BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

BUAP

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO DE SUELO POR SUSTITUCIÓN DE MATERIAL

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

CARLOS DOROTEO CID

ASESOR:

M.I. MIGUEL ÁNGEL FIGUERAS CORTE

PUEBLA, PUE. SEPTIEMBRE 2014

BUAP

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
P R E S E N T E

El que suscribe M. I. MIGUEL ANGEL FIGUERAS CORTE asesor del tema denominado: "MEJORAMIENTO DE SUELO POR SUSTITUCIÓN DE MATERIAL", presentado por el C. CARLOS DOROTEO CID, pasante de la carrera de Ingeniería Civil, y en atención al oficio No. D-SA/3290/2014, me permito informar a usted que dentro del marco del XIV Seminario de Titulación de Ingeniería y después de haber realizado una cuidadosa revisión del contenido temático, la metodología y la redacción de la tesis correspondiente, no existe inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Asimismo, solicito a usted tenga a bien autorizar el jurado para su examen profesional.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

A T E N T A M E N T E
H. Puebla de Z. a 07 de octubre de 2014

M. I. MIGUEL ANGEL FIGUERAS CORTE
A S E S O R

BUAP

Oficio D-SA/3290/2014

C. CARLOS DOROTEO CID
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T E

En atención al Tema de Tesina que puso usted a consideración de la Secretaria Académica de la Facultad de Ingeniería, dentro del marco del XIV Seminario de Titulación se turnó la misma a la M. I. ANA ELENA POSADA SÁNCHEZ, Secretaria Académica, habiendo autorizado el tema denominado:

"MEJORAMIENTO DE SUELOS POR SUSTITUCIÓN DE MATERIAL"

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor de esta Tesina al M. I. MIGUEL ANGEL FIGUERAS CORTE

Sin más por el momento me despido de usted y le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

ATENTAMENTE
"Pensar bien para vivir mejor"
H. Puebla de Z. a 17 de mayo de 2014

M. I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR

M'EIVA/AEPS/AAChB*
c. c. p. Interesado
Archivo

Facultad de Ingeniería
Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio s/N, edif. 108 C, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

AGRADECIMIENTOS.

Al creador y a la vida por esta oportunidad de concluir lo que inicie hace mucho tiempo.

A mi madre, mis hermanos por estar a mi lado por compartir conmigo mis triunfos y mis derrotas y seguir a mi lado.

Gracias

A mis grandes amores que han sido la razón de seguir adelante

Al hombre que al final del camino guio con sabiduría el propósito de concluir lo iniciado mi padre.

A mi escuela, maestros y directivos por que sin ellos todo esto no sería posible.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN. 1

Justificación. 2

Objetivo General. 2

Objetivos Particulares. 3

Alcance. 3

CAPÍTULO 1TIPOS DE SUELOS 4

1.1 Clasificación de Suelos 4

1.2 Problemas en la Ingeniería. 5

CAPÍTULO 2 MÉTODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS 8

2.1 Sustitución de Material. 8

2.2 Mezclas de Suelos. 10

2.2.1 Mezclas con Cal. 10

2.2.2 Mezcla con Cemento Portland. 12

2.2.3Mezclas con Productos Asfálticos. 13

2.3 Inclusiones Rígidas. 14

2.5 Inyección por Fracturación Hidráulica 18

2.4.1 Procedimiento 18

2.5 Pedraplenes. 19

CAPÍTULO 3 MÉTODO DE MEJORAMIENTO DE SUELO POR SUSTITUCIÓN DEMATERIAL. 22

3.1 Elección del Banco de Material. 22

3.2 Equipos 24

3.2.1 Motoconformadora 24

3.2.2 Vibrocompactadores. 26

3.2.3 Retroexcavadora 27

3.3 Procedimiento. 29

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN 31

4.1 Plataformas villas Santa María 31

4.1.1 Datos Generales. 32

4.1.2 Ensayes de Campo. 33

4.1.3 Pruebas Realizadas en el Laboratorio. 33

4.1.4 Estratigrafía del Sitio. 33

4.2 Calle Lázaro Cárdenas 38

4.2.1 Estratigrafía. 39

4.2.2 Procedimiento. 39

CONCLUSIONES. 43

BIBLIOGRAFÍA 45

INTRODUCCIÓN.

Antes del desarrollo de la mecánica de suelos y gracias alas grandes contribuciones científicas de investigadores, los principales problemas de la ingeniería civil eran resueltos en forma intuitiva, ello traía serios riesgos en lo referente a seguridad y economía.

La geotecnia en la construcción es un apoyo fundamental para lograr, buenos resultados en la estabilización de suelos, ya que permite al responsable del proyecto anticipar la mayoría de los problemas que el suelo podría presentarle y permitir el cumplimiento de los objetivos para la que fue diseñada.

En toda construcción el suelo se usa como apoyo de la estructura de cimentación, es por eso que para predecir el comportamiento de éste ante los cambios de esfuerzos, es importante conocer sus propiedades y facilitar la selección de los procedimientos constructivos más idóneos, además de que se anticipan soluciones.

Cuando el suelo se ocupa como material de construcción se deben utilizar al máximo sus propiedades mecánicas, para obtener un mejor rendimiento y aprovechamiento en beneficio de la economía de la obra. Sin embargo, si el suelo por utilizar no tiene las propiedades idóneas, existen métodos de mejoramiento que pueden facilitar esa tarea.

Hasta hace años, los tratamientos de suelos en la construcción solo tenían bases empíricas, en la actualidad los conocimientos sobre este campo se basan en

Estudios sistemáticos, con fundamento científico y corroborado mediante la experimentación.

El proceso de mejoramiento de suelos debe responder una pregunta fundamental. ¿Qué método de mejoramiento será el ideal para ciertas características del proyecto?

El presente trabajo muestra una clasificación de distintos métodos de mejoramiento de suelos, describiendo su procedimiento y aplicación de cada uno de ellos.

Entre las mejoras que muchas veces se requieren en un suelo están el aumento de su compacidad (suelos granulares) y la reducción de cambios volumétricos (suelos finos). Todo proceso de mejoramiento implica una doble acción sobre la estructura de los suelos, un rompimiento y cambio de la estructura original que el suelo tenía y la modificación del arreglo.

Justificación.

