



11
20j

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"ARAGON"

**ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS DEL ESTADO
DE QUERETARO CON CAL Y CEMENTO A CORTO PLAZO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

NAVARRO OCHOA LUIS ARTURO

MEXICO, D. F.

1986



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

	Pág.
INTRODUCCION	1
I.- OBJETIVO	2
MAPA DEL SITIO EN ESTUDIO	3
II.- ANTECEDENTES	4
III.- PRUEBAS DE LABORATORIO.....	6
IV.- ANALISIS DE RESULTADOS	13
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
GRAFICAS	21
BIBLIOGRAFIA	38

INTRODUCCION

El comportamiento mecánico con la variación del contenido de agua de las arcillas activas (Montmoriloníticas), las hace inestables, es decir, puede causar grandes pérdidas económicas por excesivo mantenimiento y/o reconstrucción en pavimentos, casas habitación, estructuras bajo tierra, etc.

A través de este estudio, se complementan nuestros conocimientos sobre estas arcillas tratadas con aditivos, encontrando el proporcionamiento adecuado para estabilizarlas en forma económica, evitando grandes erogaciones, como las que se han tenido que hacer hasta la fecha. Para llevar esto a la práctica, se eligió la arcilla de la Zona Industrial en la Ciudad de Querétaro, por tener un volumen potencial que hasta la fecha se ha desechado por su pésimo comportamiento, en estructuras de Ingeniería.

Este trabajo, no es más que un paso en una investigación práctica, que se ha venido haciendo primero con cal, luego con sal y ahora con pretratamiento de cal y un tratamiento de cemento portland, buscando que las características de calidad y resistencia se mejoren y no se incremente el costo en relación a los materiales tradicionalmente usados en pavimentos.

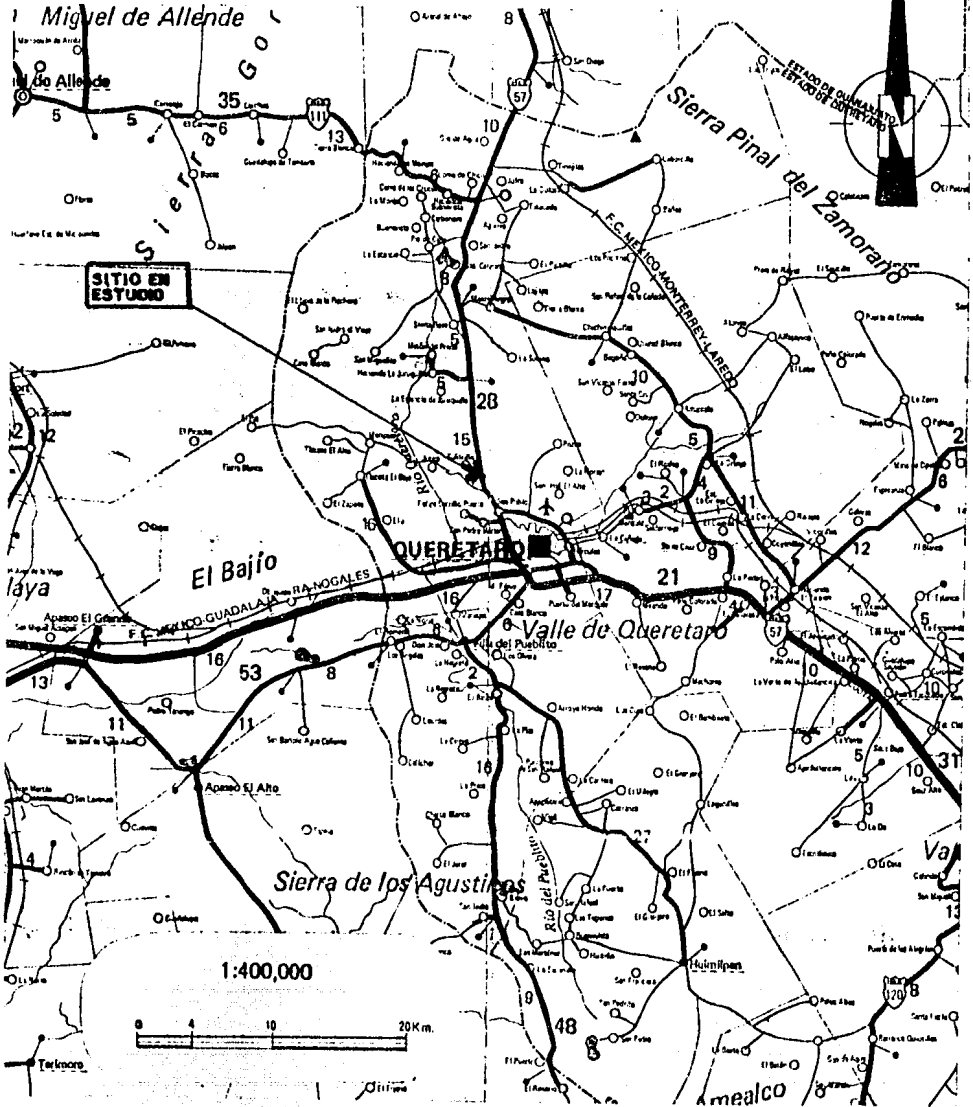
Se toma en cuenta la experiencia en los tratamientos realizados anteriormente [5], para la elaboración del programa de trabajo, así como los resultados de laboratorio obtenidos; se procederá con el análisis de resultados en base a los que se podrán dar conclusiones y recomendaciones para el uso de este tipo de estabilizantes o aditivos.

I.- OBJETIVO

Dadas las necesidades de poder resolver el problema de las arcillas expansivas de la Zona Industrial en la Ciudad de Querétaro, se realizará una mezcla híbrida; que constará de los componentes suelo-cal-cemento, con el fin de lograr una mejor calidad, incrementar su resistencia y disminuir su deformación, así como su plasticidad del material en estudio. El cual cubra y satisfaga las características de un material que pueda ser empleado como subrasante, sub-base o base de pavimento.

Para evaluar lo anterior se debe medir la variación de la plasticidad, como la resistencia por medio de estudios (a corto plazo) del comportamiento de mezclas suelo-cal-cemento, en porcentajes de cal como pretratamiento del material y cemento portland como tratamiento, para encontrar la proporción más conveniente a utilizarse y neutralizar la actividad de la arcilla, con el fin de incrementar su Valor Relativo de Soporte y su resistencia al corte en pruebas de Compresión Simple y Triaxiales Rápidas, así como reducir las expansiones con los cambios de humedad o neutralizarlas.

QUERETARO



II.- ANTECEDENTES

FUNDAMENTOS

En nuestro país, se llevan a cabo las estabilizaciones con cal o con cemento, pero no en una mezcla híbrida; por lo que representa aspectos interesantes la elaboración de este estudio. En Francia [1] , [2] , [3] , desde hace 15 años se llevan a cabo estudios en el laboratorio y en tramos de prueba, la combinación de suelo-cal-cemento, ha arrojado muy buenos resultados de características mecánicas para construir estructuras de pavimentos, pero con la salvedad de que han sido ensayados en limos de baja plasticidad y la forma de estabilizarlos es diferente a la hecha en este trabajo, desde la preparación, — elaboración, hasta el ensaye de muestras.

ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES

Las arcillas del tipo lacustre del Sitio en Estudio (ver mapa), se encuentran desde el nivel de terreno natural a profundidades que van desde 1.50 m. a 5.20 m. aproximadamente, son de color café - grisácea (en estado seco) y de color negro o café muy oscuro con olor — característico de materia orgánica, cuando está en contacto con el — agua.

Con respecto a los límites, el Límite Líquido oscila entre el 60 y el 90% y el Índice Plástico varía del 30 al 60% correspondiendo según la clasificación del S.U.C.S a una arcilla de alta plasticidad — (CH), [6] .

DATOS BASE DE PARTIDA

En trabajos de estabilizaciones recientes [5] , se ha encontrado que los tratamientos con cal (solamente) de estas arcillas, arrojan —

resultados satisfactorios a corto plazo. Se ha visto que, con un 3% de cal, del peso seco del material, disminuye el Índice Plástico de 54 a 29% aproximadamente, con una Contracción Lineal en estado natural de 18 a 13%. En la Prueba Proctor se obtuvo con este porcentaje de aditivo un peso específico seco máximo de 1,297 kg./m^3 con una humedad óptima de 34.5% y un V.R.S de 72% con un tiempo de saturación de cinco días.

