

## Portada Externa de Tesis

Yuliana Banda  
Pacheco

Comportamiento de rípios de pozos en Base  
y sub-base de carreteras.

2015



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**Comportamiento de rípios de pozos petroleros en  
Base y sub-base de carreteras.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Ingeniero Civil**

**Presenta**

Yuliana Banda Pacheco



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil

**Comportamiento de rípios de pozos petroleros en**

**Base y Sub-base de carreteras.**

Opción de titulación  
**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
**Ingeniero Civil**

**Presenta:**  
Yuliana Banda Pacheco

Dirigido por:  
M. en C. Jesús Salvador Hernández Frías

M. en C. Jesús Salvador Hernández Frías  
Presidente

\_\_\_\_\_

Firma

Dr. Miguel Galván Ruiz  
Secretario

\_\_\_\_\_

Firma

M. en C Israel Ruiz González  
Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez  
Suplente

\_\_\_\_\_

Firma

M. en C. José Arturo Aguado Manríquez  
Suplente

\_\_\_\_\_

Firma

\_\_\_\_\_  
Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad

\_\_\_\_\_  
Dr. Omar Chávez Alegría  
Coordinador de la licenciatura

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Agosto, 2015.

## RESUMEN

A medida que aumenta el crecimiento de la población, así también las necesidades crecen y por lo tanto los recursos naturales con los que contamos deben ser explotados con gran rapidez. Estos procesos de explotación producen un incremento alarmante de los volúmenes de desecho, los cuáles amenazan potencialmente a la salud de la sociedad. En los últimos años los gobiernos a nivel mundial han comenzado a preocuparse por los aspectos ambientales, buscando la forma de minimizar los impactos sobre el medio ambiente.

La presente investigación es una respuesta a la necesidad que se tiene hoy en día de buscar alternativas y usos para los materiales de desecho y/o productos de perforaciones, permitiéndonos minimizar el impacto ambiental que ocasiona el extracto de los hidrocarburos; aunado a esta problemática y a la falta de investigación sobre usos de ripios de perforación en el país se desarrolla este proyecto de tesis.

La experimentación está realizada bajo las normas SCT, EPA, SEMARNAT y busca la viabilidad del uso de material de desecho de pozo petrolero (ripio) en la construcción de base y sub-base en carreteras.

Se concluye que se puede usar el ripio de pozos petroleros pero en un máximo del 30% porque si se aumenta la proporción aumenta la plasticidad y hay una disminución del CBR.

**(Palabras clave:** ripio, pozo petrolero, base, sub-base, medio ambiente)

## **SUMMARY**

With the increasing in population growth rate, social needs grow and therefore, consumption of natural resources increase rapidly. These exploitation processes produce an alarming level in the volumes of waste, which potentially threaten the health of society. In recent years, Governments around the world began to worry about the environmental aspects, looking for the way to minimize impacts on the environment.

This research is based on the need that nowadays, researchers have to seek disposal alternatives and uses for waste materials and/or products of perforations, This allows us to minimize the environmental impact caused by the extract of hydrocarbons; It is also observed a lack of research on applications of drilling cuttings in the country.

Experimentation is carried out under the SCT, EPA and SEMARNAT standards in order to stablish the feasibility of the use of waste material from oil well (ripios) in the construction of base and sub-base on roads.

We conclude that you can use the gravel of oil wells but by a maximum of 30% because if the ratio is increased plasticity increases and there is a decrease in CBR

(Key words: gravel, oil well, base, sub-base, environment)

*“Para todos lo que estuvieron conmigo a lo largo de esta travesía, los que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando lo necesite. Agradezco por todos estos años vividos. La experiencia adquirida, la sabiduría que me ha dado, la dicha de ser inmensamente feliz. Agradezco el amor de los míos, tener a mis padres, a mi familia, a mis amigos, por su apoyo para alcanzar mis metas. Gracias.”*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis padres**

Antes que a todos son las personas a quien más admiro, a las cuales tengo todo mi respeto, amor, admiración y agradecimiento... Ya que gracias a su apoyo y trabajo logro cerrar este ciclo profesional en mi vida. Esta tesis es parte de ustedes, por darme esta oportunidad en la vida, por hacerme crecer día a día; sin duda no hubiera sido posible sin ustedes a mi lado. Gracias.

