



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTABILIZACION DE SUELOS CON ACEITE SULFONADO

T E S I S

que para obtener el título de

QUIMICO

P R E S E N T A:

JUAN ISMAEL RUIZ URIBE

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1993



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

	Pag.
INTRODUCCION.....	I
OBJETIVO.....	III
CAPITULO 1	
ANTECEDENTES.....	1
1.1 ARCILLAS.....	1
1.2 FISICOQUIMICA DE LAS ARCILLAS.....	3
CAPITULO 2	
ESTABILIZACION DE SUELOS.....	6
2.1 DEFINICION.....	6
2.2 METODOS DE ESTABILIZACION.....	8
2.2.1 METODO QUIMICO.....	8
2.2.2 ESTABILIZACION CON ACEITE SULFONADO.....	13
2.2.3 ESTABILIZACION CON DIVERSOS PRODUCTOS.....	15
2.2.4 ESTABILIZACION CON ACIDOS INORGANICOS.....	21
2.2.5 ESTABILIZACION CON POLIMEROS Y RESINAS.....	23
2.3 SULFONACION.....	23
CAPITULO 3	
ANALISIS QUIMICO.....	27
3.1 MUESTREO Y PREPARACION DE MUESTRAS.....	27
3.2 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO CATIONICO CON ACETATO DE AMONIO A pH = 7 .....	28
3.3 DETERMINACION DE CENIZAS TOTALES.....	32

3.4 DETERMINACION DE RESIDUO INSOLUBLE.....	33
3.5 DETERMINACION DE SILICE .....	35
3.6 DETERMINACION DE $SO_3$ .....	39
3.7 DETERMINACION DE CaO .....	41
3.8 PREPARACION DE MUESTRA (B) .....	43
3.9 DETERMINACION DE OXIDO FERRICO .....	45
3.10 SEPARACION Y DETERMINACION DE $R_2O_3$ .....	47
3.11 DETERMINACION DE MgO + CaO .....	50
3.12 TABLA DE RESULTADOS.....	52
CAPITULO 4	
ANALISIS FISICO.....	53
4.1 DETERMINACION DE GRANULOMETRIA.....	53
4.2 DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO.....	55
4.3 DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO.....	57
4.4 DETERMINACION DEL INDICE PLASTICO.....	59
4.5 DETERMINACION DE EXPANSIVIDAD.....	60
4.6 DETERMINACION DE COHESION.....	61
4.7 DETERMINACION DE PESO VOLUMETRICO.....	62
4.8 TABLA DE RESULTADOS.....	63
CAPITULO 5	
FABRICACION DE LADRILLOS.....	64
5.1 DEFINICION.....	64
5.2 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y CAL.....	65

5.3 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON SILICATO DE SODIO.....	66
5.4 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON ACEITE SULFONADO.....	67
CAPITULO 6	
CONTROL DE CALIDAD DE LOS LADRILLOS.....	68
6.1 DETERMINACION DE LA CONTRACCION POR SECADO DE LOS LADRILLOS.....	68
6.2 DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE LADRILLOS.....	72
6.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	74
6.4 PRUEBA DE IMPERMEABILIDAD.....	76
6.5 ESPECIFICACIONES.....	78
CAPITULO 7	
DISCUSION.....	79
CAPITULO 8	
CONCLUSIONES.....	80
CAPITULO 9	
BIBLIOGRAFIA.....	81

## INTRODUCCION

Debido a la falta de recursos económicos en el País, la inversión en programas de viviendas de interés social que benefician a la población, resulta bastante costosa, por lo cual, siempre afrontan una limitación en los recursos financieros; en consecuencia, construir una vivienda para una persona de escasos recursos económicos resulta casi imposible.

Dada la necesidad de una vivienda digna, con materiales de calidad y a un costo más bajo que de los materiales de uso común, el Centro Nacional de Investigaciones de Construcción con Tierra y Energías Alternativas (CIDECON) y con la colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Química, realizaron la investigación de dos suelos de la República Mexicana para conocer cual es el que presenta mejores características para estabilizar con aceite sulfonado y con ésto, fabricar ladrillos.

Este método de estabilización es poco conocido en México, su difusión ha sido mayor en otros países, pero su uso está enfocado a la estabilización de suelos para obras de vialidad, excluyendo su uso en la construcción de viviendas.

Para lograr que al construir viviendas con este método cumpla con sus objetivos, se debe aprovechar el suelo del lugar de origen, lo cual disminuye costos de construcción.

En este trabajo se analizará la posibilidad de que el

suelo de las zonas de Chalco y Tampico sirva para que se puedan fabricar dichos ladrillos.

La selección de los suelos de Tampico y Chalco se debió a que se programó la construcción de conjuntos habitacionales de interés social en dichos lugares.

Para obtener los resultados proyectados en el capítulo 3 y 4 de este trabajo se analizan química y físicamente los suelos. Ya con estos resultados se podrá proponer cual de estos suelos es el más apropiado para estabilizar con aceite sulfonado.

En el capítulo 1 se menciona a las arcillas, ya que son el material ideal para la fabricación de ladrillos.

En el capítulo 2 de esta tesis se mencionarán los tipos de estabilización, así como los diversos productos que pueden emplearse en la estabilización de suelos.

En el capítulo 6 se mencionan algunas de las pruebas de control de calidad que pueden ser realizadas a los ladrillos.

## OBJETIVO

El propósito de este trabajo es dar a conocer una alternativa en la fabricación de ladrillos para la construcción de viviendas de interés social a partir del suelo del lugar de origen, estabilizado con aceite sulfonado. Además de mostrar los métodos tradicionales de estabilización, como es el de cemento y cal y otros menos usados debido a costos y funcionalidad.

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES

1.1 ARCILLAS: es evidente que cada campo de la tecnología, ha definido la arcilla desde su propio punto de vista por consideraciones funcionales o de uso. Una definición completa debe abarcar las siguientes propiedades de las arcillas:

a) Contenido predominante de "minerales arcillosos", que son silicatos hidratados de aluminio, hierro o magnesio, cristalinos y amorfos. Estos silicatos comprenden desde la nacrita de formación hidrotermal, pasando por la relativamente estable caolinita, hasta los miembros de la familia de la montmorillonita, que se diferencia mucho entre sí en lo que respecta a sus propiedades de cambio de bases, red cristalina y capacidad de sustitución de sus elementos. Los minerales arcillosos del grupo de la illita se parecen mucho a las micas por su estructura y sus propiedades.

b) El contenido posible de alúmina hidratada y de óxido férrico. Los minerales a base de alúmina hidratada, como la gibbsita, la bohemita y el diásporo, se presentan en las arcillas que contienen bauxita. Esta es afín a las lateritas ferruginosas y manganosíferas. Además, la nontronita, es un miembro del grupo de la montmorillonita es rica en hierro. Incluso el zinc puede ser un componente esencial de un mineral arcilloso. Por consiguiente, los óxidos  $R_2O_3$  finamente

divididos por lo general hidratados, pueden ser componentes importantes de una arcilla. Algunos creen que la sílice coloidal hidratada desempeña algún papel en la pegajosidad y resbalosidad de ciertas arcillas.

c) La extremada finura de las partículas de arcilla, que puede ser de tamaño coloidal por lo menos en una dimensión. Los minerales arcillosos tienen, por lo general, forma plana o aplastada, menos comúnmente la forma de listones y muy rara vez de barra o bastones. En virtud de su finura, muestran la actividad superficial de los coloides. Algunas arcillas poseen red cristalina relativamente abierta con efectos coloidales de actividad de superficie interna. Otros minerales y otras partículas de rocas que no son silicatos de aluminio hidratados, pero que muestran también dimensiones y caracteres coloidales, pueden presentarse íntimamente mezclados con los minerales arcillosos y desempeñar un papel esencial en estos minerales.

d) El contenido de arena y limo cuarzosos, feldespatos, mica, clorita, ópalo, polvo volcánico, fragmentos fósiles, minerales de elevada densidad, sulfatos, sulfuros, carbonatos y muchas otras partículas de rocas y minerales, cuyo tamaño puede variar de entre los coloides y el de guijas.

En resumen, podría darse la siguiente definición de una arcilla: una arcilla es una roca sedimentaria compuesta de uno

o varios minerales, rica en silicatos hidratados de aluminio, fierro o magnesio, alúmina hidratada u óxido férrico, con predominio de las partículas de tamaño coloidal y dotada comúnmente de plasticidad cuando está suficientemente pulverizada y humedecida (7).

**1.2 FISICOQUIMICA DE LAS ARCILLAS:** se considera, en general, que las partículas arcillosas tienen un tamaño del orden de 2 micras o menores y presentan una gran actividad eléctrica. A continuación se da un breve resumen de algunas hipótesis respecto al origen de las fuerzas actuantes en las partículas arcillosas.

La fuerza de unión entre átomos para formar moléculas se conoce como fuerza de valencia primaria. Estas uniones se deben a que los átomos comparten o intercambian los electrones de sus órbitas exteriores y son lo suficientemente fuertes para no romperlas con la aplicación de los esfuerzos usuales. Cuando se unen átomos de una molécula a los átomos de otra, se tiene lo que se conoce como uniones de valencia secundaria. A estas fuerzas se les conoce también como fuerzas de Van Der Waals, y actúan con una intensidad de 1/100 de la correspondiente a las fuerzas de valencia primaria y se deben a la interacción entre moléculas dipolares y otros dipolos o campos eléctricos.

Las fuerzas de Van Der Waals, actúan en distancias mayores

de 5Å (1Å = un angström =  $1 \times 10^{-4}$  micras), mientras que las de valencia primaria lo hacen en distancias de 1 a 2Å, debido a lo cual las uniones de este tipo son tan fuertes.

La unión hidrógeno se tiene cuando un átomo de hidrógeno es igualmente atraído por otros dos átomos, formando un puente entre ellos. La unión hidrógeno actúa en distancias de 2 a 3Å y es aproximadamente 10 veces más fuerte que la unión de valencia secundaria.

La unión catiónica se presenta cuando un catión ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , etc.), es igualmente atraído a dos moléculas cargadas negativamente. Esta unión es similar a la unión hidrógeno, excepto que es mucho más débil e inestable.

La unión coulombica ocurre entre todas las partículas cargadas eléctricamente.

Entre los suelos finos predominan las fuerzas eléctricas y están compuestos predominantemente por minerales cristalinos, algunos de los cuales, aunque pequeños en tamaño, tienen actividades superficiales muy bajas por lo que no contribuyen a esos efectos conocidos como plasticidad y cohesión. A estos minerales se les podría referir, como no arcillosos, tal es el caso del cuarzo y la calcita. Estos minerales no arcillosos rara vez se presentan en tamaños menores a dos micras.