Se tomó como punto de partida el 3% de cal como pretratamiento, para estudiar las diferentes proporciones de cemento portland, esto es, no se manejó el porcentaje óptimo (6% de cal aproximadamente), porque lo que se buscaba era trabajar con una mezola que fuera manejable, lo cual se logró, pues se abatió notoriamente la plasticidad.

Este es el punto de partida para realizar el estudio, fijando como base este porcentaje de 3% de cal y variando las proporciones de cemento portland en 1%, 3% y 5%, quedando así conformadas tres tipos de estabilizaciones: las realizadas con 3% de cal y 1% de cemento; - 3% de cal y 3% de cemento y la de 3% de cal y 5% de cemento, en peso del suelo seco. Para realizar estas mezclas se seco y se hizo pasar el material por la Malla No.4 (4.69 mm.), esto es, que no se pulverizó el material (llegar al tamaño de partículas), porque al hacerlo en la práctica se eleva el costo de esta operación. Además, por otra parte, las especificaciones [7], [8], [9], [10], marcan que para realizar las pruebas de laboratorio, el material por ensayar, debe pasar por la Malla No. 4.

III.- PRUEBAS DE LABORATORIO

PREPARACION DEL MATERIAL

Del trabajo de campo, se extrajeron muestras del tipo integral - del Km. 0 + 000 de la Carretera México-Piedras Negras, con origen en la Ciudad de Querétaro. El material se recogió en la Unidad General de Servicios Técnicos de la S.C.T de la citada ciudad.

De la muestra alterada, obtenida en el lugar y empaquetada, se saca el material y se coloca sobre una charola galvanizada, la que - se mete al horno a una temperatura de 60°C , (esto es para no quemar - o carbonizar la materia orgánica contenida en el suelo), el material se deja 24 hrs. Esperando a que se enfríe, se pesa, se mete al horno nuevamente y se repite el mismo proceso por 24 hrs. más, con el fin - de que su peso sea constante y eliminar su humedad. A continuación se desmoronan los grumos con un pisón de madera, todo el material resultado de esta operación pasará a través de la Malla No. 4; para el material retenido en esta malla, se regresará a la charola y se volverá a desmoronar hasta lograr que el material pase totalmente por la Malla No. 4.

Logrado esto, se pesa el material seco y cribado (según la cantidad que indica cada prueba) e inmediatamente, se pesan los estabilizantes en el porcentaje deseado del peso seco suelto total del suelo arcilloso. El primer estabilizante que agregaremos sobre el material, será la cal, se esparcirá y se mezclará en forma homogénea. Logrado - esto, se realizará de igual manera para el cemento. Se puede observar que el material tratado con estabilizantes, tiene un aspecto parecido al de la arena.

Hasta aquí, llamaremos a este proceso "Preparación del Material en Seco", que será el mismo para todas las pruebas de laboratorio, - realizadas en este estudio.

A continuación se enumeran las pruebas de laboratorio ejecutadas:

- a).- Límites de Atterberg; Límite Líquido, Límite Plástico y Contracción Lineal.
- b).- Prueba Proctor
- c).- Valor Relativo de Soporte Saturado
- d).- Densidad de Sólidos
- e).- Compresión Simple
- f).- Triaxial Rápida
- g).- Expansión Libre

A continuación se describirán algunos detalles que se consideran importantes en las pruebas realizadas con mezclas. No se describirá la prueba en sí, ya que ésta se puede encontrar en cualquier Manual de Mecánica de Suelos que incluyan las de Pavimentos.

a).- LÍMITES DE ATTERBERG Y CONTRACCION LINEAL

Una vez realizada la "Preparación del Material en Seco", se procede a pesar 200 gr. de cada una de las tres proporciones (3,1 - 3,3 y 3,5), las cuales prácticamente se molerán sobre una cápsula de porcelana, hasta lograr que pase por la Malla No. 40 (0.420 mm.). A continuación se separan en bolsas de polietileno las tres proporciones y se les agrega agua hasta obtener la consistencia de una masilla, se cierra la bolsa y se guardan para probarse a las 24 y a las 72 hrs., para que se pueda producir la reacción química y con el fin de lograr el intercambio iónico. Al realizar las pruebas a las 24 y a las 72 hrs., la primera impresión al tocar las bolsas de polietileno, es que se en-

cuentran con una consistencia dura, es decir, como un semisólido a pesar de que se encontraban saturadas cada una de las muestras y con un olor muy fuerte a materia orgánica.

El siguiente paso es sacar el material de las bolsas y colocarlo en la cápsula de porcelana. De ahí, se toma el material y se coloca -- sobre el dispositivo de A. Casagrande, se nivela para que tenga el espesor de un centímetro y se divide por medio de un ranurador. Se dan dos vueltas por segundo, hasta que las dos porciones de la muestra queden en contacto en el fondo de la ranura, con una longitud media de 1.27 cm., a lo largo de la ranura, registrandose así, el número de golpes, si estos difieren en más de una unidad, se repetirá la operación, si no es así, se obtiene su promedio y se toma la humedad del material que cerró la ranura. De esta forma se obtendrán cuatro parejas de números de golpes, dos por debajo de 25 y los otros dos superiores a 25, - en otras palabras, el rango oscilará entre los 10 y 40 golpes.

Cabe hacer mención, que para la proporción (3,1), no hubo problema al ranurarse el material, pero en lo que concierne a las proporciones (3,3) y (3,5), era difícil el ranurado del material; porque se --- agrietaba completamente o se deslizaba la masa de suelo totalmente, - junto con el ranurador, provocándose así un retardo en la prueba.

Para obtener el Límite Líquido, se graficarán las humedades obtenidas en escala aritmética contra el número de golpes en escala logarítmica. La humedad que corresponde al valor de 25 golpes, será el Límite Líquido de ese material.

Del material que se encuentre más cerca a 25 golpes, se tomará - una porción para llenar la barrita de acero en tres capas, se golpea sensiblemente cada capa para que salga el aire y se mete al horno de 100 a 110° C, durante 24 hrs. para medir "La Contracción Lineal" del -- material.

Al enfriarse las barritas se mide su longitud, se apreció que -- las proporciones (3,3) y (3,5), no presentaban ninguna resistencia a la presión de los dedos, esto es, se desmoronaban, se hacían polvo -- fácilmente, en cambio la proporción (3,1), presentó cierta dureza al aplicársele una presión considerable con los dedos antes de tronar o romperse la barrita.

El Límite Plástico, es la humedad mínima con la que se pueden -- formar rollitos de material, rolados sobre una placa de vidrio hasta alcanzar un diámetro aproximado de tres milímetros, sin que se rompan o se desmoronen en pedazos. Se notó que, para este rolado se dificul -- tó la operación (es decir se rompían), conforme se aumentaba la can -- tidad de los estabilizantes. Lográndose así, rollitos de una longitud muy corta (de 2 a 3 cm.), denotando la falta de plasticidad.

La obtención del Índice Plástico, es simplemente la diferencia de humedades entre el Límite Líquido y el Límite Plástico.

Los resultados de las pruebas se muestran en las gráficas III-a-1 a la III-a-4, que se encuentran al final del texto.

b).- PRUEBA PROCTOR

Se toman 2 kg. del material de la "Preparación del Material en Se -- co" y se esparce sobre una charola galvanizada, agregándole al material la cantidad de agua correspondiente a un 15% de humedad, se rociará en forma homogénea. Inmediatamente se mezclará con un cucharón, hasta dis -- tribuir uniformemente la humedad. Este material se compactará en el -- molde Proctor en tres capas, con 25 golpes uniformemente distribuidos, por medio de un pisón, con un peso de 2,525 gr., dejándolo caer libre -- mente desde una altura de 42.5 cm. Para mejorar la liga entre capa y ca -- pa, se hará un picado en la capa anterior con un desarmador. Una vez -- lleno el molde hasta el enrase, se pesa con el material húmedo y se to --

ma la humedad de la muestra. Se saca el material del molde, se deshacen los grumos con las manos y a continuación se agrega agua para obtener una humedad 10% mayor a la anterior, se repite el procedimiento ya descrito; hasta sentir que el material se encuentra en su rama húmeda, al observar que el peso del molde y el material disminuyen, es suficiente tomar dos puntos más, al observar este efecto; con lo cual podremos graficar en escala aritmética el peso específico seco contra el contenido de agua en por ciento.