No todos los materiales granulares resultan ser útiles en la elaboración de los pedraplenes .Es común suponer que los materiales solicitados se encontrarán en banco, en tamaño y forma por lo que se debe adaptar a lo que se ofrece en los bancos más cercanos a la obra en turno.

Objetivo General.

Determinar el tipo de mejoramiento del suelo que obedezca al comportamiento más adecuado al proyecto.

Objetivos Particulares.

1.-Describir los tipos de mejoramiento de suelos.

2.-Describir el procedimiento para el mejoramiento del suelo.

3.-Comparar el método de sustitución de material en dos sitios diferentes.

Alcance.

Se analizarán todos los aspectos, desde el nivel de desplante, el retiro de los materiales que se van a sustituir hasta la selección colocación y acomodamiento de los materiales. Un estudio adecuado de mecánica de suelos lleva a tomar decisión es importantes, por ejemplo el procedimiento que se deberá ejecutar con la finalidad de que la solución sea lo más práctica, económica y rápida posible.

En el presente trabajo se mostraran los procesos que se utilizaron en la elaboración de plataformas todas con base en el proyecto topográfico y las condiciones del terreno hasta el uso del pedraplen.

CAPÍTULO 1TIPOS DE SUELOS

Los suelos pueden ser residuales o transportados según se les encuentre en el mismo lugar en que se han generado o en lugar diferente. El transporte por viento, agua y la sedimentación en esos dos medios constituyen el mecanismo usual que da lugar a uno transportado. Es evidente que la estructuración y la distribución interna de las propiedades tienen que ser completamente diferentes en un suelo residual que en un suelo transportado. En el primero el ataque mecánico y la desintegración química tienden a producir un resultado final que en estructura y disposición recuerda, aunque sea lejanamente, a la roca madre.

Los suelos transportados y depositados por viento o agua generan estructuras que están regidas únicamente por los mecanismos propios de la deposición y en nada por la disposición, característica y condiciones iníciales de la roca original.

Las partículas del suelo son clasificados como orgánicas e inorgánicas y por el tamaño del grano.

1.1 Clasificación de Suelos

La clasificación de suelos se refiere a la composición exacta de un suelo particular y las características plásticas.

Estos se clasifican dependiendo del tamaño de las partículas que lo conforman y del porcentaje de humedad que se encuentra en los mismos.

- Grava (“Gravel”) Pasa la malla de 3” y se retiene en la malla N°4.

  Las partículas mayores se conocen como enrocamientos.

- Arena (“Sand”) Pasan la malla N° 4 y se retiene en la malla N° 200.
- Limo (“Silt “) Es un material más pequeño que la arena y se retiene en la malla de .005 mm.
- Arcilla (“Clay”) Es un material cohesivo y sus partículas pasan la malla N° 200. Presentan plasticidad dependiendo del contenido de agua y son muy comprensibles.
- Material Orgánico. Su contenido vegetal es alto y no son recomendables para proyectos de construcción.

Antes de proseguir con la definición de los tipos de suelo debemos considerar un agente importante en la formación y alteración de los suelos como es el agua.

El agua puede presentarse en un suelo de varias formas:

1.- Capilar (por poros).

2.- Gravitacional (que filtra).

3.- Superficial (película que envuelve las partículas del suelo).

En cada construcción se han de presentar diversos problemas con el tipo de suelo, estos deben ser solucionados a la brevedad a fin de no entorpecer ni retrasar las actividades ligadas al proyecto en estudio.

1.2 Problemas en la Ingeniería.

La relación entre las características del suelo y la estabilidad de las estructuras asociadas a este es bastante compleja. Primero que nada, existen diferentes mecanismos que pueden producir movimientos en el suelo, y además hay muchos

tipos de estructuras, cada uno con un diferente potencial para resistir el movimiento o ser afectadas por el mismo.

Es importante que el ingeniero este consciente de que las condiciones de un suelo pueden cambiar, algunas veces en alto grado, desde antes de la construcción, durante e incluso después de ésta.

Algunos edificios, como las construcciones con mampostería, son sumamente frágiles y pueden sufrir agrietamientos e incluso daños estructurales a consecuencia de desplazamientos y asentamientos pequeños en los cimientos por fallas en el suelo.

Entre los factores que influyen en el desplazamiento y asentamientos de las estructuras son los diferentes suelos que se encuentran en la zona.

Algunos tipos de arcilla muestran un aumento o disminución muy notable de su volumen a medida que el contenido de agua varia a las arcillas que exhiben estas características se les llama arcillas expansivas, estas arcillas poseen la característica de altos límites líquidos e índices de plasticidad elevados.

Algunos de los llamados “suelos de algodón negro “, que existen en condiciones tropicales de mal drenaje en lugares de Australia, África Central y América Central,

Se expanden y se contraen dependiendo del contenido de agua en un alto grado(Clarke1957).El potencial de contracción y expansión de un suelo está relacionada con su contenido de arcilla y su plasticidad.

Otro factor asociado con las arcillas muy plásticas que puede producir asentamiento es el efecto de la materia vegetal, las raíces de los árboles, que pueden llegar a profundidades de varios metros. La extracción de estos árboles significa que el suelo tendrá más humedad y se presentara una expansión, por lo que será necesario sustituirlo por uno de mejores características.

Otro de los problemas que se tienen con los suelos son la gran cantidad de rellenos, llámese basura o escombros que fueron utilizados para la re-nivelación de estos debido a sus condiciones topográficas .El constante crecimiento de las zonas urbanas y la pérdida de las zonas de cultivo han generado que con mayor frecuencia los problemas con los suelos hayan aumentado y sea necesario la utilización de diferentes tipos de mejoramientos que finalmente genera una explotación de bancos, lo que ocasiona un impacto ambiental a tomar en cuenta.

CAPÍTULO 2 MÉTODOS DE MEJORAMIENTO DE SUELOS

Se conoce como mejoramiento de suelos al proceso mediante el cual se someten éstos a cierto tratamiento, de modo que se mejoren sus propiedades físicas o mecánicas para obtener un terreno firme, estable, capaz de soportar adecuadamente cargas y condiciones ambiente.

En la etapa del estudio geotécnico de un proyecto de mejoramiento debe investigarse la naturaleza y propiedades de los suelos. El mejoramiento puede lograrse por varios procedimientos entre los que se incluyen los citados en los siguientes subincisos.

