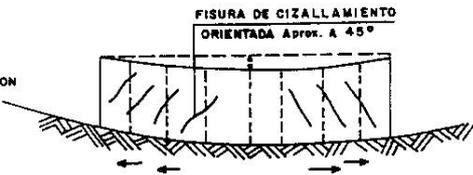
Las cimentaciones sobre arcillas expansivas son adecuadas cuando se hace una estructura que pueda soportar todas las deformaciones diferenciales y son económicas cuando se evalúan acertadamente las variables, no solamente de suelos, sino también de estructuras.



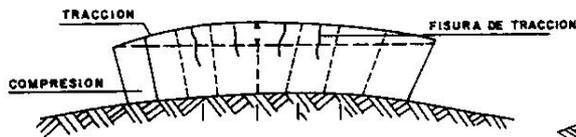
A) SIN MOVIMIENTO, ESTADO INICIAL (LAS LINEAS PUNTEADAS REPRESENTAN LA DEFORMACION DE LA ESTRUCTURA)



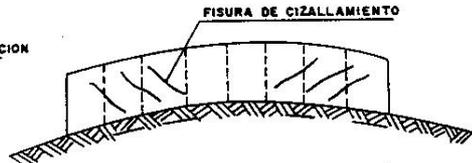
B) DEFORMACION DEL TIPO FLEXION POR ASENTAMIENTO.



D) DEFORMACION DEL TIPO CIZALLAMIENTO POR ASENTAMIENTO.



C) DEFORMACION DEL TIPO FLEXION POR HINCHAMIENTO.



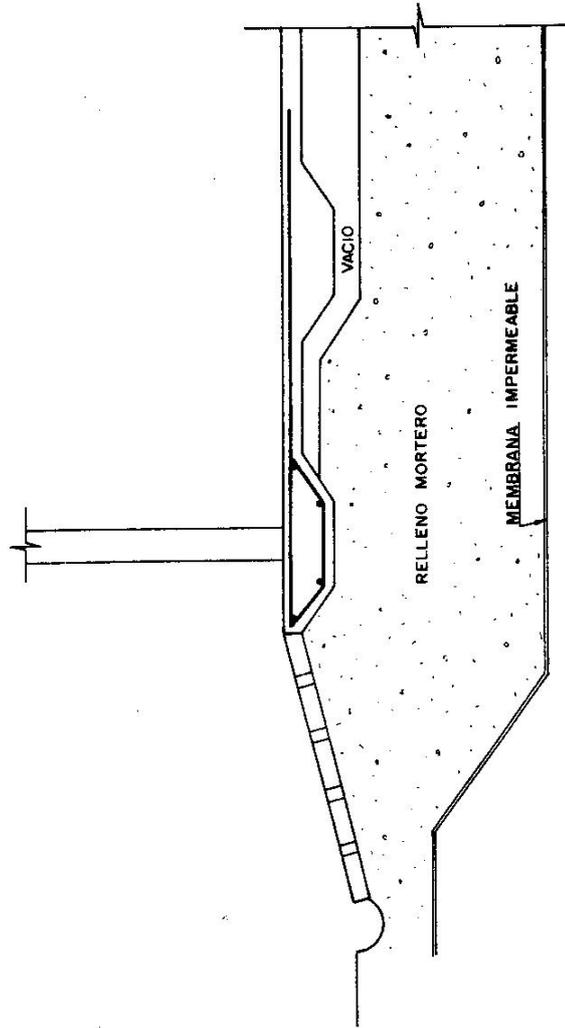
E) DEFORMACION DEL TIPO CIZALLAMIENTO POR HINCHAMIENTO.

FIGURA Nº 3

TOMADO DE "LA CONSTRUCTION ECONOMIQUE SUR SOLS GONFLANTS"