De esta manera, se obtiene una parábola, que define el peso específico seco máximo para una humedad óptima.

Los resultados de las pruebas, se encuentran en las gráficas III-b-1 y la III-b-2, que están al final del texto.

c).- PRUEBA V.R.S SATURADO

Dado que la prueba no tuvo ningún detalle significativo que mencionar, se realizó conforme a las normas de la S.C.T [9] .

Los resultados se encuentran en las gráficas III-c-1 a la III-c-4.

d).- DENSIDAD DE SOLIDOS

La realización de la prueba, transcurrió sin ningún problema, dado que se llevó a cabo según las normas de la S.C.T [9] .

Al final del texto se encuentran los resultados de los ensayos en la gráfica III-d-1.

e).- COMPRESION SIMPLE

Se toman 2 Kg. de la "Preparación del Material en Seco". El cual se esparcirá en una charola galvanizada, se humedecerá el material, humedad correspondiente al 90% del peso volumétrico seco, obtenido de la

curva de la prueba Proctor.

A continuación, se mezcla homogeneizando lo más posible el material y se sigue el mismo proceso que para la prueba Proctor. En el molde previamente aceitado por dentro, con el fin de poder sacar con mayor facilidad el espécimen del molde (operación que se lleva a cabo con la ayuda de un gato hidráulico).

Una vez liberada la muestra del molde se envuelve en un trapo húmedo y se guarda en una bolsa de polietileno bien cerrada (para evitar su evaporación), durante 24 hrs.

Como se mencionó anteriormente, se toma un lapso de 24 hrs. (al que llamaremos "CURADO"), para que los estabilizantes puedan reaccionar y que el espécimen obtenga cierta consistencia. Tomando en cuenta las Normas de Construcción de la S.C.T, para materiales estabilizados [9] .

Cumplido este lapso, se saca de la bolsa y se retira el trapo húmedo del espécimen, con lo cual se labrará una probeta cilíndrica de 9 cm. de altura con 3.6 cm. de diámetro, conservando su relación de esbeltez de 2.5 a 3; esto se logra en la proporción (3,1) en el torno y con navaja. En las proporciones (3,3) y (3,5), dada su dureza, no se pueden labrar en el torno, por lo que, se hizo sobre la mesa y con navaja. Se afina la probeta cilíndrica en su superficie, tomándose la altura, diámetro, peso y humedad de labrado.

Las probetas, en sus tres proporciones tienen una consistencia tan dura como la de un ladrillo (después de labrado), por lo que no se puede deshacer con la presión de los dedos de la mano.

Los resultados de las pruebas se muestran en las gráficas III-e-1 y III-e-2.

f).- TRIAXIAL RAPIDA

Los ensayos se llevaron a cabo como se indica en las normas de la S.C.T [9] .

Los resultados se muestran en las gráficas Ill-f-1 a la Ill-f-3.

g).- EXPANSION LIBRE

El espécimen se preparará como se indicó en el inciso "e" y posteriormente se labrará la pastilla de consolidación.

Transcurrido el lapso de 24 hrs., dentro de la bolsa de polietileno, se saca el espécimen y se deja reposar al aire libre 48 hrs. más. Esto es, se dará a los aditivos 72 hrs. para que reaccionen.

Después de 72 hrs., el espécimen ha conservado gran parte de su humedad con la que fue compactado, sólo se conserva una pequeña capa de material que se seco, formándose ligeras grietas de tipo poliédrico o piel de cocodrilo en toda su superficie.

A continuación se labra una pastilla con las dimensiones del anillo de consolidación, esto se logra dejándolo sobre la parte superior del espécimen y con la navaja se va rebajando, hasta lograr que el anillo quede lleno por la muestra.

Se enrasan sus dos caras, cuidando de no alterar la relación de vacíos, si por desgracia ocurre esto, se llenan las pequeñas oquedades con el mismo material, del cual se toma una parte, para obtener una humedad "testigo" de labrado.

Vale la pena aclarar, que la parte superficial agrietada se desechó al labrarse la muestra.

Posteriormente se siguió con las normas antes citadas [9] .

La pastilla después de varias semanas, sujeta a saturación, envuelta en una película de polietileno, con pequeñas oquedades del diámetro de un alfiler, seguía teniendo una consistencia tan dura como la de un ladrillo.

IV.- ANALISIS DE RESULTADOS

Dado que el objetivo de este estudio, es determinar las características de calidad y resistencia del material estabilizado, para ser usado en terracerías, cuerpo de terraplén y/o capa subrasante. Se procederá a evaluar cada una de las pruebas.

Como se puede observar, en la gráfica III-a-1, las mezclas (3,1), (3,3) y (3,5), abaten notoriamente su Límite Líquido, con respecto al material sin estabilizar, siendo la dosificación (3,1) la óptima, reduciéndose en un 8.4% a 24 hrs. y un 24.3% a 72 hrs.

La forma de las curvas de evolución de los Límites Plásticos, indican que estas crecen con una tendencia a unirse conforme aumenta el tiempo y la cantidad de los estabilizantes o aditivos, también encontrándose un óptimo en la mezcla (3,1).

La tendencia decreciente de las curvas de la gráfica de Índice Plástico, muestran que, conforme se aumenta la dosificación de los estabilizantes y el lapso de tiempo se logra disminuir la plasticidad del material tratado, arrojando un óptimo en la dosificación (3,5), abatiéndose con respecto al material sin estabilizar un 80.4% a 24 hrs. y un 93% a 72 hrs.

La Contracción Lineal disminuye ligeramente entre las tres dosificaciones, sin embargo, con respecto al material sin estabilizar, la mezcla óptima (3,5), se redujo en un 57.4% para el lapso de 24 hrs.

Las tres muestras a las 24 hrs. de haber sido ensayadas, se clasifican según la Carta de Plasticidad, como (OH), Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad. Con respecto a las mezclas a 72 hrs. de ensayadas, la dosificación (3,1) caen dentro del grupo (OL), Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad y las mezclas (3,3) y (3,5) se

encuentran en el (OH), con Indices Plásticos de 6.14 y 3.77%, respectivamente.

Todas las mezclas, sin excepción, se encuentran abajo de la Línea "A" de la Carta de Plasticidad, como se puede observar en la gráfica III-a-5.

En la Prueba Proctor, como la energía de compactación fue constante para cada una de las dosificaciones (3,1), (3,3) y (3,5). En la gráfica III-b-1, se pudo observar que, conforme se aumenta la dosificación de los aditivos, se logra un ascenso en la curva de Peso Específico Seco Máximo.

En la prueba de Valor Relativo de Soporte Saturado, la curva de Peso Volumétrico Seco Máximo debería, en teoría ser ascendente, sin embargo, los resultados grafican una concavidad. La curva de humedad óptima, muestra un ascenso, según, se vayan aumentando las dosificaciones de los estabilizantes, como se muestra en la gráfica III-c-2.

La gráfica III-c-3, de expansión contra dosificaciones de aditivo debería ser en teoría, una curva descendente conforme se aumentan las mezclas. Los resultados arrojados, muestran una curva que tiene la forma del tipo parabólica, es raro esto, dado que las dosificaciones (3,3) y (3,5) se ensayaron con humedades muy parecidas de 31.25 y 31.85% respectivamente.

La curva de la gráfica III-c-4, muestra que, las resistencias mecánicas crecen conforme se aumenten las dosificaciones de los estabilizantes.

Los resultados de la V.R.S de las mezclas con aditivos en el porcentaje de cal-cemento portland muestran que:

- (3,1) cae dentro de una subrasante de muy buena calidad;
- (3,3) cae dentro de una sub-base de buena calidad;
- (3,5) cae dentro de una base de buena calidad.

La única dosificación, que cumple con los requisitos de especificaciones, es la mezcla (3,1), que puede ser usada como una subrasante de muy buena calidad, mientras que las dosificaciones (3,3) y (3,5), cumplen con los requisitos de resistencia, más no, con las demandas de las zonas de especificación granulométricas para materiales de sub-base y base, ya que no se tienen materiales pétreos.