2.1 Sustitución de Material.

En ocasiones, el terreno natural consta de materiales altamente compresibles, se extraen en su totalidad si su espesor es menor de un metro y se rellena con material de mejor calidad, si los estratos de suelo permanecen saturados o de alta compresibilidad es necesario recurrir al mejoramiento con fragmentos de roca según lo determine el laboratorio antes de iniciar los terraplenes. Este procedimiento se denomina de sustitución y es muy usual en la zona mexicana del bajío, donde se ha utilizado con mucho éxito. No en todas las zonas donde se van a desarrollar un proyecto se encuentran suelos sanos, en la actualidad los terrenos ya han sido explotados con anterioridad lo que ocasiona que se rellenen con escombros

o materiales no seleccionados, en estos tipos de suelos se procede a retirar todo el volumen de material, hasta encontrar el suelo firme o el autorizado por un laboratorio, este tipo de procedimiento es muy costoso ya que el mejoramiento alcanza profundidades de hasta tres metros.

Fig.2.1 Sustitución de suelo

Fig.2.2 Terraplén material de banco.

2.2 Mezclas de Suelos.

Este tipo de estabilización es de amplio uso. Los suelos de grano grueso, como grava-arena, tienen una fricción interna alta, lo que les permite soportar grandes esfuerzos; sin embargo, esta cualidad no hace que sean estables para ser usadas como material de base en una carretera, ya que al carecer de cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos pueden separarse.

Las arcillas, al contrario, tienen notoria cohesión y poca fricción, lo que provoca que pierdan estabilidad ante contenidos de agua altos. La mezcla adecuada de los dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se aprovecha la fricción interna de uno y la cohesión del otro. Sin embargo, la sola mezcla no logra producir los efectos deseados, si no que se requiere, de compactación.

2.2.1 Mezclas con Cal.

La cal disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es relativamente económica. Los porcentajes que se utilizan varían normalmente del 2 al 6% con respecto al peso seco del material por mejorar (Rico Rodríguez y del Castillo Mejía1978). Es recomendable no usar porcentajes mayores, ya que aunque se aumenta ligeramente la resistencia hay un incremento en la plasticidad. La dosificación del cementante dependerá del tipo de suelo.

Para analizar a los suelos estabilizados con cal se realizan usualmente los siguientes ensayos de laboratorio: límites de Atterberg, granulometrías, valor cementante, equivalente de arena y CBR. La estabilización con cal no es muy efectiva en suelos granulares.

El mezclado puede realizarse en planta o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso. Puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacos. Si se agrega en forma de lechada, ésta se disuelve en el agua que se integra a la compactación.

Cuando se efectúa el mezclado en campo, el material por mejorar debe estar disgregado y acamellonado; se abre una parte y se le agrega la cal distribuyéndola en el suelo, para después hacer el mezclado en seco. Se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar el polvo. Después se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla dándole un curado hasta de 48 horas, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un rociado ligero. Se recomienda no hacer la estabilización cuando haya riesgo de lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5 ° C.

Fig.2.3 Mejoramiento con cal.

2.2.2 Mezcla con Cemento Portland.

Se usa principalmente en suelos granulares (arenas y gravas finas). El cemento mezclado con el suelo mejora las propiedades mecánicas de éstos, dando como resultado la disminución de la relación de vacíos y de la plasticidad de los suelos, así como un aumento en su resistencia y durabilidad.

La estabilización consiste en agregar cemento Portland en cierta proporción (usualmente 3 – 8 % por volumen de mezcla). Por economía de las obras es necesario ajustar el porcentaje de cemento con base en ensayes de laboratorio y campo. Algunas de las características del suelo que deben tomarse en cuenta para la estabilización son: su granulometría, limitando que los materiales no contengan partículas con tamaño superior a 6.0 cm, que el porcentaje que pasa por la malla N°200 sea menor del 50% y estableciendo un límite líquido e índice de plasticidad adecuados.

El éxito de la estabilización con cemento depende del contenido de éste, del contenido de agua y de su compactación. Las mezclas deben someterse a diversos ensayos en laboratorio, entre ellos: compactación, durabilidad y resistencia a la compresión simple, que aparte de su objeto específico, servirán para dosificar el cemento que se empleará en la mezcla.

El suelo que se mezclará con cemento debe pulverizarse y esparcirse sobre la superficie para lograr la proporción adecuada de la mezcla. Es conveniente hacer la distribución del cemento con equipo especializado, para lograr un mezclado uniforme.

La mezcla puede hacerse en seco o en húmedo, la adición del agua debe ser uniforme en toda la zona, cuidándose de que no quede depositada en huecos.

El curado se realiza con un riego de agua, en proporción de 0.5 a 1.0l/m^2, sepueden utilizar excavadoras, empujadoras, traíllas escarificadoras, niveladoras rodillos vibradores, apisonadoras y rodillos lisos.

2.2.3Mezclas con Productos Asfálticos.

En este tipo de estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas, ya que pueden emplearse con pétreos húmedos y no necesitan altas temperaturas para hacerlas maniobrables.

Existen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido. La capa a mejorar debe estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización con mucho viento, temperaturas inferiores a 5° C o lluvia, la dosificación depende de la granulometría de los suelos.

Los suelos finos requieren mayor cantidad de bitumen, y de ellos los plásticos no pueden estabilizarse a costos razonables debido a la dificultad para pulverizarlos y cantidad de bitumen necesario. En general, la cantidad de bitumen varía entre 4% y 7%; en todo caso la suma de agua para compactación más el bitumen no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

También se puede estabilizar con ácido fosfórico, fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.

2.3 Inclusiones Rígidas.

Un tratamiento por medio de inclusiones consiste en una mejora de la masa del terreno por medio de elementos cuya rigidez es mucho mayor que aquella del suelo que las contiene. Existen principalmente dos tipos de inclusiones: inclusiones flexibles constituidas por un material granular (columnas de grava, Geopiers, VibroPiers), e inclusiones rígidas, constituidas por un material cementante con una puesta en obra con o sin presión (columnas de cemento vibrocompactadas, columnas de módulo controlado, columnas de soil mixing).

Partiendo de la base de que el principio de ambos tipos de inclusiones es similar, se tiene que el mecanismo de transferencia de carga es diferente en cada tipo de técnica. Por tanto, la metodología de diseño aplicable es específica para cada tipo de inclusión, no existiendo ningún método universal de diseño aplicable a todos los tipos de inclusiones.