Los minerales cristalinos cuya actividad superficial es

tal que se presenta plasticidad y cohesión, podemos definirlos como arcillosos. Se conocen 15 minerales principales de este tipo, pero podría decirse que en general se tienen tres grupos dominantes: caolinita, montmorillonita e illita. Existen dos bloques fundamentales en la estructura de los minerales arcillosos, uno de ellos constituye a la llamada unidad tetraédrica y el otro a la unidad octaédrica. La unidad tetraédrica está constituida por cuatro átomos de oxígeno, equidistantes de un átomo de silicio. Las unidades tetraédricas se pueden combinar para integrar la lámina conocida como silice (5).

## CAPITULO 2

### ESTABILIZACION DE SUELOS

Para mejorar las propiedades geomecánicas del suelo, hay que analizar las propiedades del mismo para poder aprovecharlos eficientemente.

Frecuentemente se encuentran suelos que son inadecuados para su utilización en una determinada obra. Este hecho presenta tres posibilidades de decisión:

- a) Aceptar el material como está y efectuar el diseño de acuerdo a las restricciones impuestas por su calidad.
- b) Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por uno de características adecuadas.
- c) Modificar las propiedades del material existente.

Esta tercera decisión es lo que da lugar a las técnicas de estabilización de suelos (5).

**2.1 DEFINICION:** la estabilización es un procedimiento que nos permite mejorar algunos parámetros del suelo, tales como su capacidad portante, plasticidad, densidad, hinchamiento, capilaridad, impermeabilidad, etc., a fin de hacerlo aprovechable para un uso que originalmente podría ser rechazado, siempre y cuando esa estabilización sea económica, pero se debe prever que el mejoramiento de una propiedad no signifique el deterioro de otra.

Las propiedades de los suelos que normalmente se estudian en los problemas de estabilización son:

La resistencia al esfuerzo cortante

La permeabilidad

La compresibilidad

La estabilidad de un suelo está en función directa de su contenido de agua, el cual es la sumatoria de las aguas drenables y no drenables contenidas en él.

El agua drenable es el agua "libre" o "gravitacional" que se elimina por gravedad y evaporación.

Las aguas no drenables son la "higroscópica", debido a la humedad del aire; la "capilar", por efecto de la tensión superficial en la porosidad del suelo, ambas se eliminan por evaporación. La otra no drenable es la "pelicular" o "adherida" que se debe a enlaces electroquímicos entre los iones de las partículas de las arcillas y los iones del agua ionizada. A temperatura ambiente, el agua pelicular no se reduce, por lo cual, siempre está presente y contribuye con la capilaridad. La fuerza de su enlace electroquímico es del orden  $1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$  (4).

El agua libre, genera la presión de poros, la cual ejerce un efecto sobre el esqueleto mineral que modifica la magnitud del esfuerzo efectivo en los puntos de contacto entre partículas e influye sobre la resistencia del suelo a la

compresión y a la resistencia al esfuerzo cortante.

Cuando la carga aplicada a un suelo se hace variar repentinamente, esta variación es adsorbida por el fluido intersticial y el esqueleto mineral. La variación de presión intersticial obliga al agua a moverse a través del suelo, con lo cual sus propiedades varían con el tiempo.

**2.2 METODOS DE ESTABILIZACION:** en general se utilizan tres métodos para la estabilización de suelos, que son: mecánico, químico y el uso de aceite sulfonado. Para la construcción se utilizan básicamente los dos últimos, ya que el primero se utiliza básicamente para obras de viabilidad (4).

**2.2.1 Método químico:** dentro del método químico existen tres compuestos comunes en la estabilización de suelos que son: cemento, cal y asfalto, aunque se conocen otros compuestos que pueden ser usados (4).

a) Estabilización con cemento (6): se ha considerado durante muchos años el empleo del cemento como uno de los materiales más indicados para la estabilización de suelos. La utilización del cemento, como estabilizante, se ha intensificado desde hace algunas décadas. Las técnicas modernas de construcción tomaron ventaja de los materiales de construcción disponibles en el lugar y es aquí donde se ha

logrado ventajas tanto económicas como ingenieriles al efectuar estabilizaciones con cemento.

En general, las técnicas utilizadas para efectuar una buena estabilización con cemento, considera dos criterios fundamentales: la durabilidad y la resistencia, repercutiendo ambos criterios en la economía. La técnica de estabilización involucra una buena disgregación del suelo, adición del cemento, mezclado en seco y adición del agua, tanto de fraguado como la necesaria para la compactación.

Comúnmente se piensa que la mejora en las propiedades en un suelo tratado con cemento, se debe principalmente al endurecimiento del cemento, pero a la fecha se siguen discutiendo los procesos que tienen lugar durante la hidratación del cemento en presencia de arcillas. Si el endurecimiento de la mezcla suelo-cemento se debiese solamente a la hidratación del cemento, podría considerarse al suelo como un componente químicamente inerte. Si además del endurecimiento se presentan reacciones adicionales entre los componentes del cemento y la arcilla, se obtendría un material adicional cementante que contribuiría no solamente a la unión entre las partículas del suelo, sino también a la unión entre las partículas del suelo y las del cemento endurecido. Al mismo tiempo, la arcilla que participa en tales reacciones podría sufrir alteraciones, se volvería menos plástica y menos

expansiva al quedar en contacto con la humedad.

Un requisito esencial en la formación de materiales cementantes adicionales en una arcilla estabilizada con cemento, es que se tenga presentes en la arcilla sílice y alúmina solubles.

Durante el endurecimiento de una mezcla arcilla-cemento, se puede distinguir un proceso primario y uno secundario. Como reacción primaria se tiene la hidratación del cemento, éste proceso formaría inicialmente a los productos usuales en la hidratación, pero adicionalmente incrementaría el valor del pH en el agua de moldeo; durante este periodo se forma hidróxido de calcio que reacciona más fácilmente que la cal ordinaria. Las partículas de la arcilla participan entonces en el proceso secundario, que consiste en que los iones de calcio producidos durante la hidratación del cemento atacan a la arcilla tendiendo a intensificar la floculación iniciada por el incremento en la proporción de electrolito que acompaña a la adición del cemento.

El hidróxido de calcio inicia el ataque de las partículas arcillosas y de los constituyentes amorfos, se combina la sílice y alúmina disueltas con los iones de calcio y se precipitan formando un material cementante adicional.

Debido a que la materia cementante secundaria se formaría sobre o cerca de la superficie de las partículas arcillosas,

una vez floculadas éstas, se pegarían en los puntos de contacto gracias a la formación de materiales cementantes secundarios, por lo que puede esperarse que se desarrollen uniones muy fuertes entre la pasta de cemento hidratado y las partículas arcillosas que cubren los granos de cemento endurecido.

Se afirma que la mayor reactividad se presenta con las arcillas de tipo montmorillonita siguiendo en orden las del tipo de las caolinitas y finalmente la illita. Esto podría esperarse debido a que la montmorillonita presenta la capacidad de intercambio catiónico más alta (5).

b) Estabilización con cal (6): la acción de la cal sobre las arcillas puede resumirse en las siguientes fases:

En la primera etapa se tiene una reacción iónica. La adición de la cal a una arcilla corresponde a un aporte masivo de iones  $(OH)^-$  y  $Ca^+$ . Los cationes de  $Ca^+$  se unen a las superficies de las láminas arcillosas por los efectos de intercambio catiónico, desarrollando fuerzas eléctricas suficientes para contribuir a la formación de puentes que unen a las partículas arcillosas. Esta acción, análoga a una floculación ayuda en edades tempranas a modificar al material, aumentando o reduciendo el límite líquido y aumentando en mayor escala al límite plástico; lo que resulta prácticamente en una reducción en el índice plástico, asimismo el suelo se vuelve menos sensible al agua.

Una segunda etapa, durante la cual, las arcillas reaccionan en forma más o menos vigorosa de acuerdo con la naturaleza del mineral arcilloso. Esta reacción se traduce por una degradación más o menos acelerada del mineral arcilloso y la aparición de especies de minerales nuevas, responsables del aumento en la resistencia a la compresión simple (5).

Concluyendo se puede decir que las caolinitas se revelan como un mineral poco sensible a la cal (5).

Las montmorillonitas son minerales altamente reactivos con cal. La illita es el mineral arcilloso que reacciona más difícilmente con la cal (5).

c) **Estabilización con asfalto (6):** la estabilización con productos asfálticos ha sido uno de los métodos más usuales para mejorar la calidad de los materiales. Una de las razones principales son sus cualidades cementantes y de impermeabilización, siendo en el caso de las gravas, arenas y limos, es decir, en materiales no cohesivos o con pocos finos cohesivos a los que se desea proteger de cambios en la estabilidad por efectos de la humedad, conservándolos lo más secos que se puede y en el estado en que fueron compactados.

Aunque el uso de productos asfálticos para la estabilización ha sido muy popular, se sabe relativamente poco acerca de las bases teóricas que la sustentan, en comparación con otros tipos de estabilización, como es el caso de la

estabilización con cemento y cal.

La mayor parte de los conocimientos actuales se fundamentan en la experiencia de campo.

Los tipos de productos asfálticos que generalmente se han empleado en la estabilización de suelos, ya sea a temperatura ambiente o ligeramente elevada, son los asfálticos rebajados y las emulsiones en sus diferentes variedades.

De los asfaltos rebajados los más adecuados son los de fraguado rápido y medio, y de éstos los que gozan de mayor preferencia son los de fraguado rápido por contener un residuo más duro, pero la elección definitiva del producto más adecuado depende del clima, del tipo de suelo y del equipo y método de construcción.

#### 2.2.2 ESTABILIZACION CON ACEITE SULFONADO (4)

**Características Fisico-químicas:** el aceite sulfonado es un ácido derivado de la fracción del naftaleno del petróleo, sulfonado. Es un líquido espeso de color gris oscuro, con una gravedad específica alrededor de 1.15g/cc. Su viscosidad es ligeramente menor a la del agua, miscible en ella, a la cual ioniza con extrema rapidez, en solución acuosa es de alta conductividad.

**Acción del Aceite Sulfonado sobre las Partículas del Suelo:** Las partículas de arcilla, debido a su composición

mineralógica, tienen aniones, por lo cual atraen a los cationes del agua, haciendo que ésta se adhiera a ellas, formando el agua pelicular.