La gráfica III-d-1, de la prueba de Densidad de Sólidos, muestra claramente un aumento en la densidad conforme se incrementan las dosificaciones de los aditivos.

Con referencia a una clasificación de densidades de suelos [8] pág. 132. Las densidades de las mezclas, cambiaron en un rango significativo:

Arcillas expansivas de 2.84 a 2.88

Suelos Orgánicos de 2.50 a 2.65 *

* Arcillas expansivas tratadas con cal y cemento portland, en sus tres dosificaciones.

Como se puede observar en la gráfica III-e-1, de la prueba de Compresión Simple, las resistencias se incrementan conforme se aumenta la cantidad de los aditivos.

La gráfica III-e-2, Esfuerzo V.S Deformación Unitaria, aduce los siguientes comentarios:

La primera curva de la dosificación (3,1) sin "curado", (se probó el mismo día, sin darle 24 hrs. de reposo al material), muestra una tendencia un poco plástica, teniéndose una gran deformación.

La curva siguiente, de la proporción (3,1) con 24 hrs. de "curado", muestra un ligero aumento en la resistencia con menor deformación y adquiriendo una tendencia de una falla frágil.

Las curvas con aditivos en las proporciones (3,3) y (3,5) de cal y cemento portland, adquieren una tendencia muy parecida, tanto en su resistencia (que aumentó considerablemente) como en el descenso de su Deformación Unitaria. Las dos curvas muestran la falla frágil que sufre el material.

También se pudo observar que, conforme aumentaban las dosificaciones de aditivos, disminuían las grietas verticales y se formaban grietas inclinadas entre 45° y 60° , con pequeñas grietas verticales en las probetas ensayadas de la prueba de Compresión Simple.

Para la prueba Triaxial Rápida, la dosificación 3% de cal y 1% de cemento portland, la línea de falla arroja un ángulo de fricción interna $\phi = 23^{\circ}$ y una cohesión de 12 ton/m^2 .

En la dosificación (3,3) se observa un claro aumento en los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante, con respecto a los obtenidos en la dosificación (3,1). Pues, se obtiene de la línea de falla un ángulo de fricción interna muy alto de $\phi = 41^{\circ} 30'$ y una cohesión de 9 ton/m^2 .

La dosificación (3,5), arrojó los parámetros más altos de resis--

tencia al esfuerzo cortante, observamos que, la línea de falla tiene un ángulo de fricción interna de $\phi = 41^{\circ}$ (semejante al de la proporción (3,3)), pero, aumenta la cohesión a 13.5 ton./m^2 .

De la prueba de Expansión Libre, podemos comentar lo siguiente:

La pastilla una vez sumergida en el recipiente, no registró ningún movimiento en el micrómetro, sino hasta las 11 hrs. de estar sumergida la muestra. A partir de este lapso, se empieza a registrar un movimiento en el micrómetro (se aduce, que pudo haber sido al aumento de temperatura durante la mañana) llegando a un máximo de expansión de 0.11%, después, tiende a su posición original el micrómetro, este fenómeno se observó durante dos semanas, por lo que se suspendió la prueba.

Cuando se desmontó la pastilla del anillo de bronce, (de la designación 3,1), se pudo tocar la pastilla bajo saturación, sintiéndose ésta tan dura, como la consistencia de un ladrillo.

Dado que la mezcla (3,1), tuvo una expansión prácticamente nula, no se realizaron los ensayos (3,3) y (3,5).

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, que se hicieron con el fin de investigar el mejoramiento en las características de calidad y resistencia, de una arcilla activa preestabilizada con 3% de cal y con distintos porcentajes de cemento portland, se puede concluir lo siguiente:

Respecto a la plasticidad, se puede afirmar en este caso, que a menor porcentaje de cemento portland, existe menor plasticidad cuando éste no ha fraguado, sin embargo, el Índice Plástico disminuye con el tiempo y conforme aumentan los porcentajes de cemento portland. Lo cual indica que es más controlable el suelo, es decir, pasa de una arcilla de alta plasticidad a un limo de alta plasticidad.

Con relación a su resistencia, se puede afirmar que conforme se incrementen los porcentajes de cemento, aumenta el V.R.S., de tal forma que cumple con las características de éste para emplearse desde una subrasante hasta una base, en caminos de bajo tránsito.

Sin embargo, es conveniente aclarar, como se muestra en los resultados de Compresión Simple, que también son congruentes con lo indicado anteriormente, que a mayor porcentaje de cemento, el suelo cambia su comportamiento de una falla plástica a una falla frágil. Lo anterior es muy importante tomarlo en cuenta al diseñar el pavimento, puesto que este tipo de estabilización, si se emplea, prácticamente no acepta que las capas que le subyacen se deformen, pues, se pueden originar agrietamientos dada su rigidez, por lo que tienen como limitante de uso que su deformación sea pequeña. Lo anterior también se confirma con las Pruebas Triaxiales, pues en general se puede afirmar, que a mayor porcentaje de cemento portland se obtienen valores de cohe

sión y ángulos de fricción interna mayores.

En lo que toca a la Expansión Libre, el porcentaje de expansión es prácticamente despreciable en la dosificación más baja, por lo que no se realizaron los otros dos ensayos, debido a que no eran necesarios.

Los resultados arrojados relativos a las pruebas de la mezcla suelo-cal-cemento, encuentran su objetivo de utilidad, ya que se puede decir que, las dosificaciones ensayadas mejoraron su calidad notoriamente con respecto al material sin estabilizar. Porque se logró incrementar su resistencia, se abatieron las deformaciones, así mismo, se llegó a reducir las expansiones y obtener un decremento en la plasticidad.

Es conveniente hacer los siguientes comentarios, fundamentados en base a la experiencia que se tuvo al efectuar las pruebas de laboratorio:

- Con respecto al labrado de las probetas y con el fin de evitar cambios en el contenido de humedad y temperatura, la condición óptima sería realizarlo en un cuarto húmedo, si no es así, deberá cuidarse el rociado de la probeta para conservar su humedad.
- Con el fin de propiciar el intercambio iónico, será necesario un mayor tiempo de curado que el establecido por las normas de la S.C.T, en algunos casos antes y después de la inmersión.

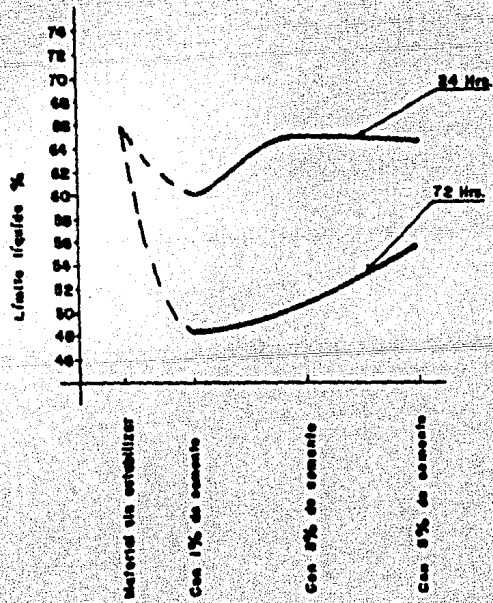
De lo expuesto anteriormente, se puede recomendar, para este caso que la mezcla óptima es de 3% de cal y 1% de cemento. Ya que dosificaciones pequeñas dan resultados adecuados, convirtiendo materiales que usualmente se desechan a materiales de calidad y resistencia, --

que compiten con las tradicionalmente empleadas para sub-bases y bases. Sin embargo, antes de decidirse a emplearlo, es necesario hacer un estudio económico de las distintas alternativas que se puedan emplear. También se recomienda hacer un tramo de prueba, que esté sujeto a observación, instrumentación y evaluando su comportamiento periódicamente.

No se investigó el proceso a mediano y largo plazo, porque el cemento con el tiempo se cura y por consecuencia adquiere mayor resistencia.

RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

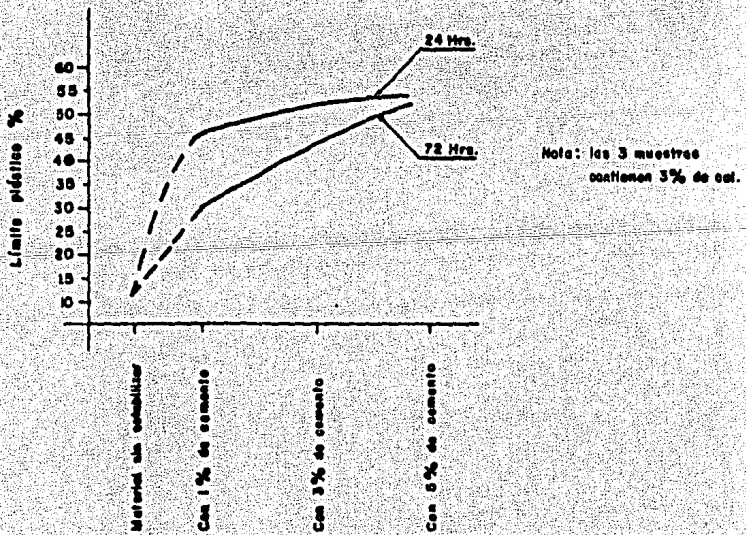
Gráfica III-a-1



Nota: las 3 muestras contienen 3% de cal.

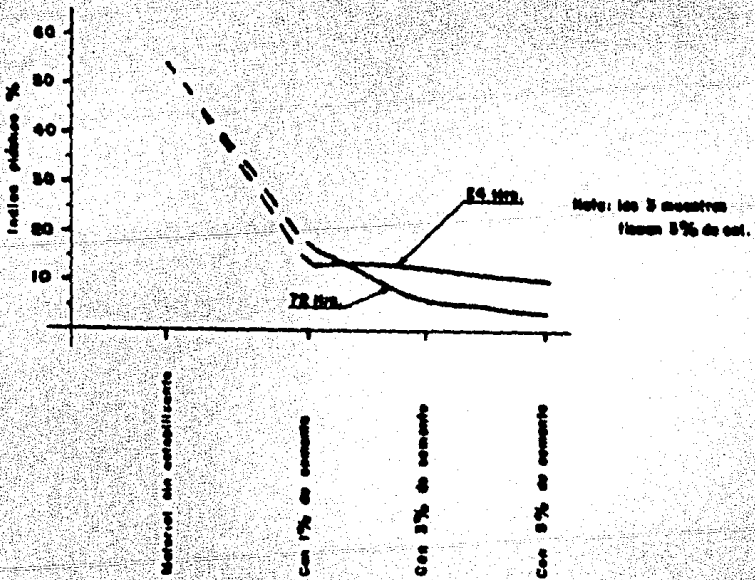
RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Gráfica III-a-2



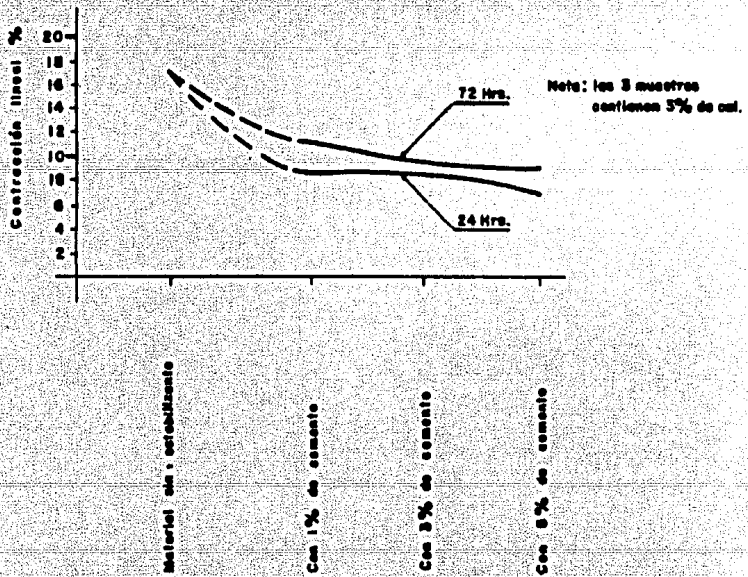
RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Gráfica III-a-3



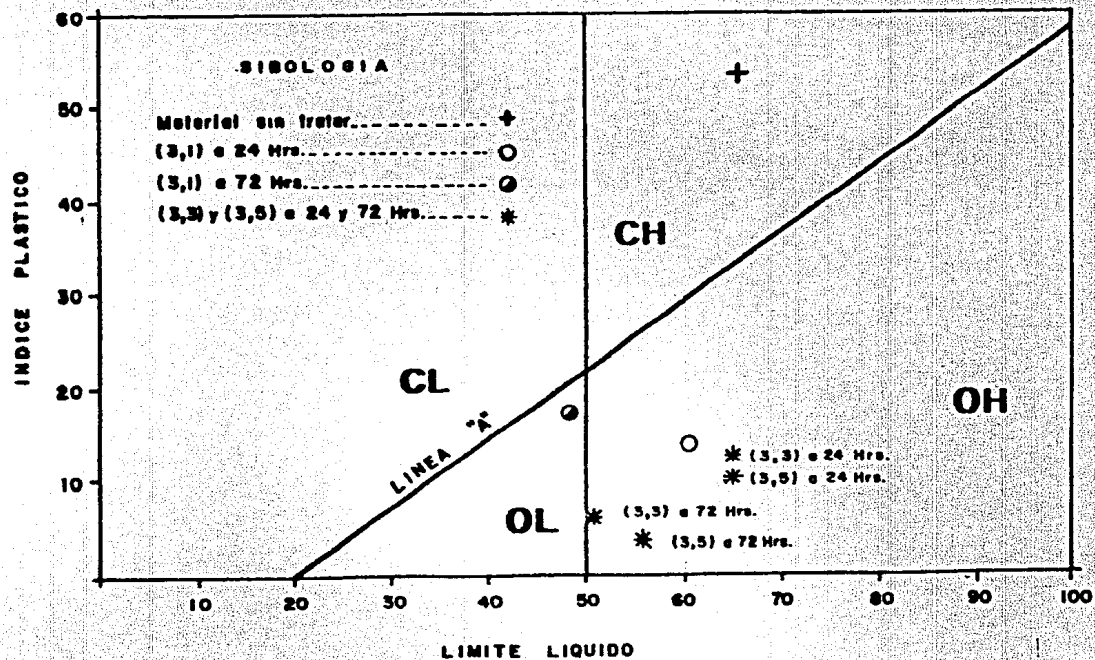
RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Gráfica III-a-4