Existen principalmente dos tipos de inclusiones de uso común en diversas formas por todo el mundo: inclusiones "rígidas" e inclusiones "suaves". Ambos tipos son adecuados para una amplia gama de aplicaciones y proyectos industriales (tanques, diques, almacenes, edificios,etc).

- Inclusiones "blandas" Son consideradas como "suave" cuando el material de inclusión tiene propiedades cohesivas mínimas. Inclusiones blandas se construyen típicamente con un material granular con rigidez 5 a 10 veces mayor que la del material circundante. Inclusiones blandas requieren confinamiento lateral del suelo circundante con el fin de proporcionar apoyo

vertical efectivo. Una cierta cantidad de deformación lateral debe ocurrir antes de que el material granular este suficientemente acoplado y confinado por los suelos circundantes. Son a menudo de forma cilíndrica y está instalado en un patrón de rejilla regular que depende de las propiedades del suelo y la carga aplicada. Tanto el diámetro y separación de las inclusiones se consideran, y la tasa de sustitución resultante (área de superficie de la inclusión en el área unidad de la red de tratamiento) es el parámetro de diseño más comúnmente entendido. Tasas de sustitución típicos para inclusiones blandas son del orden de 10 a 30% de la masa del suelo. Se instalan mediante una variedad de métodos que penetran, vibra la barrena a través de la masa de suelo no mejoradas para crear una cavidad para la introducción de materiales granulares.

- Inclusiones "rígidas" Son consideradas como "rígida" 'cuando el material de inclusión muestra una cohesión permanente significativa. La rigidez de la inclusión es mucho mayor que la del suelo circundante, atrayendo de este modo una porción más grande de las cargas aplicadas.

En lugar de mejorar realmente el suelo, la inclusión rígida actúa como un refuerzo de la masa de suelo. Debido a la fuerte cohesión del material, inclusiones rígidas no se basan en el confinamiento del suelo para la estabilidad y el rendimiento. Son a menudo más pequeñas en diámetro que las inclusiones blandas que van desde 200 mm alrededor de 800 mm. Sin embargo, los elementos mucho más grandes se han utilizado en proyectos de gran escala, como las fundaciones del puente Rio-Antirio en Grecia (Pecker, 2004). Tasas de sustitución típicas son mucho

más pequeñas que las inclusiones blandas; del orden de 2% a 12% de la masa del suelo. La técnica tiene muchas denominaciones diferentes según los países y las inclusiones a sí mismos se pueden construir con diversos materiales y técnicas de instalación: suelo profundo, columnas mixtas, Columnas inyecciones, columnas Vibro-hormigón, todo parte de la categoría de inclusión rígida.

2.4 Jet Grouting.

Las inyecciones son procedimientos que se aplican al subsuelo, mediante los cuales se introduce en los poros o fisuras del medio a tratar un producto líquido (mortero o lechada), que se solidifica adquiriendo una resistencia determinada a través del tiempo.

El objetivo principal de este tratamiento es el de impermeabilizar o fortificar los macizos porosos, rocas fisuradas o cimentaciones defectuosas, incrementando de este modo las propiedades mecánicas de los mismos.

El Jet Grouting viene a ser un tipo de mejoramiento del suelo por medio de inyección completamente distinta e innovador, ya que su aplicación y tipo de lechada, no depende de la permeabilidad del suelo ni tamaño de las partículas que componen el terreno.

El Jet Grouting utiliza la energía de la erosión en el terreno para permitir la introducción de la lechada de inyección, esto hace posible la aplicación de esta técnica en prácticamente cualquier tipo de terreno (desde las arcillas hasta las gravas). Este método se clasifica como una inyección a alta velocidad. El Jet Grouting, es un proceso que consiste en la desagregación del suelo (o roca poco

compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante (normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante.

En la inyección por Jet Grouting se pueden aplicar los siguientes sistemas:

• Sistema de fluido único: Cuando la desagregación y cementación del suelo se consigue con un chorro único de fluido a alta presión que, en general, es una lechada de cemento.

• Sistema de doble fluido (aire): Cuando la desagregación y cementación del suelo se realiza por un fluido, normalmente lechada de cemento, asistido por un chorro de aire a presión que actúa como segundo fluido.

• Sistema de doble fluido (agua): Cuando la desagregación del suelo se obtiene por un chorro de agua a alta presión, utilizando como segundo fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

• Sistema de triple fluido: Con este sistema la desagregación del suelo se consigue por un chorro de agua a alta presión, asistido por un chorro de aire a presión, utilizando como tercer fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

• Consolidaciones de terrenos para excavación de túneles, pozos, ejecución de taludes, etc.

• Recimentación de edificios y estructuras en general.

• Muros de contención.

• Pantallas impermeables.

2.5 Inyección por Fracturación Hidráulica

Consiste en la inyección del terreno mediante su fracturación por lechada, con una presión por encima de su resistencia a tracción y de su presión de confinamiento.

Esta técnica puede aplicarse a cualquier tipo de suelo y roca blanda (desde suelos granulares, gruesos a arcillas de alta plasticidad y desde rocas ígneas descompuestas hasta margas arcillosas).

2.4.1 Procedimiento

Se inyecta lechada en las fisuras naturales del suelo, o produce una serie de fracturas hidráulicas que se rellenan con mortero y rodean a los fragmentos (clastos); o simplemente se extienden como venas cementantes que al fraguar producen un conjunto suelo-fractura muy resistente.

Puede utilizarse la teoría de Estado Crítico, para estimar las mejoras que experimentan la cohesión aparente c’ del terreno y su resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje.

La inyección por fracturación hidráulica produce un efecto de sobreconsolidación sobre un punto del terreno. Este inicialmente tiene un índice de poros e1 y una presión efectiva.

2.5 Pedraplenes.

Este trabajo consiste en la preparación de la superficie de apoyo del pedraplen y la colocación y compactación de materiales pétreos adecuados, de las características indicadas, y de acuerdo con los planos y secciones transversales del proyecto y las instrucciones del laboratorio responsable.

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes pueden proceder de la excavación o de fuentes aprobadas y provendrán de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

Fig.2.4 Material utilizado en un pedraplen.