El aceite sulfonado por su composición química tiene un alto potencial de intercambio iónico. Cuando se coloca una pequeña cantidad del producto en agua, activa los iones H y (OH) de ella, ionizándola, con lo cual ésta intercambia vigorosamente sus cargas eléctricas con las partículas del suelo. Este intercambio produce choques iónicos, los cuales liberan la energía necesaria para que el agua adherida a las partículas rompa su enlace electroquímico y se desprenda convirtiéndose en agua libre que drena por gravedad y evaporación.

Al desprenderse el agua pelicular de las partículas más finas en un proceso electroquímico irreversible y drenar como agua libre, las partículas sedimentan y se orientan entre sí, lográndose una alta cohesión entre ellas, debido a los enlaces electroquímicos.

De esta forma, se obtiene una densificación del suelo que reduce la estructura poroso-capilar y el ascenso del agua por tensión superficial), aumentando su resistencia.

La irreversibilidad del proceso se refiere a que la atracción electroquímica entre las partículas es permanente.

Por esto, la densificación lograda acelera el proceso de

consolidación del suelo.

También el aceite sulfonado destruye los materiales orgánicos en descomposición presentes en el suelo, evitando con esto posibles rupturas en el suelo (4).

### 2.2.3 ESTABILIZACION CON DIVERSOS PRODUCTOS (5)

**Estabilización con sales:** a continuación se tratarán los puntos sobresalientes de la estabilización con cloruro de sodio, cloruro de calcio y silicato de sodio.

Las sales normales, tales como el cloruro de sodio, cloruro de calcio y cloruro de potasio son completamente neutralizadas, es decir, que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno ni básicos de hidróxilo. Se designan como sales ácidas a las que contienen exceso de iones hidrógeno, como el bicarbonato de sodio y a las que contienen exceso de iones hidróxilo se les designa como sales básicas.

Se han estudiado un gran número de sales, pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen unas cuantas, siendo las más comunes cloruro de sodio y calcio y un poco menos el silicato de sodio.

a) **Estabilización con cloruro de sodio:** el cloruro de sodio ayuda a reducir los cambios de humedad en los suelos, pero hay controversia respecto a la magnitud de esta reducción. Se cree que se reduce la evaporación del agua debido al

tensión superficial, al agregar la sal. Sin embargo, cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones. Inclusive se han obtenido relaciones que indican que la velocidad de evaporación es inversamente proporcional al espesor de la barrera referida. Al saturarse esta barrera, nuevamente se disuelve y es arrastrada hacia abajo, con lo que la arcilla al perder su estabilizante se expande y retarda el movimiento del agua en el suelo.

Se tiene noticia de que la aplicación de la sal, ha evitado los efectos expansivos de algunas arcillas.

También es de importancia conocer la reacción íntima del suelo con la sal, así como la permanencia a través del tiempo de la estabilización lograda y los efectos colaterales que causaría.

Se ha encontrado, que los efectos de la adición de sal a una arcilla, son muy diferentes en lo que respecta a la plasticidad y que existe gran dependencia de los tipos minerales presentes en la arcilla. Se logra mayor efectividad y durabilidad de los efectos de la sal a medida que el límite líquido es más alto.

En lo que respecta a la resistencia, se ha tenido una gran

controversia solamente en la medida en que se incrementa el peso volumétrico a contenidos bajos de humedad, pero también se ha dicho que esta observación es válida aún sin la presencia de sal.

En forma definitiva se ha visto que la adición de sal a un suelo reduce el problema de congelamiento.

De todo lo que aquí se ha mencionado, se puede inferir que el empleo de la sal puede producir efectos difíciles de predecir.

Cuando se intente la estabilización con sal deberán tenerse presentes las siguientes limitaciones:

- El cloruro de sodio es muy útil en climas con problemas de congelamiento.

- Se puede esperar un mejor resultado si el suelo contiene material fino que reaccione con la sal.

- La materia orgánica inhibe la acción de la sal (5).

b) Estabilización con cloruro de calcio: en el caso de la estabilización con cloruro de calcio parece haber mayor acuerdo, en lo que respecta a los mecanismos de estabilización, que en el caso del cloruro de sodio.

La adición de cloruro de calcio disminuye las fuerzas de repulsión entre las arcillas, pero hay opiniones que inclusive aseguran que la película de agua que rodea a las partículas se ve eléctricamente reforzada con la adición de cloruro de

calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente. Como en el intercambio catiónico se sustituye un ión calcio por dos iones sodio, la doble capa se ve reducida en su espesor y ésto hace que se reduzca el potencial eléctrico y en consecuencia se reduzcan las fuerzas de repulsión entre las partículas. Por otro lado, si durante la reacción del cloruro de calcio con la arcilla se produce ácido clorhídrico, entonces puede suceder que los iones de calcio reemplacen a iones aluminio, lo que disminuye aún a las fuerzas de repulsión provocando con ello mejores ligas entre las partículas.

Se ha sugerido, que la adición de cloruro de calcio en una proporción pequeña, une las partículas al contrarrestar las repulsiones negativas, así como al formarse uniones tipo valencia; sin embargo, si se añade el cloruro de calcio en exceso se rodean todas las partículas de cargas positivas presentándose ahora una fuerza de repulsión que las separa.

El cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo pero desafortunadamente esta sal es muy fácilmente lavable.

Existen algunas limitaciones para el empleo del cloruro de calcio, mencionándose las más importantes como siguen:

- Que en el medio ambiente se tenga una humedad relativa superior al 30%.
- Que se tengan minerales que pasen por la malla 200 y que

éstos reaccionen favorablemente con la sal. (5)

c) **Estabilización con silicato de sodio:** el silicato de sodio pertenece al grupo de compuestos químicos que poseen un amplio intervalo en sus propiedades físicas y químicas. Se ha empleado como adhesivo, cementante, detergente, defloculante catalizador, etc. El silicato de sodio en solución es incoloro e inodoro y actúa, en términos generales, como jabón fuerte.

La estabilización con silicato de sodio de suelos se ha venido aplicando desde hace mucho tiempo y parece ser que los mejores resultados se han obtenido en el caso de suelos arenosos y climas moderados.

Todos los silicatos de sodio son alcalinos, y si se les mezcla en una solución con material ácido, la mezcla obtenida se volverá lechosa. Ahora bien, si la concentración de sílice es superior al 1% o 2%, se precipita ácido silícico y ocurre la formación de un gel. Las soluciones con concentraciones menores de sílice producen un coloide, estas partículas coloidales hidratadas adquieren en general carga negativa.

Las propiedades del gel formado, tales como la resistencia, durabilidad y permeabilidad son muy variables y dependen de factores como la concentración de la solución, temperatura y tipo de ácidos, sales o bases que intervengan en la reacción.

Se ha reportado desde hace mucho tiempo la efectividad del

silicato de sodio como estabilizante de suelos, algunas veces se le empleó solo y otras veces junto con otros productos químicos.

Debido a que el proceso de la formación del gel referido no es del todo conocida, ha resultado imposible establecer con precisión la reacción que se realiza entre el suelo y el silicato de sodio. Se ha establecido que éste reacciona con algunos minerales arcillosos, pero sin explicar como se realiza dicha reacción.

Lo que si se ha podido aseverar, es que el silicato de sodio se puede utilizar para trabajos de estabilización de suelos cuando también se tiene la presencia de sales de calcio diluidas en agua, pues esto origina silicatos gelatinosos de calcio insolubles, los cuales al hidratarse producen un magnífico agente cementante.

El efecto de la adición de un silicato, a cierto tipo de suelos, ha sido el de incrementar la permanencia del agua de compactación, aumentar la resistencia al disgregado, abatir el índice plástico de la expansión. Algunas evidencias indican que en la reacción del silicato de sodio con el suelo se presente un intercambio aniónico, dando como resultado la formación de corazas de silicatos insolubles alrededor de las partículas de suelo, aparejado esto a una acción cementante entre las partículas; algunas otras veces se ha establecido que el

silicato se precipita formando una matriz continua en la que se presenta una liga iónica fuerte y rígida entre las partículas de suelo y el estabilizante.

Conclusiones generales respecto al empleo de sales para la estabilización de suelos.

- El tipo y la cantidad de sal a adicionar a un suelo, constituyen condiciones únicas para dicho suelo y dependen de sus propiedades físicas y químicas, así como de su composición mineralógica y en consecuencia cada suelo deberá ser estudiado en estos aspectos, especialmente si se trata de incrementar su resistencia.

- Por regla general, la adición de sal a un suelo hace que se disminuya su humedad óptima de compactación.

- Se reducen los problemas de congelamiento con la adición de sal.

- La sal se lavará al menos que tenga en la superficie una capa impermeable.

- Con la adición de sal se mantiene mejor la humedad en el suelo.

- En lo que respecta a la ganancia en la resistencia de un suelo estabilizado con sal, los resultados son un tanto inciertos. Esto mismo podría decirse para la plasticidad.

#### 2.2.4 Estabilización con ácidos inorgánicos: aunque poco

común, la estabilización con productos ácidos está adquiriendo en la actualidad bastante difusión y experimentación. De los ácidos se ha demostrado que son efectivos para modificar favorablemente un suelo, algunos son económicamente competitivos contra otros productos más comunes (5).

a) Estabilización con ácido fosfórico: como sucede en la mayoría de los estabilizantes, el tratamiento con este producto está indicado para suelos ácidos y han resultado ineficaces en los casos de materiales alcalinos, en limos y arenas.

El uso de este ácido presenta dos ventajas, muy particulares que son: la primera consiste en que el material arcilloso denominado clorita, cuyo comportamiento no está bien definido en los tratamientos con cemento y cal, reaccione de una manera perfecta con el ácido fosfórico; y la segunda ventaja se refiere a la ruptura de la estructura inicial por el ión fosfato al actuar sobre la arcilla, lo cuál permite obtener una mayor densificación en el suelo, resultando de ellos una mayor resistencia mecánica. De aquí resulta que este ácido tenga el mérito muy particular para estabilizar suelos localizados en regiones de naturaleza volcánica en donde es abundante la clorita (5).

b) Estabilización con ácido fluorhídrico: se ha demostrado que la estabilización con este ácido es muy efectiva, de rápida reacción en todas las arcillas con excepción de aquellas

que tienen contenidos ricos de aluminio. La reacción ya sea con arenas o con arcillas, consiste en producir en los componentes de sílice modificaciones de tipo químico para formar fluoruros de silicato insoluble, de alta resistencia. Este tratamiento no ha evolucionado, debido principalmente a su alto costo y a que resulta demasiado peligroso su manejo (5).

2.2.5 Estabilización con resinas y polímeros (5): el uso de estos productos en la estabilización de suelos ha tenido por objeto principal, formar una estructura impermeable al agua; ciertas resinas sintéticas tales como las del sistema anilina-furfural de naturaleza orgánica aumentan la resistencia mecánica del suelo mejorando su cohesión.