### **A mis hermanos**

Por apoyarme siempre y en cada momento, por compartir mis triunfos y fracasos. Siempre los tengo en mi pensamiento y cada paso que doy están conmigo. Por ser mis mejores amigos, los que siempre me han escuchado; por su honestidad, amor y comprensión. Gracias

### **A mis maestros**

Por forjarme profesionalmente, por enseñarme cada una de las cosas que hoy estoy dispuesto a poner en práctica. A lo largo de la carrera estuvieron ahí orientándome para sacar lo mejor de mí, por su paciencia y comprensión. Gracias

### **A mis amigos (*Erika, Mireydi, Génesis y Jorge*)**

Por haber estado desde el inicio de esta etapa a mi lado, compartiendo cada momento y enseñarme que la vida es para alcanzar las metas; por impulsarme para empezar un ciclo profesional y estar a mi lado para compartirlo con ustedes. Porque cada una de nuestras historias a lo largo de esta gran amistad han sido relevantes para que el día de hoy pueda estar donde estoy. Gracias

## 1. Contenido

<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....</b>	<b>17</b>
<b>4. REVISIÓN LITERARIA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 PROCESO DE PERFORACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2 FASES DE LA PERFORACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 PRINCIPALES RESIDUOS GENERADOS EN POZOS PETROLEROS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4 RIPIOS DE PERFORACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>4.5 SISTEMA DE CONTROL DE SÓLIDOS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.6 DESORCIÓN QUÍMICA CHD .....</b>	<b>22</b>
<b>4.7 LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO PROBLEMA AMBIENTAL.....</b>	<b>24</b>
<b>4.8 ESTRUCTURA DE CARRETERAS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.9 DEFINICIÓN Y USOS DEL TEPETATE .....</b>	<b>27</b>
<b>4.10 TERRAPLÉN .....</b>	<b>29</b>
<b>4.11 DEFINICIÓN DE SUBRASANTE.....</b>	<b>30</b>
<b>4.12 SUB-BASE .....</b>	<b>31</b>
<b>4.13 BASE HIDRÁULICA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.14 BASE Y SUB-BASE MEJORADA .....</b>	<b>33</b>

LA CONTAMINACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA Y SUELOS POR LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS ES BASTANTE PREOCUPANTE DEBIDO A LA FALTA DE INTERÉS DE MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO EN LAS COMPAÑÍAS O CONCESIONARIOS O QUIZÁ TAMBIÉN PORQUE NO ESTÁ ORIENTADA LA CONCIENCIA AMBIENTALISTA A NIVEL DEL PERSONAL QUE OPERA LOS CAMPOS Y POZOS. .... 24

SON LAS CAPAS DE ESPESOR ESTABLECIDO, DISEÑADO SOBRE LA SUB-BASE O SUBRASANTE MEJORADA PARA SOSTENER LA SUPERFICIE O CARPETA DE RODADURA. Y SUB-BASE: SON LAS CAPAS DE MATERIAL ESPECIFICADO O SELECCIONADO, DE ESPESOR ESTABLECIDO, COLOCADO SOBRE LA SUBRASANTE PARA SOSTENER LA BASE Y SUB-RASANTE MEJORADA: ES UNA CAPA QUE TIENE MAYOR CAPACIDAD PORTANTE QUE EL SUELO DE FUNDACIÓN. ESTA