El laboratorio sólo autorizará la colocación de materiales de pedraplen cuando la superficie de apoyo esté adecuadamente preparada, es decir libre de materia vegetal, haber alcanzado el nivel de desplante y compactada debidamente.

El material de pedraplen se colocará en capas sensiblemente paralelas a la superficie de la explanación, de espesor uniforme y lo suficientemente reducido, para que, con los medios disponibles, los vacíos entre los fragmentos más grandes se llenen con las partículas más pequeñas del mismo material, de modo que se obtenga el nivel de densificación deseado y sin evidencias visibles de que se requiera de una mayor consolidación en el material.

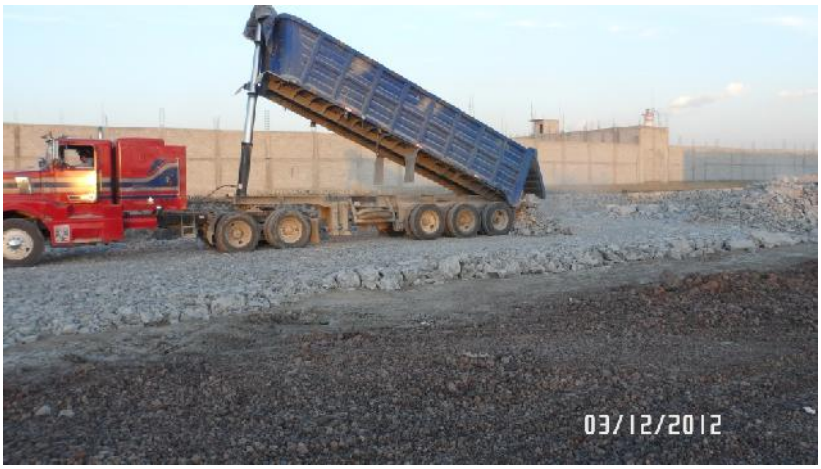

Fig. 2.5 vaciado segunda capa pedraplen

El espesor máximo de las capas de roca acomodadas debidamente será de 30 cm aproximados para lograr un buen acomodamiento.

El espesor de las capas deberá de crecer desde la parte inferior hasta la parte superior del pedraplen, con el fin de establecer un paso gradual entre la primera capa y la última.

Fig. 2.6 pedraplen en capas

CAPÍTULO 3 MÉTODO DE MEJORAMIENTO DE SUELO POR SUSTITUCIÓN DEMATERIAL.

3.1 Elección del Banco de Material.

En la estructuración de una vía terrestre u otro tipo de terraplén se utilizan materiales pétreos, térreos, asfálticos e industriales, los cuales se aprovechan cuando cumplen los requisitos marcados en las normas de calidad.

Para construir el cuerpo del terraplén de una obra se utilizan materiales provenientes de los cortes o prestamos, conforme el tipo de terreno en que se construya. Si estos se localizan dentro de una distancia máxima de 100 m desde el centro de línea, se denominan prestamos laterales y cuando la distancia es mayor se consideran prestamos de banco. Si el terreno es de lomerío, los terraplenes se construyen con materiales provenientes de los cortes.

Fig. 3.1 Banco de préstamo.

Para construir la capa subrasante se utilizan comúnmente materiales de banco con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán.

Las principales funciones de la capa subrasante son:

1.-Recibir, transmitir, distribuir y resistir de modo adecuado las cargas.

Los materiales para construir las capas de una plataforma o vía terrestre, provienen siempre de banco; de ellos, es posible utilizar aglomerados de arroyos y depósitos, conglomerados suaves o duros y rocas fisuradas o sanas pero que requieren, casi siempre, uno o más tratamientos.

Los materiales industriales como cemento portland, cal, acero y asfalto se adquieren en las empresas estatales o particulares que los producen y deben cumplir los requisitos necesarios para el uso que tendrán.

Las pruebas que se efectúan a los materiales de construcción se dividen en:

- Pruebas de clasificación.

- Pruebas de control.

- Pruebas de proyecto.

Las pruebas de clasificación permiten identificar los materiales y decidir si pueden utilizarse en algunas capas estructurales. Con las pruebas de control se verifica si la obra cumple los requisitos de proyecto. Por último, las pruebas de proyecto permiten realizar la estructuración racional de la sección transversal de una vía terrestre.

Las principales pruebas de clasificación que se aplican a los materiales pétreos y suelos son de granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad y adherencia.

Las pruebas más usuales que se efectúan a los productos asfalticos son de destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, asentamiento en cinco días, demulsibilidad de cemento portland, carga de la partícula y acidez. También se hacen pruebas al cemento portland, a la cal y al agua.

3.2 Equipos

Los equipos más utilizados en la construcción de terraplenes o pedraplenes son los que en su momento resulten más económicos y aptos para su elaboración, el avance en los trabajos dependerá de la pericia de los operadores para poderse adaptar al desarrollo de las actividades por realizar.

En la mayoría de los casos no siempre se cuenta con los equipos adecuados para el desarrollo de estas actividades, sin embargo los equipos con los que se cuentan han dado buenos resultados y se mencionan los más comunes.

3.2.1 Motoconformadora

Equipo que se utiliza para mover material. Generalmente su función consiste en nivelar, moldear o dar la pendiente necesaria al material en el que se trabaja para obtener una configuración predeterminada. Es de particular utilidad porque su hoja

puede mantenerse en diferentes posiciones, esta hoja también se le llama hoja conformadora o moldeadora.

Fig. 3.1 Motoconformadora mecánica

La hoja de la Motoconformadora puede mantenerse en posiciones semejantes a la del tractor de hoja frontal angular, del tractor de hoja frontal recta y del tractor de hoja frontal inclinada, tiene mayor flexibilidad de movimiento que las hojas de los tractores.

Esta máquina no puede aplicar la potencia de movimiento, ni de corte de un tractor de hoja frontal. Sin embargo, la Motoconformadora puede cortar el material superficial a muchos más ángulos y con ajuste mucho más fácil que el de un tractor. Los ángulos extremos representan un problema de aplicación de fuerza en las ruedas de la Motoconformadora, las posiciones de las ruedas de las Motoconformadora modernas son sumamente ajustables. También esta máquina es articulada para tener rotación horizontal de alineamiento entre las ruedas delanteras y traseras.

3.2.2 Vibrocompactadores.

Son máquinas de dos o tres rodillos, que se emplean en la compactación de tierras con espesores de 20 a 30 cm. Su peso varía de 5 a 15 t. y la velocidad de trabajo entre 2 y 10 km / hr.