2.3 SULFONACION (7): se distinguen cuatro tipos químicos de sulfonados: alifático y alicíclico, aromático, heterocíclico y N-sulfonados. Las tres primeras categorías son semejantes en que tienen el grupo  $-SO_2OH$  unido a un átomo de carbono, cuya sola naturaleza determina la clasificación.

Tres grupos adicionales de sulfonados, derivados de fracciones de petróleo, de la lignina y de los aceites grasos, son importantes comercialmente. Se hacen éstos mediante procedimientos en gran parte empíricos; su composición es indeterminada, y pueden comprender mezclas de uno o más de los

cuatro tipos químicos sulfonados juntamente con sulfatos y otros compuestos de azufre.

La mayor parte de los usos de los sulfonados dependen de la presencia en la molécula del grupo  $-SO_2OH$  hidrofílico, altamente polar. En los detergentes, y análogamente en los agentes mojadores, emulsivos y dispersantes, el grupo sulfonado soluble en el agua está combinado con una porción orgánica soluble en los aceites en varias maneras posibles para producir una variedad de efectos.

**Métodos de sulfonación:** los principales procedimientos de sulfonación pueden ser clasificados del modo siguiente: 1) tratamiento directo con anhídrido sulfúrico o un compuesto de éste; 2) procedimientos oxidantes; 3) reacciones con sulfitos y 4) métodos de condensación y polimerización. La clasificación en métodos directos e indirectos se emplea algunas veces para indicar si un procedimiento de sulfonación comprende una o más etapas.

El tratamiento directo con anhídrido sulfúrico o un compuesto de éste es el procedimiento más extensamente aplicado que los demás, y se emplea en la preparación de los cuatro tipos químicos de sulfonados y en el tratamiento de aceites fijos y fracciones de petróleo.

El ácido sulfúrico concentrado y el óleum de diferente concentración son los reactivos más comunes para la sulfonación

directa. Las propiedades físicas del sistema  $\text{SO}_3\text{-H}_2\text{O}$  han sido estudiadas desde el punto de vista de sulfonación. Otros reactivos que encuentran extenso empleo son el anhídrido sulfúrico, varios compuestos de adición del anhídrido sulfúrico con compuestos orgánicos (dioxano o piridina) y el ácido clorosulfónico.

El anhídrido sulfúrico es teóricamente el agente de sulfonación más eficaz y directo de este tipo, puesto que solo entra; la adición directa.



**Sulfonados del petróleo:** el ácido sulfúrico se ha empleado desde hace más de 100 años para refinar fracciones de petróleo; pero hasta 1875 no se inició la manufactura de aceites blancos minerales por tratamiento de las fracciones lubricantes con óleum, y entonces se formaron los sulfonados como productos secundarios y quedaron disponibles en cantidad.

Se obtuvieron dos tipos de compuestos sulfónicos: los "ácidos caoba" solubles en aceite y los "ácidos verdes" insolubles en aceite o solubles en agua. Los del primer tipo, especialmente, hallaron creciente empleo como emulsionantes, agentes contra la herrumbre y aditivos para lubricantes de maquinaria. Los aceites sulfonados solubles en agua tuvieron muy poca aplicación.

Puesto que el petróleo, es una mezcla compleja de

hidrocarburos de composición en gran parte desconocida y extremada variación en la facilidad de sulfonación, que va desde el energéticamente reactivo hasta el inerte, no es sorprendente que el procedimiento de sulfonación e incluso en mayor grado el subsiguiente aislamiento, sean empíricos y se hallen en estudio constante para su perfeccionamiento. Se distinguen tres etapas: 1) purificación preliminar del material que se ha de sulfonar, que tiene por objeto separar los componentes productores de lodo y coloración; 2) la propia sulfonación; 3) aislamiento.

## CAPITULO 3

### ANALISIS QUIMICO

**3.1 MUESTREO Y PREPARACION DE MUESTRAS:** las muestras de suelo se tomaron del lugar seleccionado para la construcción de las viviendas.

Se tomaron las muestras de hoyos recién hechos con una amplitud de aproximadamente 50 cm por cara y de una profundidad de aproximadamente un metro. (9).

Se escogieron muestras de cada uno de los hoyos a diferentes profundidades y se hizo una mezcla para obtener una muestra representativa del suelo para realizar su análisis.

La preparación de las muestras de suelo en el laboratorio se realizó extendiendo las muestras de suelo y dejándose secar al aire a una temperatura ambiente entre 20°C y 25°C.

Se mezcló perfectamente y se trituró con un rodillo de madera, para deshacer los grumos.

Enseguida se separaron las partículas mayores de 2mm que no se pudieron moler con el rodillo a través de malla con orificios ligeramente menores a 2mm.

Una vez que se tiene ha tamizado el suelo, está listo para realizar los análisis necesarios (9).

### 3.2 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO CATIONICO CON ACETATO DE AMONIO A pH = 7

Fundamento: este método se puede realizar en muestras de suelos y fertilizantes y está basado, en que el amonio desaloja a los cationes unidos al coloide orgánico e inorgánico y satura sus valencias negativas; en tanto que el sodio de la sal durante la destilación desaloja al amonio del complejo coloide-amonio, formándose una sal de hidróxido de amonio al tratarse con hidróxido de sodio (9 y 12).

#### Material:

Matraz Erlenmeyer de 250 ml

Embudo Büchner

Matraz Kjeldahl de 500 ml

Trampa Kjeldahl

Refrigerante de agua

Bureta de 50 ml

Mechero Bunsen

Bomba de Vacío

Matraz Kitasato

Soporte Universal

Papel filtro No. 41

#### Reactivos:

Acido clorhídrico (HCl) 0.1 N

Hidróxido de sodio (NaOH) 1.0 N y 0.1 N

Acido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) concentrado

Hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) concentrado.

Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) concentrado

Granallas de zinc

Alcohol etílico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) al 95%

Anaranjado de metilo ( $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{O}_3\text{N}_3\text{NaS}$ ) al 0.05%

Rojo de metilo ( $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$ ) AL 0.1%

Parafina concentrada

Agua destilada

Preparación del acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ): se diluyen 35 ml de hidróxido de amonio concentrado en 200 ml de agua destilada y se combinan con 28.5 ml de ácido acético diluido en 150 ml de agua destilada. El pH de la solución resultante se ajusta a  $\text{pH} = 7$  con el reactivo necesario,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  o  $\text{NH}_4\text{OH}$ , según sea el caso, usando potenciómetro y finalmente se afora a 500 ml.

Procedimiento: se pesan 10g de muestra de suelo después de tamizarla en malla de orificios de 2mm. Se coloca en un embudo büchner que lleva un papel filtro del No. 41 de poro mediano humedecido. El embudo se acopla a un matraz Kitasato.

Se conecta el vacío y se pasan poco a poco 225 ml de la solución normal de acetato de amonio, ayudándose de un agitador para hacer que la solución caiga sobre un papel filtro colocado encima de la muestra. Se quita el vacío y el extracto que se

recibió en el matraz se desecha. Nuevamente se pone el vacío y se pasan por la muestra pequeños volúmenes de etanol al 95% hasta consumir 150 ml, para eliminar el exceso de acetato de amonio.

Una vez realizado lo anterior se monta el equipo para destilar, colocando en el matraz kjeldahl la muestra junto con el papel filtro, enseguida, se colocan 10g de NaCl, 20 ml de NaOH 1N, 0.5g de parafina para evitar la formación de espuma, algunos pedazos de granalla de zinc y 200 ml de agua destilada.

En el otro extremo se coloca un matraz donde se va a recibir el destilado, aproximadamente 150 ml, en dicho matraz se ponen con pipeta volumétrica 50 ml de HCl 0.1 N previamente valorado, y dos gotas de rojo de metilo. Cuando se recibe el destilado procurar que el colector este sumergido parcialmente en el ácido para capturar el  $\text{NH}_3$ . Iniciar la destilación calentando moderadamente.

Una vez que termina la destilación se procede a realizar la titulación con NaOH valorada 0.1N del ácido clorhídrico que no fue neutralizado con el amoniaco.

Cálculos:

$$\text{mg/100 de suelo} = \frac{(V_1 \times N_1) - (V_2 \times N_2) \times 100}{M}$$

De donde:

$V_1$  = volumen de HCl

$N_1$  = normalidad de HCl

$V_2$  = volumen gastado de NaOH

$N_2$  = normalidad del NaOH

$M$  = peso de la muestra

### 3.3 DETERMINACION DE LAS CENIZAS TOTALES

**Fundamento:** el método se basa en la eliminación de la materia orgánica de un suelo por medio de la incineración a 700°C. El residuo que se queda se considera como las cenizas totales.

#### **Material:**

Triángulo de porcelana

Crisol de porcelana

Mufia

Tripié

Pinzas para crisol

Mechero

**Procedimiento:** pesar exactamente alrededor de un gramo de muestra en un crisol de porcelana, previamente puesto a peso constante.

Quemar en el mechero sobre un triángulo de porcelana el crisol con su contenido, hasta desprendimiento de gases, (el crisol debe colocarse inclinado).

Incinerar en la mufia a 700°C durante dos horas o hasta obtener una ceniza blanca.

Posteriormente se enfría en un desecador y se pesa, esta operación se realiza hasta obtener un peso constante (1).

#### **Cálculos:**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de la ceniza}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

### 3.4 DETERMINACION DE RESIDUO INSOLUBLE

**Fundamento:** el método se basa en el ataque a la muestra primero con un ácido que es el HCl y después con una base que es el NaOH.

Una vez terminada la disolución y filtrado, el residuo se incinera a 900°C y el residuo que queda, se considera como el residuo insoluble, tanto en hidróxido de sodio como en ácido clorhídrico (12).

#### **Material:**

Cápsula de porcelana

Crisol de porcelana

Vidrio de reloj

Embudo de vidrio de tallo corto

Matraz erlenmeyer de 250 ml

Vaso de precipitados de 250 ml

Papel filtro Whatman No. 41

#### **Reactivos:**

Ácido clorhídrico (HCl) concentrado

Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1%

Rojo de metilo ( $C_{15}H_{15}N_3O_2$ ) al 0.1%

Agua destilada

Cloruro de amonio ( $NH_4Cl$ ) al 2%

**Procedimiento:** pesar exactamente alrededor de un gramo de la muestra de suelo seca, previamente tamizada en malla

de orificios de 2 mm la cual se coloca en una cápsula de porcelana y se adiciona 10 ml de H<sub>2</sub>O destilada, seguida de 5 ml de HCl concentrado.