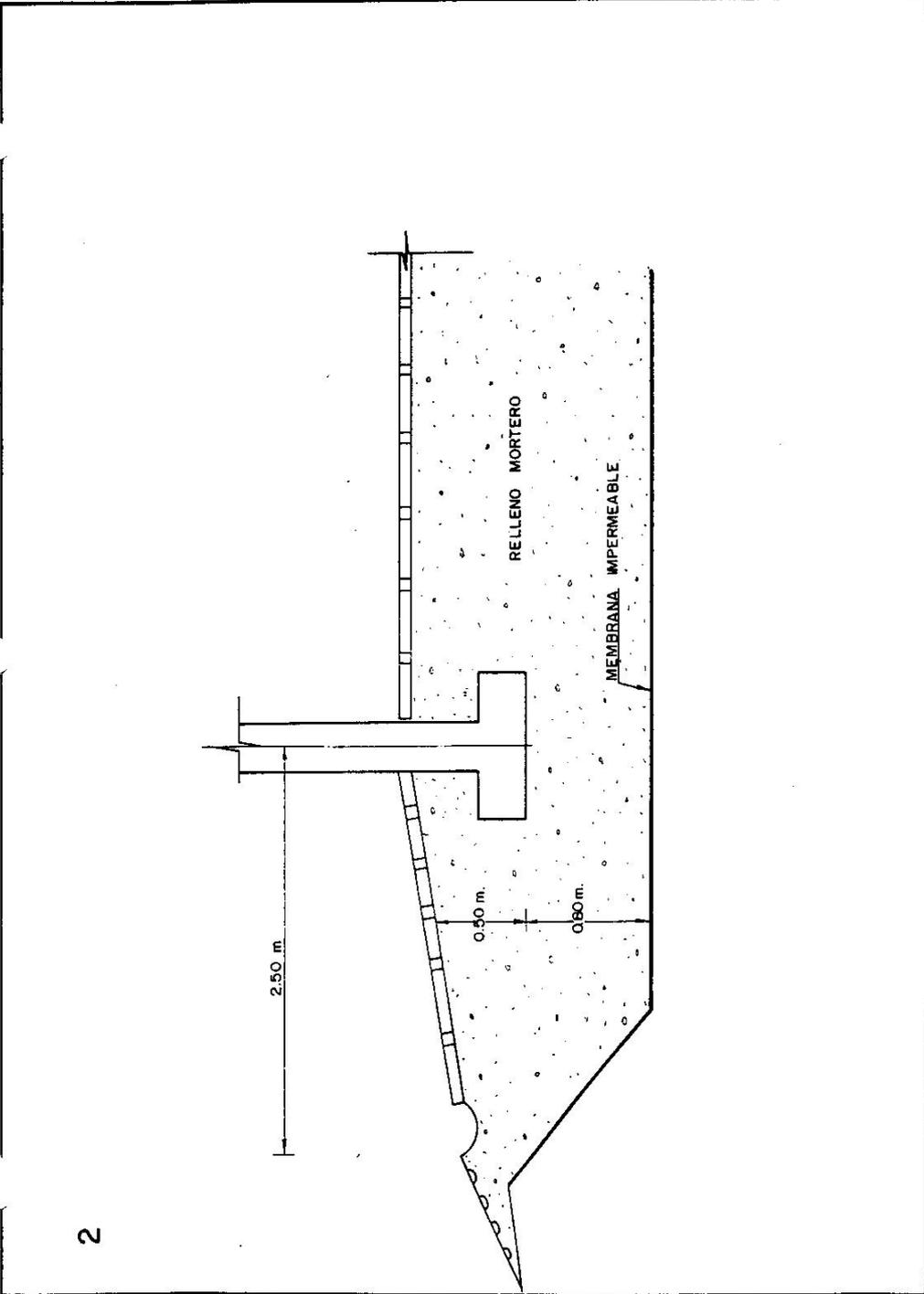
P. MOUROUX, P. MARGRON, J.C. PINTE

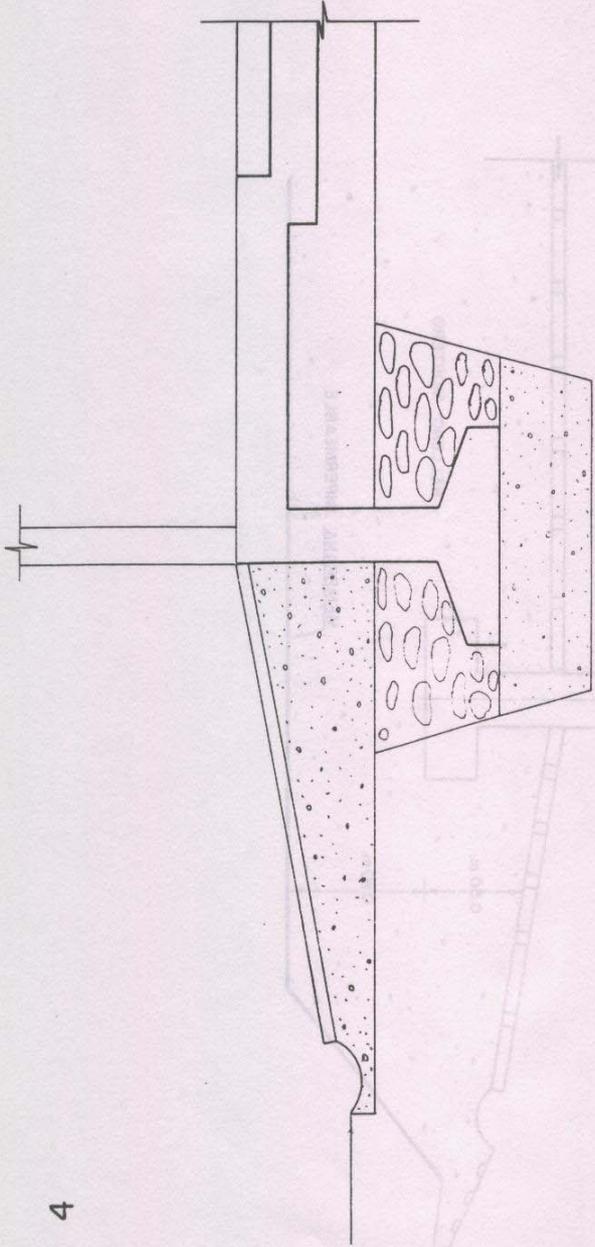
3



3

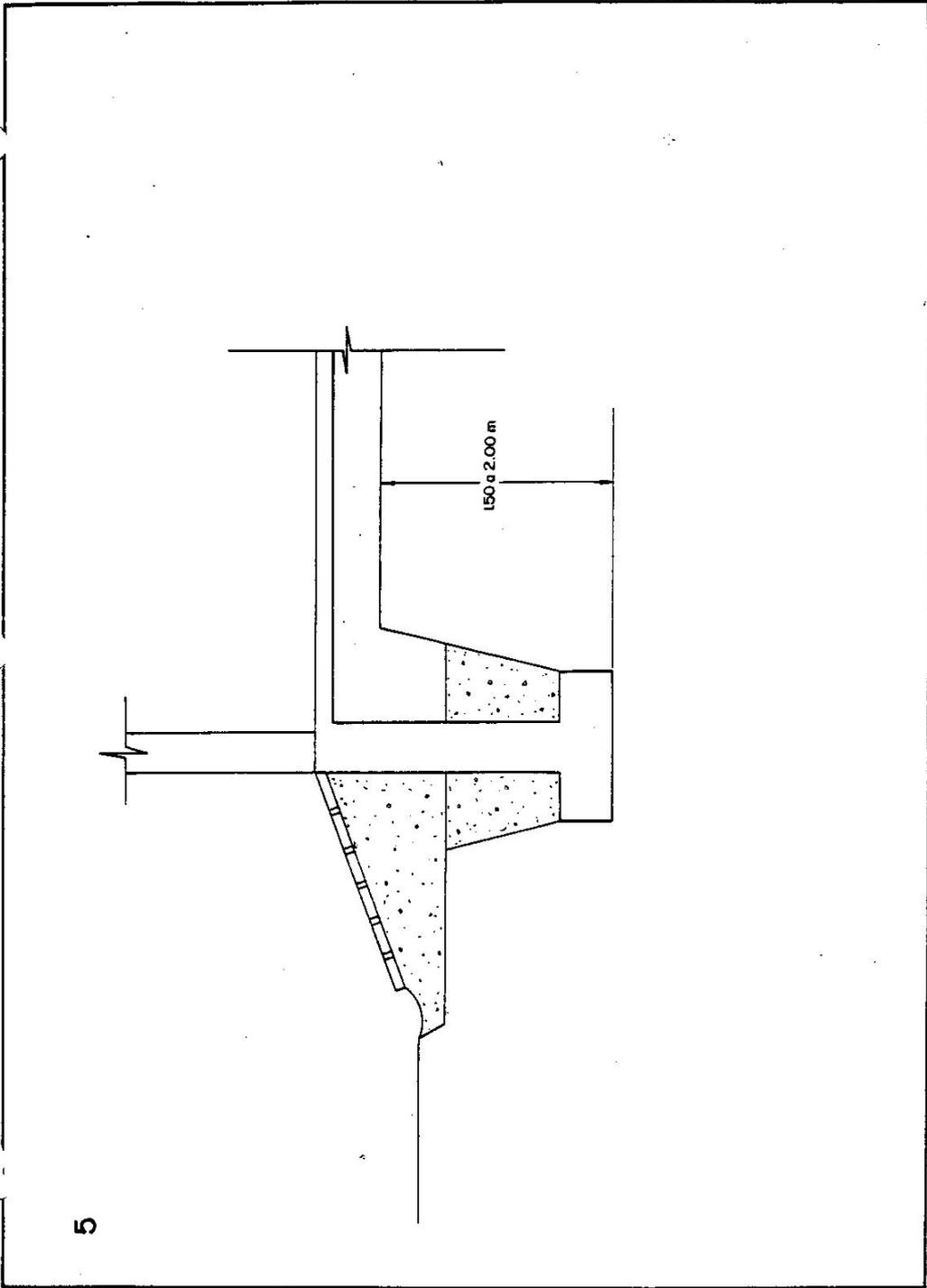
2

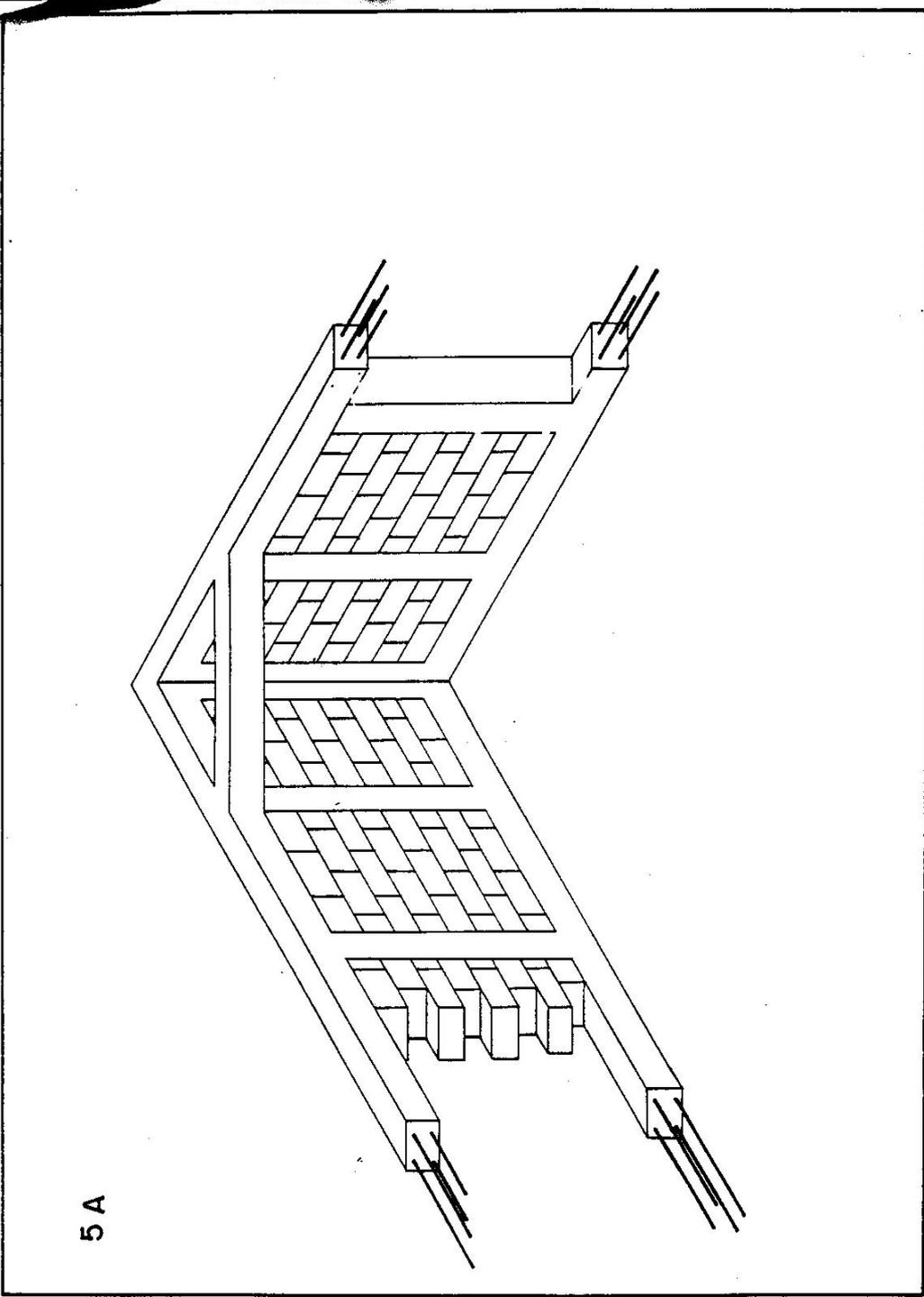




4

5