La maquinaria vibrante puede ser apisonadoras autopropulsadas o rodillos vibrantes remolcados por tractor, pisones manuales, planchas o bandejas vibrantes, etc. Puede compactar adecuadamente gravillas, arenas y en general terrenos con poco o ningún aglomerante, en espesores de hasta 25 cm. No son aptos para terrenos arcillosos.

Los compactadores de neumáticos pueden ser autopropulsados o remolcados con suspensión independiente en cada rueda, lo que asegura una buena compactación. Todos los neumáticos deben llevar la misma presión y su velocidad oscila entre 10 y 24 km/h.

Fig. 3.2 vibro compactador rodillo liso.

Los rodillos pata de cabra son máquinas remolcadas por tractores pequeños o de mediana potencia, que pueden ser normales o vibrantes y que se utilizan para la compactación de terrenos con excepción de arenas, gravas y fragmentos de roca. Disponen de depósitos para lastre que pueden estar vacíos o llenos de agua o arena, lo que permite aumentar la presión que transmiten al terreno.

OBJETIVOS	EFECTO	CONTROL
AUMENTO DE LA RESISTENCIA.	- CAPACIDAD PORTANTE. - ESTABILIDAD DEL TERRAPLÉN.	- DE PENETRACIÓN O ÍNDICE CBR. - TRIAXIALES. - CORTE. - COMPRESIÓN SIMPLE
DISMINUCIÓN DEL PRODUCTO DE VACÍOS.	IMPERMEABILIDAD	PERMEABILIDAD
RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN.	LIMITACIÓN DE ASIENTOS Y CAMBIOS DE VOLUMEN	MODULO DE DEFORMACIÓN.

Tabla 3.1 Objetivos de la compactación.

3.2.3 Retroexcavadora

La tecnología de la retroexcavadora comenzó en 1835 con la invención de la “draga de pala” que podía excavar el suelo y la roca dura, y después cargarlo en carros.

Era una máquina propulsada a vapor y montada en carriles para su movilidad.

Fig. 3.3 Retroexcavadora sobre ruedas 416-D

La retroexcavadora es una máquina que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos, para abrir trincheras destinadas a tuberías, cables, drenajes, etc. Es una variante de la pala excavadora.

El chasis puede estar montado sobre cadenas o bien sobre neumáticos. En este último caso están provistas de gatos hidráulicos para fijar la máquina al suelo.

Se utiliza habitualmente en:

- Obras para el movimiento de tierras, al nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a este.

- Es una de las máquinas más versátiles en las áreas de construcción y de las obras viales, en lo que se refiere a movimientos de tierra y traslado de materiales.

Diseñada para cumplir con las más altas exigencias en cuanto a seguridad por sobre todo de la vida útil de la máquina.

3.3 Procedimiento.

El procedimiento para el método de mejoramiento de suelo por sustitución inicia con el conocimiento de la mecánica de suelos la cual nos dará los pasos a seguir y definir el proceso constructivo que se ejecutara.

1.- Trazo de las zonas de mejoramiento ya que en el caso de viviendas, solo se mejora el área de plataformas, patios traseros y estacionamiento.

2.- El despalme consiste en el retiro de la capa vegetal aproximadamente de 20 cm, para el caso de suelos blandos el material se retirara hasta el nivel de corte designado por el laboratorio ya que resulta muy poco práctico retirar todo el material cuando el estrato de suelo blando rebasa los 2.80m, debiendo revisar otras técnicas de mejoramiento.

3.- Una vez realizado el despalme y cortado el suelo hasta el nivel de inicio del mejoramiento, se compensara el terreno hasta obtener una superficie uniforme, compactando el terreno sobre el cual se iniciara el pedraplen o terraplén

4.- El vaciado y tendido de roca triturada graduada se inicia al término de la compactación del terreno natural, los materiales para el mejoramiento son designados por el laboratorio según las características del terreno.

En el caso de suelos blandos se recomienda el uso de roca triturada lo más graduada posible formando un pedraplen, se recomiendan capas de 30 cm que vayan decreciendo en tamaño hasta llegar a la última capa.

5.-El acomodamiento del pedraplen se realizara con un rodillo liso evitando la vibración excesiva sobre las capas por que se corre el riesgo de triturar la roca.

6.- Una vez alcanzado el nivel del pedraplen se procede con el vaciado de una arena o un material basáltico de menor tamaño para cerrar las oquedades que pudieran resultar, para así iniciar con el vaciado y tendido del terraplén hasta llegar al nivel de proyecto.

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN

4.1 Plataformas villas Santa María

El conjunto denominado Villas Santa María está ubicado en la calle Lázaro Cárdenas s/n municipio de Coronango, Puebla.

Este desarrollo comprende la construcción de 184 viviendas de interés social, las cuales se realizaran en tres etapas:

Villas Santa María 3

Villas Santa María 2

Villas Santa María 1

Los tres conjuntos contaran con un boulevard que servirá de acceso a cada conjunto. Esta obra se construyó en un terreno donde su uso era de cultivo que se encontraba en la zona más baja de esa ubicación.

La exploración del predio se realizó mediante seis sondeos a cielo abierto, excavados por medios mecánicos a una profundidad máxima de 2.3 m de los cuales cuatro se utilizaron para toma de muestras y dos solamente se abrieron para exploración visual y confirmación de los estratos encontrados.

Se tomaron muestras representativas del tipo alterado e inalterado de cada uno de los estratos encontrados, para la determinación de sus contenidos de agua en sitio, así como para poder determinar las propiedades índice y mecánicas del suelo.

4.1.1 Datos Generales.

Este proyecto se inició el 11 de junio del 2011, con el despalme y cortes de Villas Santa María 3.En este conjunto se despalmo 25 cm y se realizaron excavaciones de 80 cm. La cimentación de estos conjuntos es a base de losas de cimentación por lo que fue necesario el retiro de la capa vegetal y 80cm para encontrar el suelo firme y poder iniciar los terraplenes con material de mejor calidad, únicamente en las zonas que comprenderían las plataformas, aunque sólo se excavaron 80 cm los terraplenes alcanzaron alturas hasta de 1.8 m por la topografía del mismo terreno. En vialidades solo se retiró la capa vegetal y se conformó un terraplén de 60 cm de espesor.