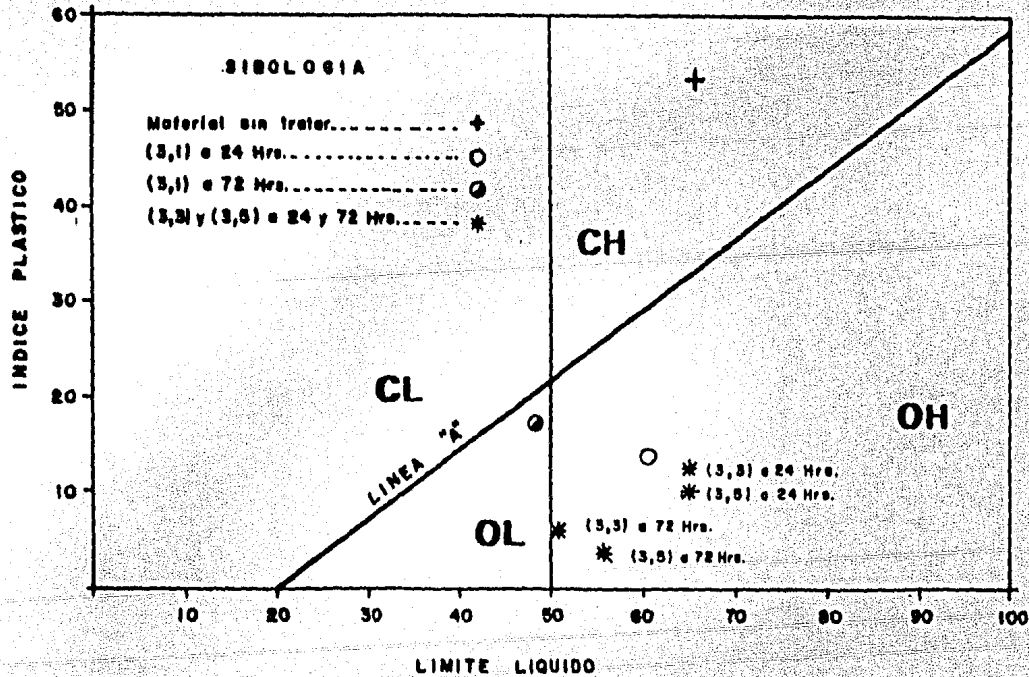
CARTA DE PLASTICIDAD

Gráfica III-a-5



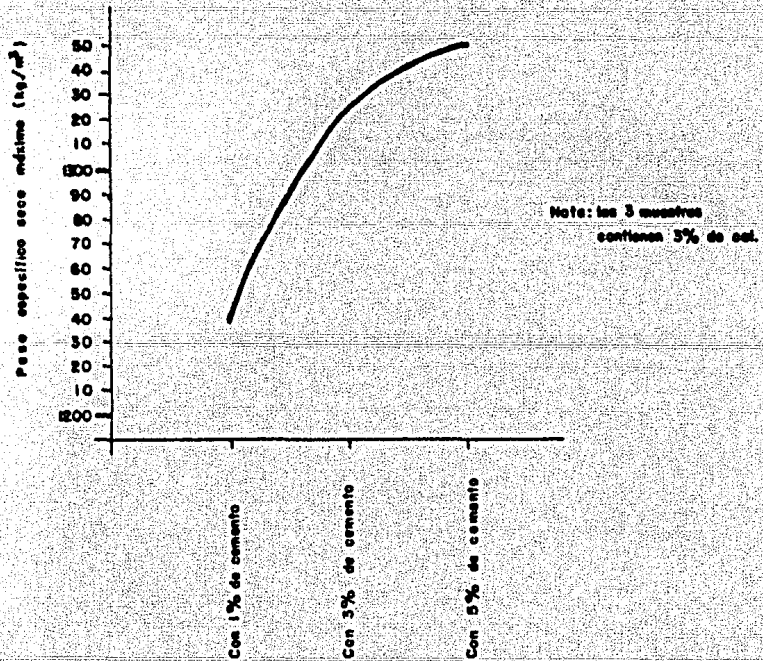
CARTA DE PLASTICIDAD

Gráfica III-a-5



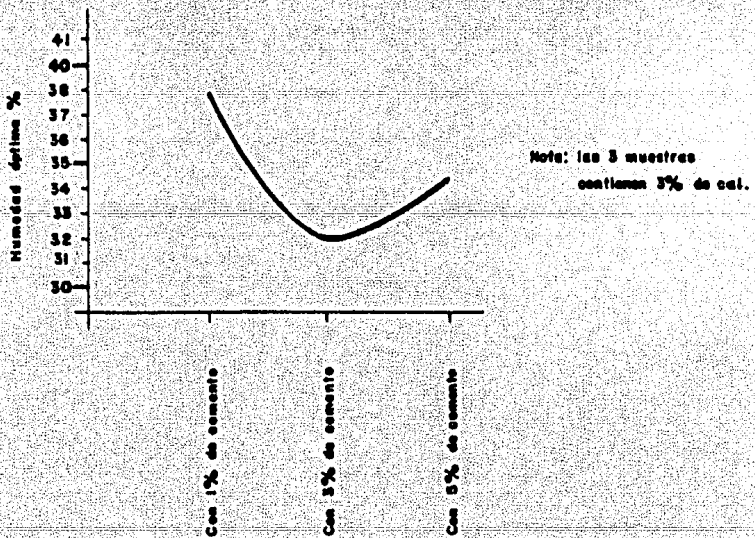
RESULTADOS DE LA PRUEBA PROCTOR

Gráfica III-b-1



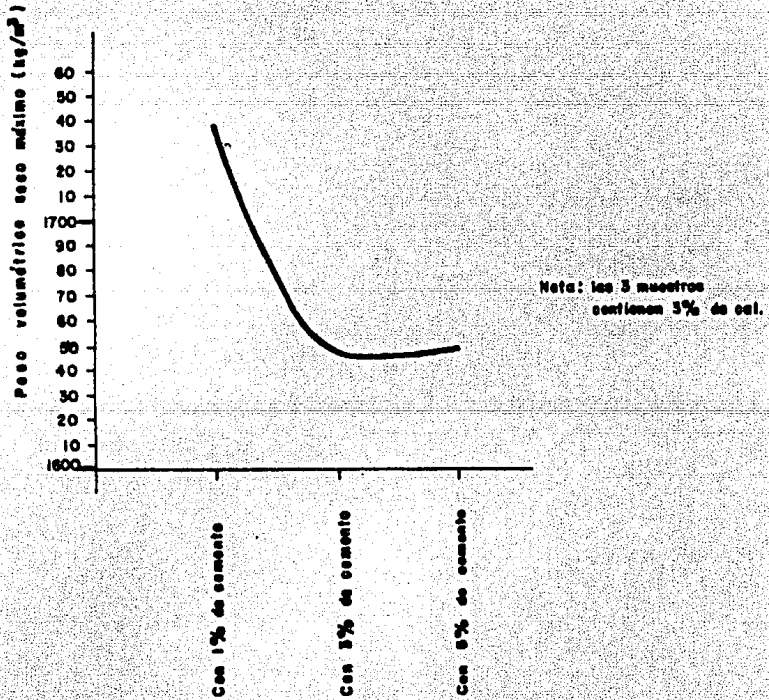
RESULTADOS DE LA PRUEBA PROCTOR

Gráfica III-b-2



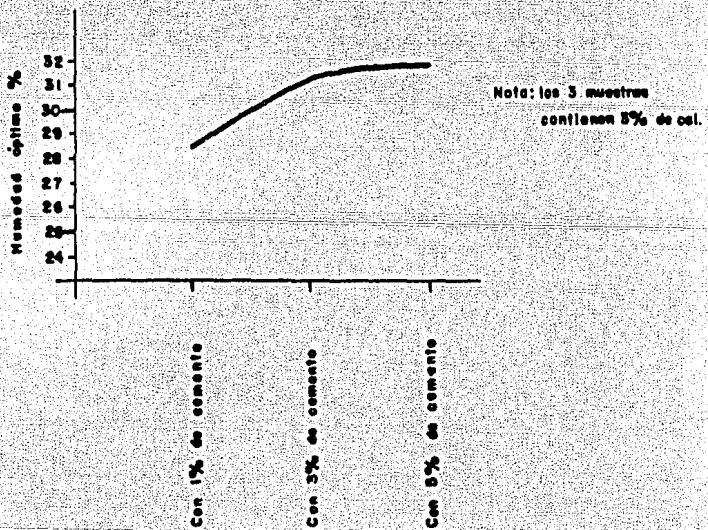
RESULTADOS DE LA PRUEBA V. R. S.

Gráfica III-c-1



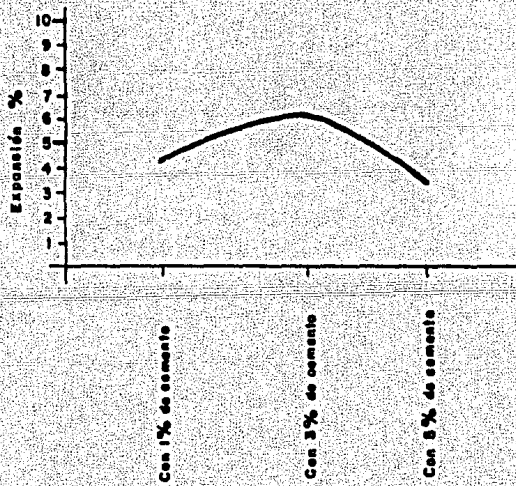
RESULTADOS DE LA PRUEBA V.R.S.

Grafico III-c-2



RESULTADOS DE LA PRUEBA V.R.S.