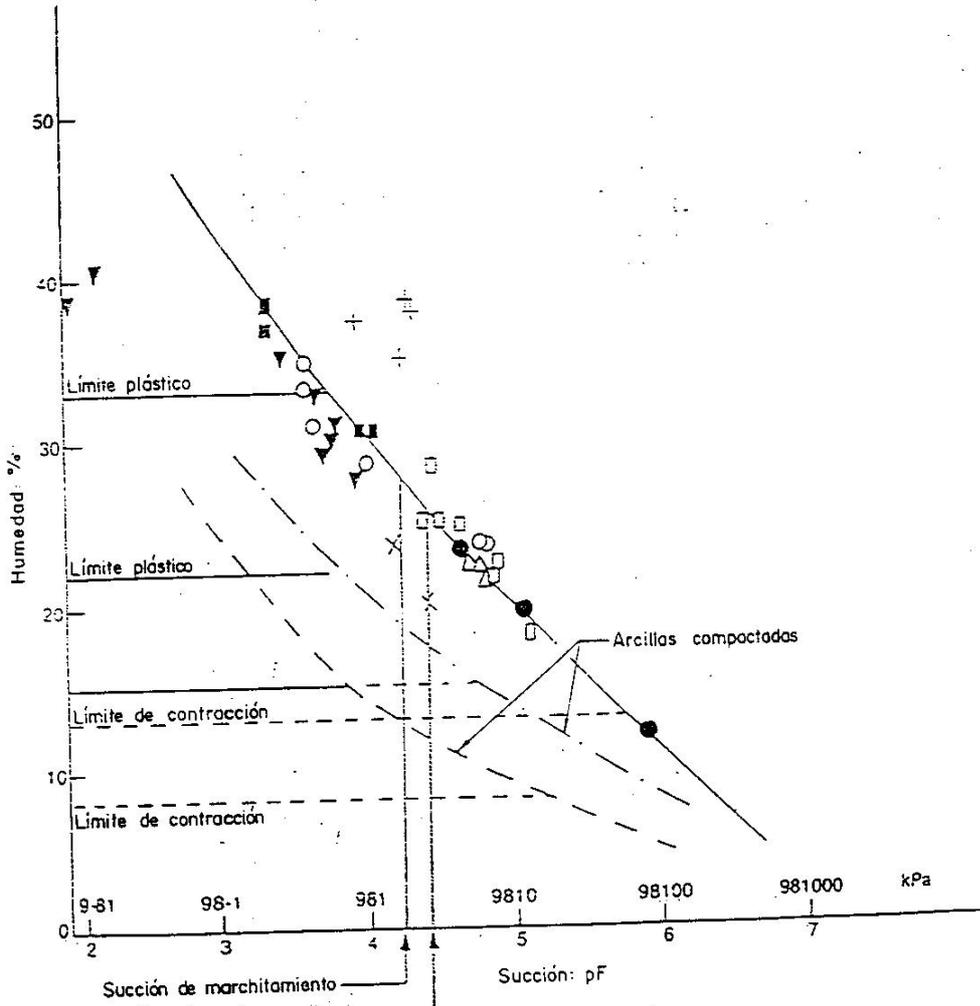




5 A

Handwritten marks and symbols on the right side of the page, including a large 'C' and some illegible characters.

HUMEDAD Vs SUCCION



Succion de marchitamiento de plantas adoptadas a suelos desecados

Fig.1 Relaciones entre Humedad y Succion para arcillas de Surafrica tomado de "Evapo-transpiration and heaving clays in South Africa" por A.A.B Williams and V.T Pidgeon.

$$\text{HINCHAMIENTO } \% = \frac{\text{PI} - 10}{10} \log_{10} \frac{S}{p}$$

PI Índice de Plasticidad.

S= Es la succión en el momento de la
Construcción en cada capa.

p= Es la presión resultante en cada
capa teniendo en cuenta las pre-
siones intergranulares más las
sobrepresiones por cimentación.