En Villas Santa María 2 debido a la variación en la estratigrafía del terreno se realizó un despalme de 30 cm y excavaciones de 1.80 m de profundidad en el área de plataformas, después de una revisión en los costos se determinó que todo el material se sustituiría por material de banco, en esta zona solo se terrapleno, después del nivel de corte 80 cm, durante este proceso las afectaciones por lluvia fueron constantes por lo que hubo que utilizar roca para poder estabilizar las áreas.

En la zona de vialidades solo se retiró la capa vegetal y se conformó un terraplén de 60 cm de espesor.

En Vilas Santa María 3 resulto ser la zona que mayor problema presento por la variación tan fuerte en la estratigrafía del terreno, lo cual requirió de una revisión más detallada para haber llegado a una mejor solución, ya que en esta zona las excavaciones y la sustitución del material serian de 3 m de profundidad por lo que el proceso cambio.

4.1.2 Ensayes de Campo.

Identificación visual y manual en campo.

Determinación del nivel freático.

Obtención de muestras alteradas, representativas de cada estrato.

Obtención de muestra cúbica inalterada.

4.1.3 Pruebas Realizadas en el Laboratorio.

Contenido natural de agua.

Limite líquido

Limite plástico

Granulometría por mallas con lavado.

Densidad de sólidos.

Peso volumétrico seco suelto.

Compresión triaxial UU.

4.1.4 Estratigrafía del Sitio.

Pozo a cielo abierto.

Sondeo no 1.

Superficialmente se encontró una capa de material vegetal de 0.30 m de espesor que se tendrá que retirar, debajo se encuentra una capa de 1.70 m de espesor de un limo de baja plasticidad (ML),de color obscuro de consistencia blanda a media, con un

contenido de agua del 32%, una cohesión de 0.30 kg/cm^2 y un ángulo de fricción interna de 22°; subyace hasta la profundidad máxima explorada de 2.80 m, una arcilla de baja plasticidad (CL) de consistencia firme, de color café.

Sondeo no 2.

Después de la capa vegetal de 0.25 m de espesor, se encuentra una capa de 1.10 m de espesor, de un limo de baja plasticidad de color obscuro, con un contenido de agua de 30%, un límite liquido de 41% y un índice plástico de 9.4% subyace hasta la profundidad máxima explorada de 2.50 m, una arcilla de baja plasticidad(CL) de consistencia firme de color café, con un contenido de agua de 22.4 %, un límite liquido de 37.6% y un índice plástico de 13.3

Sondeo no 3 y 4.

Después de la capa vegetal de 0.30 m de espesor, se encuentra una capa de 0.50 m de espesor, de un limo de baja plasticidad (ML) de color oscuro, con un contenido de agua de 29%, un límite liquido de 42.5 % y un índice plástico de 14.1%, subyace hasta la profundidad máxima explorada de 2.20 m, una arcilla de baja plasticidad (CL) de consistencia firme de color beige, con un contenido de agua de 27.8%, un límite liquido de 38.7% y un índice plástico de 17.7%, una cohesión de 0.80 kg/cm^2 y un ángulo de fricción de 28%.

Sondeo no 5.

Este sondeo se realizó como exploración; encontrando que el espesor de la capa de limo de baja plasticidad (ML) de color obscuro se profundiza hasta los 3 m, subyace

hasta la profundidad máxima explorada de 3.30 m, una arcilla de baja plasticidad (CL) de consistencia firme, de color café.

Sondeo no 6.

Este sondeo se realizó como exploración; encontrando que el espesor de la capa de limo de baja plasticidad (ML) de color obscuro se encuentra a una profundidad de 1.70 m; subyace hasta la profundidad máxima explorada de 2.80 m. una arcilla de baja plasticidad (CL) de consistencia firme, de color café.

Procedimiento.

Si bien el desarrollo de la obra en general tuvo sus particularidades, uno en especial presento un grado de dificultad por las condiciones del terreno y sobre todo los cambios tan fuertes que presento la estratigrafía, por lo que fue necesario una revisión en la solución con respecto a las anteriores, corte en caja desde 80 cm hasta los 1.5 m., compactación del terreno natural, acarreo, tendido y compactado del tepetate hasta alcanzar el nivel de desplante de las losas de concreto.

El desarrollo que nos ocupa es Santa María 1, por los factores que intervenían en su ejecución, como lo eran tiempo y economía que se reflejaría en todos los aspectos.

La nueva solución que se le dio a esta área fue reducir el nivel de corte, que siguiendo el proceso anterior, tendríamos que cortar hasta 3 m. Ahora solo cortaríamos 1.2 m. incluyendo el retiro de la capa vegetal .Para lograr la estabilidad de suelo sería necesario colocar dos capas de fragmentos de roca de 30 cm. con un

tamaño máximo de 15¨cada una, procurando que la primera capa fuese de mayor tamaño y la segunda menor.

Fig.4.1 Pedraplen tendido y acomodado

El balasto se tendió con una retroexcavadora y se fue hincando con un rodillo de 84¨, mismo que al ir vibrando la capa de balasto, este se trituraba al ir acomodando el pedraplen.

Se observó que la primera capa presentaba rebote elástico aun al paso de los camiones que suministraban el material, para la segunda capase pudo ir comprobando si había rebote o no , haciendo pasar camiones con peso mayor a las 40 ton sobre el pedraplen , corroborando que ya no se presentaba.

Iniciando el acarreo del tepetate para el terraplén con calidad de subrasante. Antes de vaciar el tepetate se tendió una capa aproximadamente de 5cm con tezontle rojo para cerrar los huecos que se generaron entre las rocas.

Aunque la altura de corte en Villas Santa María 1 fue de 1.20 m. el terraplén fue de 1.5 m para alcanzar los niveles de proyecto, el terraplén se realizó con material de banco en capas de 30 cm. compactadas al 95 %.

En la imagen se observa la altura del terraplén, la vialidad de este conjunto solo se utilizó una capa de balasto para estabilizar y por las cargas que soportaría.