Adicionar 40 ml de H<sub>2</sub>O destilada y digerir en un baño María durante 15 minutos.

Filtrar el residuo y lavar seis veces con H<sub>2</sub>O destilada caliente.

Transferir el papel filtro y su contenido a un vaso de precipitado de 250 ml y digerir con solución de NaOH al 1% hasta el punto de ebullición durante 15 minutos.

Acidificar con HCl concentrado, empleando rojo de metilo como indicador y adicionar 4 o 5 gotas en exceso de HCl.

Filtrar y lavar el residuo 12 veces con una solución de NH<sub>4</sub>Cl al 2% caliente.

Transferir el papel filtro del No. 41 de poro medio y el residuo a un crisol a peso constante e incinerar a 900° C durante 15 minutos.

Enfriar en un desecador y pesar (12).

Cálculos:

$$\% \text{ Residuo Insoluble} = \frac{\text{peso del residuo} \times 100}{\text{g de muestra}}$$

### 3.5 DETERMINACION DE SILICE ( $\text{SiO}_2$ )

**Fundamento:** este método está basado en la fusión del suelo con una mezcla de carbonatos, para formar silicato de sodio soluble y otros compuestos fácilmente atacados por el HCl. Por evaporación con HCl se obtiene la sílice como residuo insoluble en agua, el cual, después de pesarse se trata con HF y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Se calienta después para eliminar el silice y el exceso de ácidos y se pesa el residuo constituido por óxidos; la diferencia de ambos pesos corresponde al de la sílice (10 y 11).

#### **Material:**

Vaso de precipitados de 400 ml

Crisol de platino

Triángulo de porcelana

Vidrio de reloj

Mechero Fisher

Parrilla

Mufla

Desecador

Papel filtro Whatman No. 41

Tamiz de 100 mallas

#### **Reactivos:**

Ácido clorhídrico (HCl) concentrado, al 2% y al 25%

Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado

Ácido fluorhídrico (HF) al 48%

Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )

**Preparación de muestra (A).**

**Procedimientos:** se pesa exactamente 1.0 g de muestra molida y tamizada. Enseguida se coloca en un crisol de platino de 35 ml de capacidad. Se le agregan 10 g de una mezcla equimolecular de  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ , se mezcla todo perfectamente y se cubre la mezcla con dos gramos más de la mezcla fundente y se coloca el crisol tapado en un triángulo de porcelana sobre un mechero Fisher, calentando suavemente al principio para eliminar cualquier humedad durante 10 minutos y después a temperatura alta hasta lograr la fusión. Lograda la fusión se retira el crisol de la flama y se rota cuidadosamente para lograr que el fundente actúe sobre cualquier partícula que hubiese quedado en las paredes. Se continúa el calentamiento durante 10 minutos más y se deja enfriar el crisol de tal manera que la masa fundida se deposite en uno de sus lados.

Cuando se ha solidificado la fusión se sumerge en agua fría, teniendo cuidado que no penetre al interior del crisol. Se vuelve a calentar ligeramente y se deja enfriar nuevamente este tratamiento desprende perfectamente el sólido el cual se pasa a un vaso de precipitados de 400 ml.

Tapa y crisol se lavan cuidadosamente con agua caliente y HCl al 25% usando gendarme para recuperar todas las partículas

de la fusión, recibiendo todas las lavadas en el mismo vaso, cubierto con un vidrio de reloj. En esta misma forma se le agrega HCl concentrado para descomponer todos los óxidos y carbonatos formados (con 25 ml es suficiente) calentando suavemente para que se disuelva la masa y se desprenda todo el  $\text{CO}_2$ . El volumen final será aproximadamente de 150 ml. Se destapa el vaso lavando la cubierta con la piseta y se pone a evaporar a sequedad en una parrilla a una temperatura entre  $70^\circ$  y  $80^\circ\text{C}$ .

#### Determinación de $\text{BiO}_2$ .

**Procedimiento:** el residuo seco se humedece con 10 ml de HCl concentrado. Se le agrega pulpa de papel y se deja reposar por 10 minutos al cabo de los cuales se le añaden 100 ml de agua destilada caliente, se tapa y se pone a hervir suavemente manteniendo esta ebullición por 10 minutos, para disolver todos los cloruros.

Se filtra por papel de poro abierto, bajando todos los grumos de sílice que estén adheridos a las paredes del vaso mediante gendarme y usando como agua de lavado solución de HCl al 2% caliente.

El precipitado y filtro son lavados usando esta misma solución hasta que una muestra del filtrado evaporada en un vidrio de reloj no deje residuo salino. El papel filtro con el precipitado son pasados a un crisol de platino tarado y se

ponen a calcinar, subiendo la temperatura hasta 1000°C. Crisol y precipitado se pasan a un desecador y una vez fríos se pesan hasta peso constante.

Para determinar el peso de la verdadera sílice se agregan al precipitado en el crisol 2 ml de agua, 4 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y 5 ml de HF al 48%, poniéndolo en una parrilla con calor moderado hasta evaporación del SO<sub>2</sub>. Crisol y residuo son calcinados nuevamente en mechero Fisher y se pesan después de enfriarse en desecador. La disminución de peso representa a la sílice.

La solución que se obtuvo del filtrado de sílice se afora a 200 ml para usarse en análisis posteriores.

**Cálculos:**

$$\% \text{SiO}_2 = ((A-B) - (C-B)) \times 100$$

**De donde:**

A = Peso del crisol con residuo

B = Peso del crisol vacío

C = Peso del crisol con residuo tratado con HF

### 3.6 DETERMINACION DE $SO_3$

**Fundamento:** en este método el sulfato se precipita de una solución ácida del suelo con cloruro de bario. El precipitado se calcina, se pesa como sulfato de bario y se calcula el  $SO_3$  equivalente (10 y 11).

#### **Material:**

Mufia

Crisol de porcelana

Mechero

Pinzas para crisol

Vaso de precipitados de 100 ml

Embudo de filtración

Matraz erlenmeyer de 250 ml

Desecador

Papel Whatman del No. 41

#### **Reactivos:**

Acido clorhídrico (HCl) al 2%

Cloruro de bario ( $BaCl_2$ ) al 10%

Acido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ )

Agua destilada

**Procedimiento:** del filtrado de sílice se toma una alícuota de 50 ml (que equivale a 250 mg de muestra), se pasa a un vaso de 100 ml, poniéndola a calentar tapada con un vidrio de reloj. Se le añaden unos cristales de ácido ascórbico para reducir el

hierro férrico, lo que se conoce por la decoloración de la solución. En caliente se le va agregando, gota a gota solución de cloruro de bario al 10% hasta completar 5 ml. Se retira del calor y se deja 12 horas reposar para lograr la precipitación total del  $BaSO_4$ . Se filtra con un papel filtro de poro cerrado y lavando con una solución caliente de HCl al 2%. Filtro y precipitado se colocan en un crisol de porcelana y se calcinan en mufla elevando la temperatura hasta  $700^{\circ}C$  durante 10 minutos, se deja enfriar en un desecador el crisol, y su contenido, y se pesa, reportando el resultado como  $SO_3$ .

Cálculos:

$$\% SO_3 = \frac{\text{Peso de } BaSO_4 \times 0.343 \times 100}{\text{peso en g de la muestra}}$$

De donde:

$$0.343 = \text{Factor gravimétrico } SO_3/BaSO_4$$

### 3.7 DETERMINACION DE CaO

**Fundamento:** este método está basado en la precipitación de calcio como oxalato de calcio, y determinación de la cantidad de ácido oxálico en la solución del mismo en ácido sulfúrico, titulado con  $\text{KMnO}_4$  (10).

#### **Material:**

Vaso de precipitados de 400 ml

Parrilla

Papel filtro Whatman No. 41

Bureta de 50 ml

#### **Reactivos:**

Hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) concentrado

Acido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

Oxalato de amonio ( $\text{C}_2\text{O}_2(\text{NH}_4)_2$ )

Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )

Acido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 10%

Permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) 0.1N

#### **Solución precipitante:**

Hidróxido de amonio 35 ml

Acido cítrico 20 g

Oxalato de amonio 20 g

Cloruro de amonio 20 g

Urea 100 g

Agua destilada 700 ml.

**Procedimiento:** Se toma una alícuota de 100 ml del filtrado de sílice (conteniendo 500 mg de muestra) se pasa a un vaso de 400 ml. Se le añaden 100 ml de la solución precipitante y se ponen a calentar hasta tener una ebullición ligera que se mantiene durante una hora. Pasado este tiempo se retira del calor, se le agregan 5 gotas de amoníaco y se filtra inmediatamente por un filtro de poro medio. Se lava el vaso donde se hizo la precipitación 3 veces y 7 veces el precipitado en el filtro, siendo especialmente cuidadoso en lavar este último desde el borde. Para todos esos lavados debe usarse agua caliente.

Filtro y precipitado son regresados al vaso donde se hizo la precipitación. Se le agregan 100 ml de  $H_2SO_4$  en solución acuosa al 10% y se titula con  $KMnO_4$  0.1N hasta que la solución tome color rosa permanente por 30 segundos.

**Cálculos:**

$$\% CaO = V \times N \times meq \times 100 \times 2$$

De donde:

V = Volumen gastado de  $KMnO_4$

N = Normalidad del  $KMnO_4$

meq = miliequivalente del CaO

### 3.8 PREPARACION DE MUESTRA (B).

#### Material:

Crisol de platino

Tamiz de 100 mallas

Parrilla

Vaso de precipitados de 250 ml

Matr z volumetrico de 250 ml

#### Reactivos:

Acido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1:1

Acido nitrico ( $HNO_3$ ) concentrado

Acido fluorhidrico (HF) al 48%

Acido perclórico ( $HClO_4$ ) al 72%

**Procedimiento:** se pesan 1250 mg de muestra molida y tamizada, y se pasa a un crisol de platino, se le agregan sucesivamente 10 ml de  $H_2SO_4$  (1:1), 1 ml de  $HNO_3$  concentrado y 20 ml de HF al 48%. Adicionar los ácidos con mucho cuidado para evitar proyecciones.

Se pone el crisol en una parrilla con calor moderado evaporando hasta que empiecen a aparecer humos de  $SO_3$ . Entonces aumentar el calor, continuando la evaporación hasta que el residuo seco no desprenda mas vapores sulfúricos.

Se pasa el crisol a un vaso de 250 ml conteniendo 250 ml de agua destilada y 10 ml de  $HClO_4$  al 72% y se coloca en una parrilla con calor moderado pra que el residuo en el crisol se

disuelva. Cuando la operación ha terminado se saca el crisol y se lava perfectamente por dentro y por fuera con el chorro de la piseta. La solución se enfría y se afora en un matraz volumétrico de 250 ml. Esta solución se utilizará para tomar alícuotas para las siguientes determinaciones (10).