Figura 2

$$\text{HINCHAMIENTO } \% = \frac{\text{PI} - 10}{10} \log_{10} \frac{S}{p}$$

PI Índice de Plasticidad.

S= Es la succión en el momento de la
Construcción en cada capa.

p= Es la presión resultante en cada
capa teniendo en cuenta las pre-
siones intergranulares más las
sobrepresiones por cimentación.

Figura 2

HUMEDAD Vs SUCCION

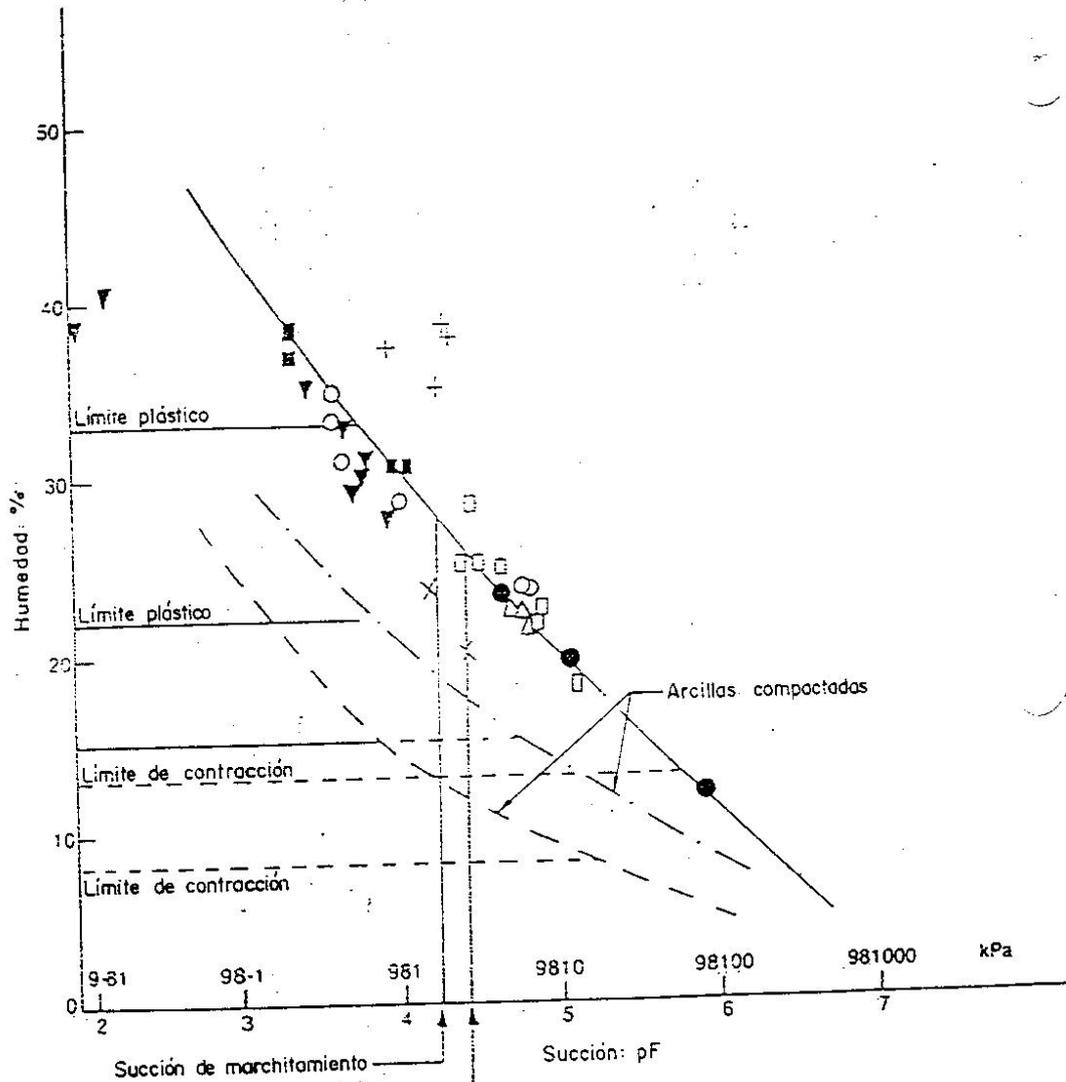


Fig. 1. Relaciones entre Humedad y Succión para arcillas de Sudafrica tomado de "Evapo-transpiration and heaving clays in South Africa" por A.A.B Williams and V.T Pidgeon.

Figura No. 1