Fig.4.2 Altura de terraplén

En general los trabajos que se realizaron resultaron satisfactorios ,en la actualidad a casi dos años de haberlos concluidos no hay reportes de falla en alguna de las casas, los materiales utilizados fueron los óptimos y los procesos se ejecutaron en su mayoría sin contratiempo, cabe resaltar que en un inicio la recomendación del laboratorio era la de estabilizar con tezontle rojo con un tamaño no mayor a 6¨,material que se suministró con un tamaño de 1” por no encontrar ninguno con esa especificación en banco, se tendió y acomodo ,se observó que no cumplió por lo que se tuvieron que retirar 300 m^3 de material, se optó por balasto lo mejor graduado

posible, el procedimiento para este trabajo tuvo buenos resultados , observando que al momento de ir hincando el balasto solo alcanzaba a penetrar una parte, y el resto con el frecuente vibrado se trituraba, por lo que se disminuyó el tiempo de vibrado sobre el pedraplen ya formado.

Con respecto al vaciado del material se cometieron errores al momento de ir pedraplenando el área porque los camiones tardaban demasiado para poder vaciar, aunque la retroexcavadora dio un buen rendimiento los tiempos de tendido y acomodamiento pudieron reducirse con una máquina de mayor tamaño.

Con el empleo del pedraplen es probable que el corte se hubiese reducido por que los terraplenes eran altos a final de cuentas.

4.2 Calle Lázaro Cárdenas

La calle Lázaro Cárdenas está ubicada en el municipio de Coronango Puebla, la construcción de esta vialidad se inició el 14-diciembre-2012, se tomó como una segunda alternativa ya que la primera vialidad que uniría a Villas Santa María con casas Geo fue cerrada, esta nueva vialidad uniría el conjunto con el periférico de una manera directa, beneficiando a las empresas aledañas.

Su sección se realizó de 8 m. de ancho por una longitud de 400 m, la estructuración comprendería una capa subrasante de 30 cm, 20 cm de base hidráulica y en la parte superior losas de concreto hidráulico de 15 cm de espesor.

4.2.1 Estratigrafía.

Superficialmente el lugar está constituido por rellenos de 40 cm en promedio general, se definen dos unidades estratigráficas más representativas en el lugar los cuales a continuación se describen.

Se encontró una intercalación de arena arcillosa (SC) y arcilla arenosa (CL) de color gris, de compacidad y consistencia suelta y blanda respectivamente con contenidos de agua elevados por lo que es necesario retirar este material en la zona de vialidad.

El siguiente estrato corresponde a una mezcla de arcilla arenosa (CL) de color café claro a café, de consistencia firme, sus contenidos de agua varían de un 23% a un 38%, el contenido de partículas finas menores que la malla N° 200 es de un 57% a un 55%, este material se detecta hasta la máxima profundidad explorada de 3.0 metros.

4.2.2 Procedimiento.

Se inició con el trazo y nivelación de la vialidad tomando como referencias un camino de terracería que servía de acceso al servicio público y camiones de carga ya que no se les permitía el paso por el acceso principal, el ancho no era mayor de 5m por lo que se tuvo que recurrir a los dueños de los terrenos para poderlo ampliar,a 8 m.

Fig.4.3 Despalme y corte de calle

Después del trazo se inició con el despalme y caja de 80 cm , encontrando que en el cadenamiento 0+300 se generaron deformaciones grandes por lo que se procedió a sacar el material existente en su mayoría relleno, basura y agua, se realizó la excavación a una profundidad de 2 m sin encontrar suelo firme, por lo que se determinó utilizar la técnica de sustitución pedraplenando toda esa área con espesores hasta de un metro de roca realizando el hincado y acomodo con vibro compactador de más de 10 t., logrando estabilizar el tramo. Se tendieron espesores de tepetate de 20 hasta 50 cm, o hasta dar el nivel de subrasante, la capa de base fue constante en toda la longitud de la vialidad, tanto el terraplén como la base se tendieron con dos Motoconformadoras.

Fig.4.4 pedraplen mayor a un metro

Fig.4.5 Tendido de base hidráulica.

Se concluye que a lo largo del proceso se presentaron problemas ya que para el desarrollo de esta vialidad no se realizaron estudios en particular solo se tomó como referencia la última adecuación del conjunto Villas Santa María 1 lo que género que en su momento se fueran dando soluciones según el tramo.

Cabe señalar que a dos años de su término la vialidad no presenta ningún problema, a pesar de que por ahí circula tránsito pesado para alimentar a una concretera.

CONCLUSIONES.

1.- La tesina recabó información sobre los suelos y las técnicas de mejoramiento de suelos por sustitución incluyendo otras técnicas, equipos y materiales, así como la ventaja de un método en particular aunque este no sea probablemente el mejor.

2.-El mejoramiento de suelos por sustitución es un procedimiento confiable, si existe un control adecuado durante su ejecución ya que se corre el riesgo de no utilizar los materiales adecuados.

3.-El uso del pedraplen como material sustituto es más eficiente en suelos arenosos , arcillosos saturados , donde el nivel freático este superficial , los cortes sean mayores a 2 m. etc.

4.- De la misma manera el método tiene sus limitantes cuando los sitios por mejorar son antiguos basureros o los cortes sean menores a 80 cm. e inmediatamente exista suelo firme.

Muestra grandes ventajas con respecto a otros métodos ya que en su momento el pedraplen retiene el agua manteniéndola entre sus oquedades, funciona como capa rompedora en caso de arcillas expansivas, disminuye los volúmenes de corte, terraplén y acarreos.

Los equipos para ejecutar este procedimiento son accesibles y económicos aunque no sean los adecuados, considerando que en su momento se requiere para su ejecución equipo de mayor peso y tamaño y por consecuencia de mayor costo.

La comprobación del uso del método de mejoramiento por sustitución empleando pedraplen puede realizarse inmediatamente en campo ya que es posible someter a ese suelo sustituido a grandes pesos observando si hay o no deformaciones.

Es importante para un ingeniero conocer los diferentes tipos de suelos y sus características, así como la correcta interpretación de los estudios de mecánica de suelos y todo lo que ello comprende.

BIBLIOGRAFÍA

1.- Juárez Badillo. Rico Rodríguez. 1995 “Mecánica de Suelos tomo 1”editorial Limusa,

2.-Olivera Bustamante Fernando “Estructuración de vías terrestres”. Segunda edición.

3.- Rico Rodríguez ¨Mecánica de suelos¨

Artículos

1.- Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C “Inclusiones Rígidas”.

2.- Arriaga Vázquez Darío Tesis Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería “técnicas de compactación dinámicas´.