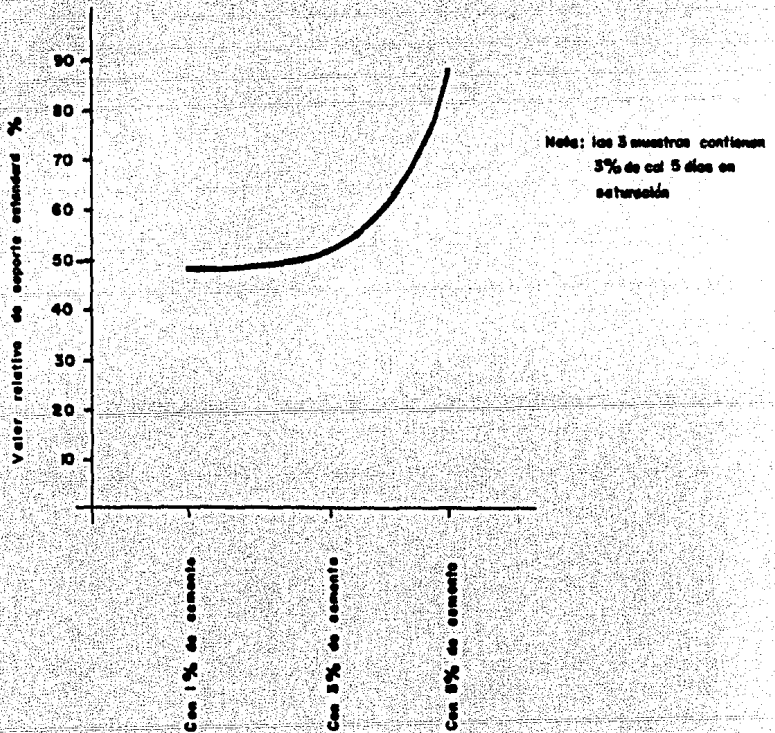
Gráfico III-c-3



Nota: las 3 muestras contienen
3% de oxi y 5 óxido en
saturación.

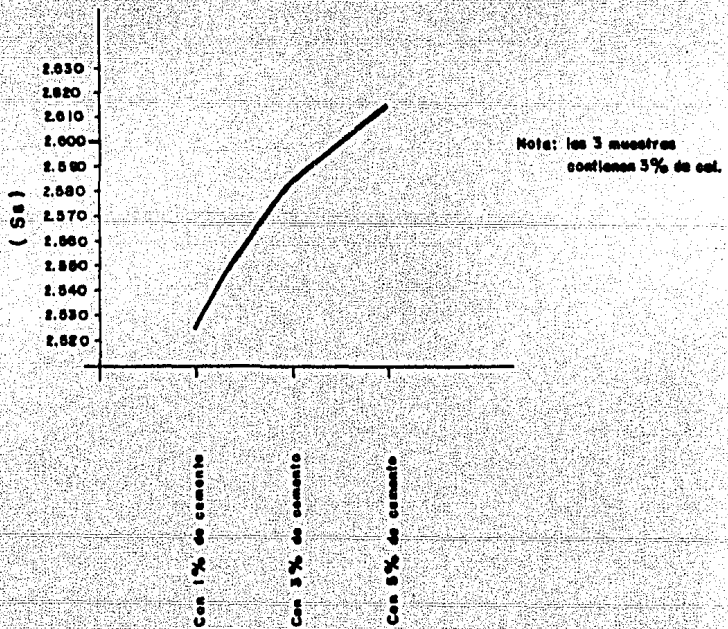
RESULTADOS DE LA PRUEBA V.R.S.

Gráfica III-c-4



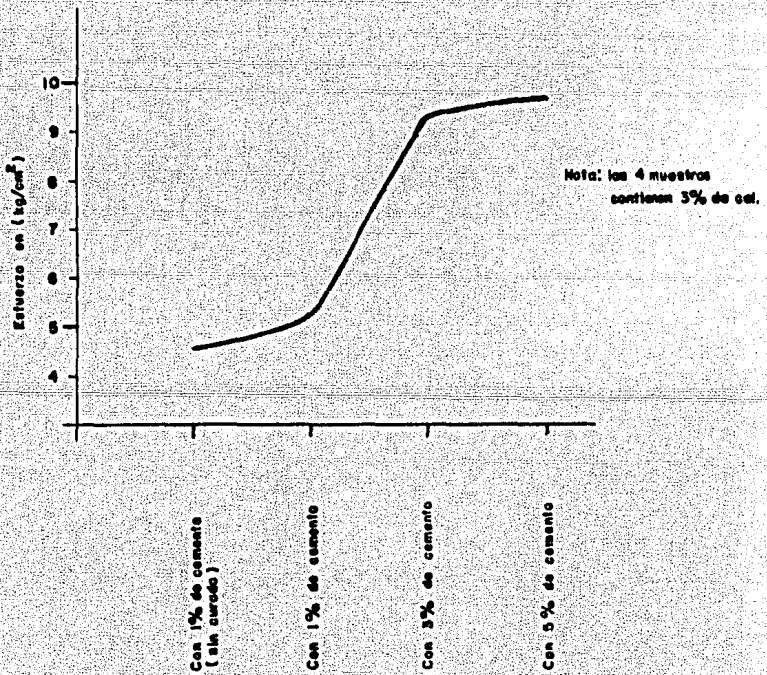
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE
DENSIDAD DE SOLIDOS

Gráfico III-d-1



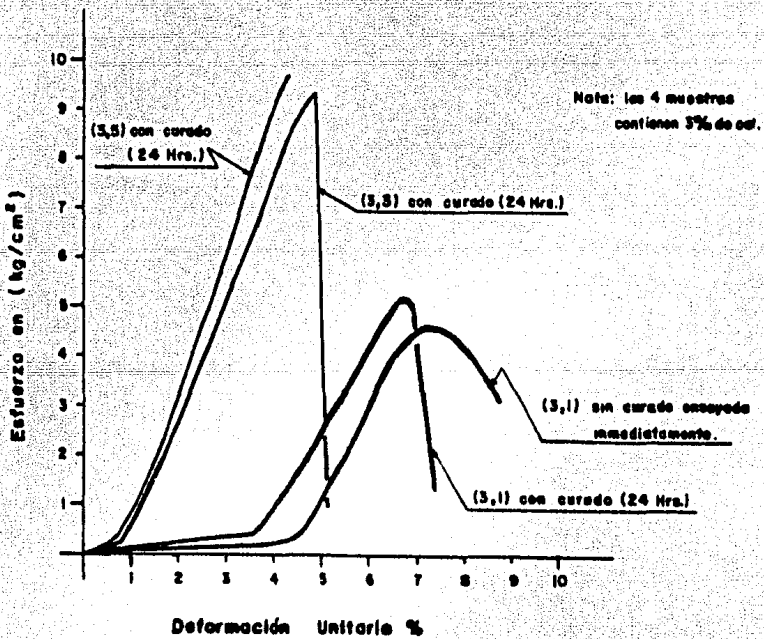
RESULTADOS DE LA PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE

Gráfico III-e-1



RESULTADOS DE LA PRUEBA A LA COMPRESION SIMPLE

Gráfico III-e-2



RESULTADOS DE LOS CIRCULOS DE MOHR
COMPRESION TRIAXIAL

Gráfica III-f-1

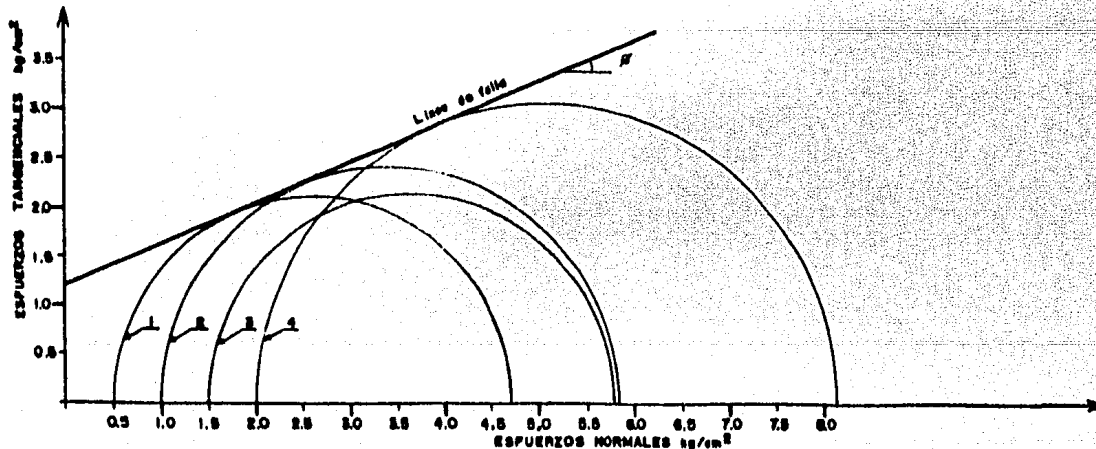
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	: ARCILLA EXPANSIVA
ESTUDIO POR EFECTUAR	: TRATAMIENTO CON CAL Y CEMENTO
PROCEDENCIA	: ZONA INDUSTRIAL DE QUERETARO