### 3.9 DETERMINACION DE $Fe_2O_3$ .

Fundamento: en este método el contenido de óxido férrico se determina en una porción separada de suelo, reduciendo el fierro al estado ferroso con el cloruro estanoso y titulando con una solución valorada de sulfato de cerio (IV), usando como indicador la ortofenantrolina (10 y 11).

#### Material:

Matrâz erlenmeyer de 300 ml

Parrilla

Bureta de 50 ml

Vaso de precipitados de 250 ml

#### Reactivos:

Acido clorhídrico (HCl) concentrado

Acido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 6%

Cloruro estanoso ( $SnCl_2$ ) al 10%

Cloruro mercúrico ( $Hg_2Cl_2$ ) al 6%

Ortufenantrolina ( $C_{12}H_8N_2$ )

Sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )

Sulfato cérico ( $Ce(SO_4)_2$ ) 0.01N

#### Preparación de reactivos:

Solución de cloruro estanoso: se pesan 10 g de la sal y se disuelven en 20 ml de HCl concentrado mas 80 ml de agua, hervir suavemente.

Solución de sulfato cérico 0.01N en  $H_2SO_4$  al 6%.

Indicador: disolver 1.485 de ortofenantrolina y 0.675 g de sulfato ferroso heptahidratado en 100 ml de agua destilada.

Procedimiento: se toma una alícuota de 50 ml de la solución B (que contiene 0.25 g de muestra), se pasa a un matraz erlenmeyer de 300 ml. Se le agregan 10 ml de ácido clorhídrico concentrado y se calienta en ebullición. Mientras hierve se le añade solución de  $\text{SnCl}_2$  gota a gota, hasta la decoloración de la solución. Se le añade una gota más del reactivo y se enfria en el chorro del agua.

Cuando esta completamente frío se le añade 100 ml de agua destilada y 10 ml de solución de  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ .

Se deja reposar por 3 minutos y se le añaden dos gotas de indicador, y se titula con la sal cérica hasta la desaparición del color rojo de la solución, sin tener en cuenta el retorno de este color.

Cálculos:

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{(V - v) \times N \times 0.07985 \times 100}{0.25g}$$

De donde:

V = Volumen de la solución titulante

v = Volumen de la corrección por error del punto de vire

N = Normalidad de la solución titulante

$$0.07985 = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{2000}$$

### 3.10 SEPARACION Y DETERMINACION DE $R_2O_3$

Fundamento: este método está basado en la precipitación de los  $R_2O_3$  con solución precipitante, los cuales después son calcinados y por diferencia de peso se obtienen los óxidos (10).

#### Material:

Vaso de precipitados de 250 ml

Parrilla

Matríz erlenmeyer de 500 ml

Gendarme

Crisol de porcelana

Mufla

Desecador

Papel filtro Whatman del No. 41

#### Reactivos:

Urea ( $CH_4N_2O$ )

Hidróxido de amonio ( $NH_4OH$ ) 1:1

Nitrato de amonio ( $NH_4NO_3$ )

Rojo de metilo ( $C_{15}H_{15}N_3O_2$ ) al 0.1%

Acido clorhídrico (HCl) 1:1

Cloruro de amonio ( $NH_4Cl$ ) al 2%

#### Preparación de reactivos:

Solución precipitante: pesar 100 g de urea, 50 g de

nitrate de amonio, y adicionar 70 ml de hidróxido de amonio y aforar a 1000 ml con agua destilada.

**Procedimiento:** se toma una alícuota de 100 ml de la solución B que representa 500 mg de muestra, se pasa a un vaso de 250 ml, se le agregan 50 ml de la solución precipitante y se calienta hasta una ebullición ligera durante una hora se retira del calor y se le agregan 5 gotas de hidróxido de amonio (1:1) y unas gotas de rojo de metilo para estar seguros de que la solución tiene un pH ligeramente superior a 5.5. Se filtra la solución a través de un filtro de poro medio recibiendo el filtrado en matríz erlenmeyer de 500 ml, usando gendarme y solución de lavado para bajar lo mas posible el precipitado.

Se adicionan 10 ml de ácido clorhídrico (1:1) a las paredes del vaso para coleccionar las sales básicas de fierro y aluminio. Se agregan 25 ml de agua caliente y unas gotas de rojo de metilo, neutralizando la solución hasta vire del indicador con hidróxido de amonio (1:1) se filtra por el filtro que contienen las sales básicas, bajando todo el precipitado con el gendarme y solución de lavado y dando al precipitado 10 lavados adicionales.

Una vez escurrida totalmente la solución, filtro y precipitado se ponen en crisoles de porcelana y se calcinan en la forma usual llevando la temperatura hasta 1000° C y manteniendola así por 10 minutos.

Los crisoles se pasan a desecadores y se dejan enfriar perfectamente después de lo cual se pesa el precipitado.

Este precipitado representa la cantidad total de Fe + Al + Ti + P como óxidos exentos de sílice que fué expulsada previamente.

**Calculos:**

$$\% R_2O_3 = A/B \times 100$$

De donde:

A = Peso del residuo

B = Peso de la muestra

### 3.11 DETERMINACION DE MgO + CaO

Fundamento: este método está basado en la determinación conjunta de MgO y CaO utilizando una solución acomplejante de cianuro de potasio y trietanolamina en medio alcalino titulada con una solución de EDTA 0.05M ( 10 y 11).

#### Material:

Parrilla

Matríz erlenmeyer de 150 ml

Bureta de 50 ml

Vaso de precipitados de 400 ml

#### Reactivos:

Acido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ )

Hidróxido de amonio ( $NH_4OH$ ) concentrado

EDTA ( $Na_2H_2Y$ ) 0.05M

Cloruro de sodio (NaCl)

Trietanolamina ( $C_6H_{15}O_3$ )

Cianuro de potasio ( KCN)

Eriocromo Negro T ( $C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$ )

#### Preparación de reactivos:

Solución acomplejante: disolver 32 g de KCN en 300 ml de agua destilada y añádanse 200 ml de trietanolamina. Mezclar perfectamente.

Indicador: mezclar 0.5 g gramos de eriocromo negro T en 100 g de cloruro de sodio.

**Procedimiento:** a la solución filtrada de la determinación anterior ( $R_2O_3$ ), en caliente se le agrega un gramo de ácido ascórbico y 5 ml de la solución acomplejante, enfriando inmediatamente con agua corriente.

A la solución se le agregan 5 ml de de hidróxido de amonio concentrado y se titula con EDTA 0.05N usando como indicador el eriocromo negro T en dispersión sólida.

**Cálculos:**

Como se tiene determinado calcio en la primera porción de la mezcla el magnesio se calcula como sigue:

$$\% \text{ MgO} = (V \times M \times 8) - 0.7143 \times \% \text{ CaO}$$

De donde:

V = volumen de EDTA gastado

M = Molaridad de la solución titulante

### 3.12 TABLA DE RESULTADOS

#### ANALISIS QUIMICO

PRUEBA	MUESTRA	
	TAMPICO	CHALCO
Capacidad de Intercambio	6.8 $\frac{\text{meq}}{100 \text{ g de suelo}}$	16.7 $\frac{\text{meq}}{100 \text{ g de suelo}}$
Cationico Total		
Cenizas Totales	92.26%	91.93%
Residuo Insoluble	75.94%	52.86%
Silice	77.57%	71.60%
Oxido de Calcio	6.27%	7.66%
Oxido de Magnesio	(-)	(-)
Oxido Férrico	0.7%	1.35%
Anhidro Sulfúrico	(-)	0.52%
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40%	0.48%

**CAPITULO 4**  
**ANALISIS FISICO**

**4.1 DETERMINACION DE GRANULOMETRIA**

**Fundamentos:** el análisis granulométrico esta basado en la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen un suelo (2 y 3).

**Material:**

Tamiz de 2 mm: Grava

Tamiz de 0.074 mm: Arena

Tamiz de 0.0043 mm: Limo

Arcilla menor de 0.0043 mm

**Procedimiento:** se pesan 200 g de muestra de suelo seca perfectamente homogenizada, y se colocan en un frasco de vidrio de 1000 ml conteniendo 500 ml de agua, se agita varias veces y se deja reposar 24 horas.

Después se colocan los tamices de menor a mayor de abajo hacia arriba y se pasa la mezcla de suelo y agua por los tamices, adicionando agua para lavar los tamices, aproximadamente 10 litros.

Enseguida se deja secar el contenido de los tamices, para que posteriormente se pese y se calcule el por ciento de las fracciones del suelo.

**Cálculos:** los resultados se deberan dar en por ciento tomando como base 200 g de muestra.

$$\% \text{ Grava} = \frac{\text{peso de grava} \times 100}{\text{peso muestra}}$$

$$\% \text{ Arena} = \frac{\text{peso de arena} \times 100}{\text{peso muestra}}$$

$$\% \text{ Limo} = \frac{\text{peso limo} \times 100}{\text{peso de muestra}}$$

$$\% \text{ Arcilla} = 100\% - (\% \text{Grava} + \% \text{Arena} + \% \text{Limo})$$

#### 4.2 DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

**Fundamento:** el límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico (2 y 6).

**Material:**

Copa Casagrande (2)

Espátula

Malla del No. 40

Cápsula de porcelana

Agua destilada

**Procedimiento:** se pesan cien gramos de suelo que ha pasado por la malla No. 40, se colocan en una cápsula de porcelana y, con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

Una poca de esta mezcla se coloca, con la espátula, en la Copa Casagrande, formando una torta alisada de un centímetro de espesor en la parte de máxima profundidad.

El suelo colocado en la Copa Casagrande, se divide en la parte media, en dos porciones utilizando para ello un ranurador. El ranurador debe mantenerse, en todo el recorrido, normal a la superficie interior de la copa. El movimiento del ranurador debe ser de arriba hacia abajo.

Hecha la ranura sobre el suelo se acciona la palanca de la Copa Casagrande a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para que la parte inferior de la ranura se cierre 1/2 in. Si la ranura no se cierra los 1.27 cm entre los 6 y los 36 golpes, se recoge el material de la copa, se añade agua y se vuelve a mezclar, o se seca la muestra hasta que alcance una consistencia dentro de este intervalo.

Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes, se toman 10 g aproximadamente, del suelo de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato por diferencia de peso. Se repite el ensayo y si se obtiene el mismo número de golpes que el primero o no hay diferencia en más de un golpe, se anotara el resultado para hacer el cálculo posterior (8).

**Cálculos:**

$$LL = W (N/25)^{0.121}$$

De donde:

LL = límite líquido

W = porcentaje arbitrario de humedad del suelo  
con respecto al peso seco.

N = número de golpes necesario para cerrar la  
ranura.

$$(N/25)^{0.121} = \text{Factor de corrección}$$

### 4.3 DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

**Fundamento:** el limite plástico se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado somisólido a un estado plástico (2 y 3).

**Material:**

Cápsula de porcelana

Placa de vidrio

Flexómetro

**Procedimiento:** generalmente se hace uso del material que ha sobrado de la prueba del limite líquido y al cual se le evapora humedad frotando la muestra en las manos o alguna superficie de madera, hasta obtener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable.

Se forma luego una pequeña bola que deberá enseguida rodillarse en la placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Cuando el diámetro del filamento sea de 3.17 mm, sin romperse, deberá juntarse la muestra de nuevo, mezclarse en forma de bola y volverse a rodillar.

El proceso debe continuarse hasta que se produzca un rompimiento del filamento al momento de alcanzar 3.17 mm de diámetro.

Los suelos que no pueden rodillarse con ningún contenido

de humedad se consideran no plásticos.

Cuando al rodillar la bola de suelo se rompa el filamento, se toman todos los pedazos, se pesan, se secan al horno en una cápsula de porcelana, se vuelven a pesar ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico.

**Cálculos:**

$$\% LP = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

De donde:

% LP = Porcentaje de límite plástico

Ph = peso de los trozos húmedos

Ps = Peso de los trozos secos

#### 4.4 DETERMINACION DEL INDICE PLASTICO

**Fundamentos:** se denomina Índice plástico a la diferencia numérica entre los límites plástico y líquido, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico la muestra tal como lo definen los ensayos.

Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, sin embargo el índice plástico depende, generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo (2 y 3).

#### **Cálculos:**

$$\% IP = \frac{ZLL - ZLP}{ZLL - ZLP}$$

#### **De donde:**

% IP = Porcentaje de Índice plástico

% LL = límite líquido

% LP = límite plástico

#### 4.5 DETERMINACION DE EXPANSIVIDAD

**Fundamento:** esta determinación esta basada en la cantidad y tipo de arcilla.

**Procedimiento:** se toma una muestra de aproximadamente 20 g, los cuales se humedecen y se forman cilindros de 0.5 cm de diámetro y 10 cm de largo, se deja secar y después se mide su longitud. Si la arcilla se encogio mas de 1 cm se dice que es una arcilla expansiva (3 y 6).

Si se encogio entre 0.5 y 1 cm se dice que es medianamente expansiva y se encocgio menos de 0.5 cm se dice que es poco expansiva o no expansiva.

#### **Cálculos:**

$$A = LI - LF$$

**De donde:**

LI = longitud inicial

LF = longitud final

A = diferencia entre las dos longitudes

#### 4.6 DETERMINACION DE LA COHESION

**Fundamento:** esta prueba está basada en la cantidad de arcilla que contenga el suelo, lo cual determina el grado de cohesión de dicho suelo.

**Material:**

Espátula

Vidrio de reloj

**Procedimiento:** se toma una muestra de aproximadamente 20 g de suelo y se adiciona la cantidad de agua necesaria para que no se pegue a los dedos haciendo una mezcla homogénea en forma de esfera y se coloca en un vidrio de reloj.

Enseguida se introduce una espátula y si esta entra muy fácilmente y sale sucia se dice que el suelo es muy arcilloso y por lo tanto de cohesión alta.

Si la espátula no se hunde tan fácil y no sale tan sucia se dice que la cohesión del suelo es media.

Si la espátula entra con más dificultad y no sale sucia, se dice que el suelo es poco arcilloso y por lo tanto de cohesión baja (B).

#### 4.7 DETERMINACION DE PESO VOLUMETRICO

**Fundamento:** se denomina peso volumétrico de un suelo al peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen y generalmente se expresa en Kg/cc.

**Material:**

Balanza analítica

Recipiente de volumen conocido (15 ml)

**Procedimiento:** se coloca el material seco y homogéneo dentro del recipiente de 15 ml llenándolo y enrasándolo sin apretarlo. Inmediatamente se pesa y restándole el peso del recipiente previamente pesado, se obtiene el peso del material que dividido entre el volumen del recipiente, proporciona el valor del peso volumétrico (2, 3 y 6).

**Cálculos:**

$$P_v = \frac{P_a - P_b}{V}$$

De donde:

P<sub>v</sub> = peso volumétrico

P<sub>a</sub> = peso del recipiente con muestra

P<sub>b</sub> = peso del recipiente

V = volumen del recipiente.

#### 4.8 TABLA DE RESULTADOS

##### DETERMINACIONES FISICAS

	MUESTRAS	
	TAMPICO	CHALCO
<b>I PLASTICIDAD</b>		
Límite Líquido	17%	18.47%
Límite Plástico	0%	1.87%
Índice Plástico	0%	16.60%
<b>II GRANULOMETRIA</b>		
Grava	8.73%	4.87%
Arena	85.8%	74.56%
Limo	1.18%	5.84%
Arcilla	<u>4.29%</u>	<u>14.72%</u>
	100.00%	99.99%
<b>III PESO VOLUMETRICO</b>		
	1.45g/ml	0.886g/ml
<b>IV EXPANSIVIDAD</b>		
	negativa	negativa
<b>V COHESION</b>		
	baja	media

## CAPITULO 5

### FABRICACION DE LADRILLOS

**5.1 Definición:** ladrillos, bloques o tabiques son los materiales de construcción, de forma prismática rectangular, sólidos o huecos fabricados con cemento y agregados apropiados como arena, grava, arcilla, tezontle o piedra pomez y otros apropiados (13).

**Máquina elaboradora de ladrillos o ladrillera:** esta constituida por una tolva en donde se coloca la mezcla de suelo, estabilizante y agua. De esta tolva el material-pasa a un cajón metálico con fondo móvil; este cajón se llena con la mezcla y se cierra. Para formar el ladrillo la parte móvil del cajón es empujada por un gato hidráulico hacia arriba comprimiendo la mezcla y formado de esta manera el ladrillo. Una vez que se ha formado el ladrillo este se saca y se pone a secar. Esta ladrillera tiene la capacidad de producir un solo ladrillo a la vez (6).

La cantidad ideal de materiales para fabricar ladrillos con cemento y cal es la siguiente (6):

arcilla 15%  
limo 32%  
arena 30%  
grava 23%

## 5.2 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO Y CAL.

**Fundamento:** éste método consiste en la estabilización de casi todo tipo de suelo, preferentemente con un 10 a 15% de arcilla para la fabricación de ladrillos adicionando una mezcla de cemento y cal, con lo cual se logra un ladrillo de alta resistencia.

### **Material:**

Suelo

Cemento

Cal

Agua

Ladrillera

**Procedimiento:** este método está probado para fabricar 24 ladrillos por lote.

Se mezclan perfectamente 100 Kg de suelo seco con 14 Kg de cemento y 4 Kg de cal. Se adiciona la cantidad necesaria de agua hasta formar una mezcla moldeable y se coloca en la ladrillera. Se deja secar el ladrillo por lo menos siete días y posteriormente se realizan las pruebas de control de calidad. Dichas pruebas son: impermeabilidad, dimensiones, resistencia a la compresión y contracción por secado (14, 16, 15 y 17).

### 5.3 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON SILICATO DE SODIO

**Fundamento:** la aplicación del silicato de sodio en la estabilización de suelos, preferentemente arenosos, está basada en la formación de silicatos gelatinosos de calcio insolubles en presencia de sales de calcio disueltas en agua. Estos silicatos al hidratarse producen un magnífico agente estabilizante. La desventaja de este método es que no es costeable.

**Material:**

Silicato de sodio

Suelo

Agua

Ladrillera

**Procedimiento:** se toma la cantidad necesaria de suelo seco según el número de ladrillos que se quieren fabricar y se le adiciona el 2.5% de silicato de sodio, enseguida se mezclan perfectamente y se adiciona la cantidad necesaria de agua para formar una masa semipastosa y se coloca esta mezcla en la ladrillera. Después se dejan secar los ladrillos por lo menos siete días y posteriormente se realizan las siguientes pruebas de control de calidad: dimensiones, impermeabilidad, contracción por secado y resistencia a la compresión. (16, 14, 17 y 15).

#### 5.4 FABRICACION DE LADRILLOS ESTABILIZADOS CON ACEITE SULFONADO.

**Fundamento:** dadas las propiedades de este aceite su uso en la fabricación de ladrillos es recomendado, ya que además de dar una buena resistencia, da también una gran impermeabilidad. Es aplicable generalmente, a suelos con un 15 a 30% de arcilla.

**Material:**

Suelo

Aceite sulfonado

Agua

Ladrillera

**Procedimiento:** cuando se tiene el suelo seco se procede a mezclarse con el aceite sulfonado, pero antes se debe realizar una dilución de éste en una proporción de 1:300.

Hecha la dilución se hace la mezcla del suelo y el aceite sulfonado al 2%. Enseguida se coloca la mezcla en la máquina para fabricar ladrillos.

Después se dejan secar los ladrillos por lo menos siete días para después ser sometidos a las pruebas de control de calidad: impermeabilidad, dimensiones, resistencia a la compresión y contracción por secado (14, 15, 16 y 17).

## CAPITULO 6

### CONTROL DE CALIDAD DE LOS LADRILLOS

#### 6.1 DETERMINACION DE LA CONTRACCION POR SECADO DE LOS LADRILLOS

**Fundamento:** este método está basado en la variación de la longitud de los ladrillos en función de la pérdida de humedad. Basado en la norma oficial (NDM-C-24-1974), se entiende como **contracción por secado**, el cambio de la longitud de la muestra debido al secado; partiendo de un punto de saturación, a un estado de equilibrio en peso y dimensión (17).

**Material:**

Extensómetro (17)

Taquetes de medición

Estufa de secado

Cámara de enfriamiento

Báscula

**Procedimiento:** las muestras de prueba seleccionadas deben ser unidades enteras, libres de fisuras visibles u otros defectos estructurales y representativos del lote.

**Colocación de los taquetes:** se colocan un par de taquetes de bronce sobre la línea del centro de las muestras en cada una de las dos caras opuestas. La colocación de los taquetes se efectúa de la siguiente manera:

Se hacen dos orificios con una broca de diámetro

ligeramente menor que el diámetro de los taquetes, a fin de que estos penetren a presión. La profundidad de los orificios debe ser tal, que la superficie superior del taquete quede 2 mm abajo de la superficie de la muestra.