ENSAYE N° : 3% CAL y 1% CEMENTO
CON 24 HRS. CURADO

TIPO DE PRUEBA	: RAPIDA (R)
----------------	--------------

PRUEBA N°	Wl %	wl %	Sl %	σ_3 kg/cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	σ_1 kg/cm ²	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESP. CORT.
1	59.8	1.098	91.08	0.0	4.048	1.078	$\phi = 23^\circ$ $C = 1.2 \text{ kg/cm}^2$ 12 Ton/m^2
2	38.18	1.100	80.38	1.0	5.839	1.668	
3	41.78	1.159	92.82	1.5	5.785	1.677	
4	39.85	1.000	99.86	2.0	8.078	1.781	

ESCALA : 1cm = 0.5 kg/cm. $\sigma_3 = 2.525$



5

RESULTADOS DE LOS CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

Gráfica III-f-2

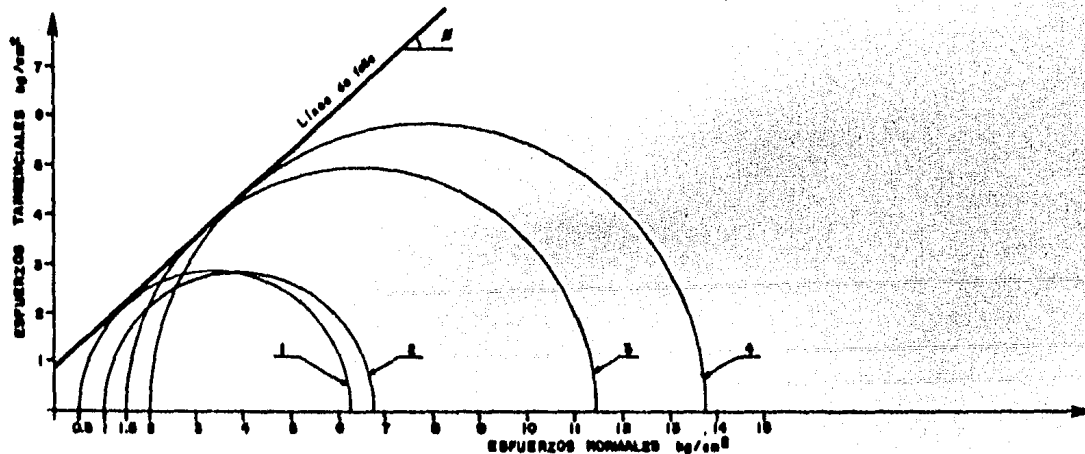
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	ARCILLA EXPANSA
ESTUDIO POR EFECTUAR	TRATAMIENTO CON CAL Y CEMENTO
PROCEDENCIA	ZONA INDUSTRIAL DE QUERETARO

ENSAYE N° : 3% CAL Y 3% CEMENTO CON 24 HRS. CURADO

TIPO DE PRUEBA	RAPIDA (R)
----------------	------------

PRUEBA N°	WI %	oi %	oi %	σ_3 kg/cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²	γ kg/cm ³	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESP. CORT.
1	28.6	1.129	88.20	0.8	6.218	1.693	$\phi = 41^{\circ} 30'$ $C = 0.6 \text{ kg/cm}^2$ σ_{Ten}/m^2
2	30.6	0.999	94.71	1.0	6.900	1.759	
3	34.94	0.994	92.99	1.8	11.418	1.781	
4	37.87	0.939	100.00	2.0	13.793	1.830	

ESCALA: 1cm = 1.0 kg/cm ² $\sigma_3 = 0.005$



RESULTADOS DE LOS CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL

Gráfico M-f-3

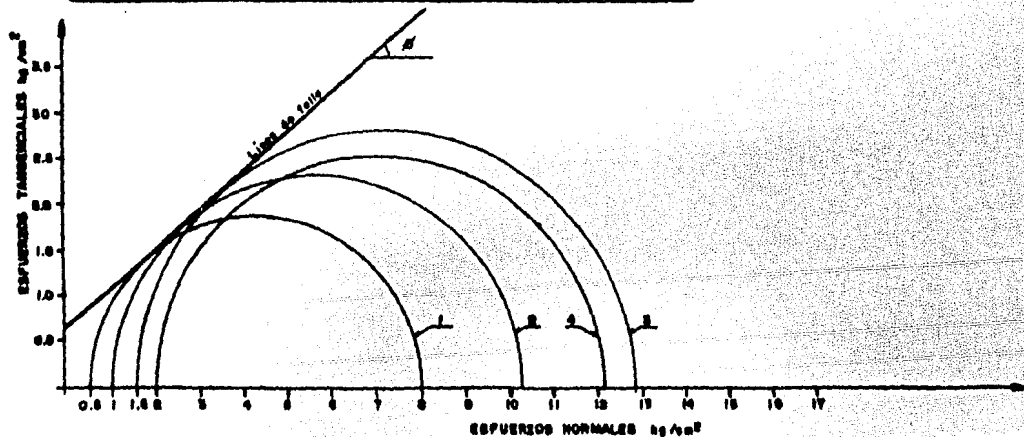
DESCRIPCION DE LA MUESTRA :	ARCILLA EXPANSIVA
ESTUDIO POR EFECTUAR :	TRATAMIENTO CON CAL Y CEMENTO
PROCEDENCIA :	ZONA INDUSTRIAL DE QUERETARO

ENSAYE N° : 3% CAL Y 5% DE CEMENTO
CON 24 HRS. CURADO

TIPO DE PRUEBA :	RAPIDA (R)
------------------	------------

ESCALA : 1 cm = 1.0 kg/cm² S_c = 2.815

PRUEBA N°	Wl %	ol %	oi %	σ _s kg/cm ²	σ ₁ -σ ₃ kg/cm ²	γ kg/cm ³	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESF. CORT.
1	38.81	1.201	78.09	0.8	7.976	1.872	φ = 41° C = 139 kg/cm ² 155 Ton/m ²
2	38.99	0.987	87.22	1.0	10.338	1.820	
3	39.09	1.180	88.87	1.5	12.641	1.881	
4	37.18	1.141	82.22	2.0	12.108	1.860	



26

BIBLIOGRAFIA:

- [1] GUY KOREL, Etude en Laboratoire du traitement à la chaux et au ciment des sols fins, Bull. Liaison. Labo. P. et ch. 133, sep-oct. - 1984, p. 63-70.
- [2] ANDRÉ RICOT., Fabrication et mise en oeuvre d' un limon traité à la chaux et au ciment Essais sur chantier expérimental, Bull. Liaison. Labo. P. et ch. 134, nov.-déc. 1984. p. 35-45.
- [3] MICHEL DU MESNIL-ADELEE., Comportement de structures de Chaussées en limon traité à la chaux et au ciment chantiers expérimentaux,- Bull. Liaison. Labo. P. et ch. 134, nov.-déc. 1984, p. 46-51.
- [4] FERNANDO OLIVERA B., Tramo de Prueba, Departamento Técnico S.O.P - 1980, pág. 12-25.
- [5] JESUS MIRANDA, Tesis Profesional (En proceso).
- [6] VIII REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS., Tomo I., 1976, pág.- 269-284. Tomo III. 1976. pág. 17-30.
- [7] JUAREZ BADILLO-RICO RODRIGUEZ., Mecánica de Suelos Tomo I. México, Ed. Limusa. 1982. 705 p.p.
- [8] S.R.H., Mecánica de Suelos, Instructivo para ensayo de suelos. México, 1976. 413 p.p.

- [9] S.C.T., Normas de Construcción, Parte Novena. Primera Edición; México, 1981.
- [10] UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION,--
Design of small dams. Washington D.C., 1985. 639 p.p.
- [11] KOVALEVICH V.N., Colloque Routes et Developpement, 3 eme session.--
Conception des routes, dechets de fabrication et produits secondaires utilises dans la construction routiere. Institut Autoroutier de Kiev, U.R.S.S, 1983.