Antes de colocar los taquetes se humedecen los agujeros y se coloca en los mismos una pequeña cantidad de pasta de cemento. A continuación se introducen los taquetes golpeándolos ligeramente hasta asentar en el fondo de los orificios. Inmediatamente después de marca un punto en cada taquete, con la barra puntadora del extensómetro. Una vez que frague la pasta de cemento se hace un orificio en cada uno de los puntos marcados en los taquetes con una broca con una profundidad de 3 mm aproximadamente.

Las muestras deben sumergirse en agua potable a 23 C, durante 48 horas. Se toma la lectura de las muestras con el extensómetro apoyándolo en los agujeros de los taquetes. Esta medición debe efectuarse estando la muestra sumergida en el agua con excepción de la cara de la muestra en la que se efectuará la medición (17).

Cada vez que se tome una lectura de la muestra se toma la lectura de la barra de referencia.

A continuación, las muestras se sacan del agua, se dejan reposar sobre una malla de alambre durante un minuto, se limpian con un trapo húmedo y se pesan inmediatamente. Se dejan

las muestras a temperatura ambiente durante 24 horas a continuación de las cuales se introducen a la estufa para su secado.

Al completarse cinco días de secado incluyendo las 24 horas a temperatura ambiente, las muestras se sacan de la estufa y se colocan entre la cámara de enfriamiento hasta que su temperatura sea de 23 - 25°C.

Al llegar a la temperatura antes indicada, se toman lecturas con el extensómetro de las muestras y de la barra de referencia, así como el peso de los mismos.

Las muestras se regresan a la estufa para un segundo periodo de secado, el cual dura 48 horas, así como los subsiguientes. Al terminar el segundo y los siguientes periodos de secado se enfrían las muestras, se miden y se pesan; así mismo se mide la barra de referencia. Se repiten los periodos de secado hasta que se llegue a una condición de equilibrio. Se considera equilibrio cuando la variación promedio de la longitud de la muestra es de 0.002% o menos, en un periodo de seis días y cuando la pérdida de peso es de 0.2% o menos, en un lapso de 48 horas en relación al peso inmediato anterior.

Cálculos: se calcula la contracción de secado como porcentaje de la longitud medida como sigue:

$$\% S = \frac{D \times 100}{G}$$

De donde:

S = contracción de secado en porcentaje

D = cambio de longitud según lecturas del  
extensómetro

G = distancia inicial entre los puntos de  
contacto

## 6.2 DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE LADRILLOS

**Fundamento:** esta prueba esta basada en la norma oficial (NOM-C-30-1974), que establece el método de prueba para la determinación de las dimensiones de los ladrillos para la construcción por medio de una escuadra provista de una regla con cursor.

**Dimensión:** la dimensión de un ladrillo es cada una de las tres direcciones en que se mide la extensión del mismo, denominándolas largo, ancho y alto (16).

### **Material:**

Escuadra graduada con regla cursor

**Procedimiento:** las cinco muestras que se usen para la prueba deben ser representativas del lote y mantenerse a la temperatura ambiente durante las mediciones. No debe tener ningún material extraño depositado en sus caras.

La muestra se coloca en una superficie plana, que puede ser una mesa, descansando en la cara conveniente, para usar la escuadra en posición horizontal.

De cada una de las dimensiones se hacen dos determinaciones, una colocando la escuadra longitudinalmente y la otra transversalmente. Se ajustan a los brazos y la regla de esta escuadra procurando que hagan el mejor contacto posible con las caras de ladrillo. Se toma la lectura en el brazo menor graduado hasta aproximadamente 1 mm (16).

**Cálculos:** se calculan los promedios aritméticos de los resultados de las mediciones duplicadas de cada una de las dimensiones del ladrillo.

### 6.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

**Fundamento:** basada en la norma oficial (NOM-C-36-1983), que establece el método de prueba para la determinación de resistencia a la compresión en ladrillos (15).

**Material:**

Máquina de compresión

Ladrillos

**Procedimiento:** una vez que el ladrillo ha pasado el periodo de secado se procede a realizar la prueba de resistencia.

La prueba se realiza, colocando el ladrillo con el centro de superficie que va a recibir la carga alineado verticalmente con el centro del bloque de carga de acero de la máquina de prueba.

Para materiales homogéneos el centroide de la superficie de carga puede considerarse la vertical que pase por el centro de gravedad del ladrillo. Excepto para unidades especiales destinadas a emplearse con sus agujeros en dirección horizontal, se prueban con sus perforaciones en posición vertical.

Se deberán probar cinco unidades completas sin fallas ni fisuras y con sus caras razonablemente paralelas.

**Velocidad de prueba:** se aplica la mitad de la carga que se espera como máximo, a una velocidad conveniente después de la

cual se ajustan los controles de la máquina lo necesario para darle una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal modo que la carga restante no se aplique en menos de un minuto y en mas de dos (14).

**Cálculos:** se toma la lectura directamente de la máquina en Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 6.4 PRUEBA DE IMPERMEABILIDAD

**Fundamento:** basado en la norma oficial (NOM-C-37-1986), que establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua que absorben los ladrillos en las condiciones especificadas (14).

##### **Material:**

Balanza con capacidad de 0 a 10 Kg

Horno con control (100 - 110°C)

Agua

**Procedimiento:** las muestras se secan previamente en el horno a una temperatura de 100 a 110°C; se secan periódicamente y se pesan hasta que en dos pesadas sucesivas la diferencia en masa no sea mayor de 0.2% de la masa de las piezas.

Después se registran los pesos de las cinco piezas y se sumergen en agua a una temperatura entre 20 y 25°C por un periodo de 24 horas; terminado este periodo se sacan y se elimina el agua superficial con un trapo, enseguida se vuelven a pesar las piezas.

##### **Cálculos:**

$$A = \frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss} - P_s} \times 100$$

De donde:

A = volumen de agua absorbida referido al  
volumen aparente del ladrillo en  $\text{dm}^3/\text{m}$

Ms = masa seca del ladrillo en Kg

Mss = masa saturada y superficialmente seca

Pa = peso ahogado en Kg

\* Peso ahogado: registro de la masa del ladrillo sumergido en  
agua sin que roce las paredes y el fondo del recipiente (13).

### 6.5 ESPECIFICACIONES PARA LADRILLOS (12)

SUBTIPO	RESISTENCIA MINIMA	ABSORCION MAXIMA	VARIACION MAXIMA	
	DE RUPTURA A LA	AGUA EN 24 HRS.	DE LA MAS SECA	
	COMPRESION SOBRE	(LITROS/m )		
	EL AREA TOTAL			
	(Kg/cm <sup>2</sup> )			
CLAVE	PROMEDIO DE 5	PIEZA INDIVIDUAL	PROMEDIO	TOLERANCIAS
			5 PIEZAS	
RLS 175	17.2(175)	13.7(140)	240	8%
RLS 100	9.8(100)	7.8(80)	290	8%
RLS 50	4.9(50)	3.9(40)	-	8

RLS.- resistencia mínima a la compresión de ladrillo sólido.

### ESPECIFICACIONES DIMENSIONALES EN cm

	ANCHO	ALTURA	LARGO
LADRILLO	10 A 30	HASTA 15	HASTA 30

## CAPITULO 7

### DISCUSION

Los análisis realizados nos sirven para clasificar a los suelos de acuerdo con sus características y poder usar el estabilizante idoneo de acuerdo a estas.

Podemos afirmar que la gran mayoría de los suelos pueden estabilizarse con alguno de los diferentes métodos, pero muchas veces a costo elevado, lo cual es un gran inconveniente.

Los suelos con mayor cantidad de arcilla (10 a 20%) son los que más fácilmente se pueden estabilizar sin que esto incremente el valor de las obras.

También el uso de los diferentes estabilizantes es en base a costos ya que un suelo con poca arcilla necesitará mayor cantidad de estabilizante lo cual aumentará los costos de producción.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES

- De acuerdo a los análisis fisico-químicos, podemos afirmar que tanto el suelo de Chalco como el de Tampico puede ser estabilizados. Esto se basa en que prácticamente cualquier suelo puede ser estabilizado, pero muchas veces a altos costos.

- En base al análisis granulométrico podemos proponer que el suelo más apropiado para estabilizar con aceite sulfonado es el de Chalco ya que contiene una mayor proporción de arcilla; sin embargo también puede estabilizarse con cemento y cal.

- Se propone que el método mas apropiado para estabilizar el suelo de Tampico es con cemento y cal por su bajo contenido de arcilla.

Estas dos últimas aseveraciones son debido a que la cantidad ideal de materiales para estabilización es, de arcilla 15%, limo 32%, arena 30% y grava 23%.

CAPITULO 9  
BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bear, E., Firman. Química de Suelos. Ediciones Interciencia. 1ª Edición. Madrid. 1963.
- 2.- Dowlos, J.E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. 1981.
- 3.- Crespo, V.C. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Limusa 1ª Edición. México. 1979.
- 4.- Escobar, Ricardo. Electrochemical Soil Stabilization. Caracas. 1984.
- 5.- Fernández, L., Carlos. Mejoramiento y Estabilización de Suelos. Limusa. 1ª Edición. México. 1982.
- 6.- Inglés, D. G. Soil Stabilization. Principles and Practice. Butterworths. Australia. 1972.
- 7.- Kirk, E. R. Enciclopedia de Tecnología Química. Tomo II Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. 1ª Edición.
- 8.- Lambe, T., William. Soil Testing for Enginners. New York. John Wiley and sons INC. 3ª Edición 1955.
- 9.- López, R.J. Diagnóstico de Suelos y Plantas. Métodos de Campo y Laboratorio. Mundi-Prensa. 3ª Edición. Madrid. 1978.
- 10.- Obregón P., Alberto. Métodos de Análisis Químico de Rocas y Materiales Similares. Instituto de Geología. 2ª Edición México, 1977.

- 11.- Orozco, D., Fernando. Análisis Químico Cuantitativo. Porrúa. 18ava Edición. México, 1989.
- 12.- Vogel, I., Arthur. A Text book of Quantitative Inorganic Analysis. Longman. Third Edition. 1961.
- 13.- NOM-C-10-1986. Concreto-bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicones.
- 14.- NOM-C-37-1986. Determinación de la Absorción de Agua.
- 15.- NOM-C-36-1983. Método de prueba. Resistencia a la Compresión.
- 16.- NOM-C-38-1974. Determinación de las Dimensiones de Ladrillos y Bloques para la Construcción.
- 17.- NOM-C-24-1974. Determinación de la Contracción por Secado.