SE COLOCA CON LA FINALIDAD DE REDUCIR LOS ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO (CARRETERAS Y AEROPUESTOS II).....	33
• PARA SUB-BASE: EL MATERIAL USADO PARA SUB-BASE SE UTILIZARA EN ESTADO NATURAL O SE OBTENDRÁ MEDIANTE EL PROCESO DE CRIBADO, DE FORMA TAL QUE SE GARANTICE EL LOGRO DE UNA GRANULOMETRÍA COMPRENDIDA DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS. ....	33
• PARA BASE: EL MATERIAL SE USARA EN ESTADO NATURAL, SE OBTENDRÁ MEDIANTE EL CRIBADO Y MEZCLADO DEL MATERIAL O MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA PLANTA TRITURADORA EQUIPADA CON CRIBAS VIBRATORIAS CAPACES DE SEPARAR EL MATERIAL DE MINA O CANTERA EN VARIOS TAMAÑOS. ....	33
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO.....	37
5.1.1 <i>Procedimientos previos.</i> ....	37
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
6.1 GRANULOMETRÍA MANUAL M•MMP•4•01•003 .....	38
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE SUB-BASE .....	39
6.2.1 <i>Análisis de material de sub-base más 10% de desecho.</i> .....	40
6.2.2 <i>Análisis de material de sub-base más 20 % de material de ripio.</i> .....	41
6.2.3 <i>Análisis de material de sub-base más 30 % de material de ripio.</i> .....	42
6.3 ANÁLISIS DE MATERIAL DE BASE .....	43
6.3.1 <i>Análisis de material de base más 10% de ripio.</i> .....	44
6.3.2 <i>Análisis de material de base más 20% de ripio.</i> .....	44
6.3.3 <i>Análisis de material de base más 30% de ripio.</i> .....	45
<b>7. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>9. APÉNDICE.....</b>	<b>49</b>
9.1 <i>INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LOCALIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE BANCOS DE MATERIALES PÉTREOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN QUERÉTARO, SCT.</i> .....	49
9.2 <i>N-CTR-CAR-1-04-002/11</i> .....	49
9.3 <i>MANUAL M•MMP-4-01-003</i> .....	49
9.4 <i>MANUAL M•MMP-1-07/07</i> .....	49
9.5 <i>N-CMT-4-02-001/04</i> .....	49

9.6	<i>EPA 6010 B/1996</i> .....	49
9.7	<i>EPA 7470 A/1994</i> .....	50
9.8	<i>NOM-052-SEMARNAT-2005</i> .....	50
9.9	<i>NOM-053-SEMARNAT-1993</i> .....	50

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Banco de material de desecho producto de excavaciones en pozos petroleros (ripio), ubicado en Tabasco.....	13
Ilustración 2. Plataforma petrolera Yunuén, ubicada en Paraíso, Tabasco.....	14
Ilustración 3. Recortes de Perforación antes y después de la desorción química. ....	15
Ilustración 4. Piscina de Almacenamiento de Ripios y desechos producidos por la extracción de petróleo en los literales mexicanos. ....	16
Ilustración 5. Trabajadores ajustando broca y tubería en plataforma petrolera. ....	18
Ilustración 6. Lodo de perforación base bentonita utilizado para revestir las paredes del pozo y evitar derrumbes. ....	19
Ilustración 7. Roca molida por taladro en pozo petrolero, llamados recortes de perforación o ripios.....	21
Ilustración 8. Esquema del equipo desorbador utilizado para limpiar los suelos contaminados. ....	23
Ilustración 9. Suelo contaminado por ripios de pozo petrolero. ....	25
Ilustración 10. Secciones transversales típicas de carreteras (PROYECTO PARA EL CAMINO).....	26
Ilustración 11. Secciones típicas de la estructura de un camino. ....	27
Ilustración 12. Banco de tepetate ubicado en la Ciudad de Querétaro. ....	27
Ilustración 13. Terracería conformada a base de tepetate, tendida con moto conformadora. ....	29
Ilustración 14. Sección Transversal típica de carreteras. (Caballero, 2010) .....	30

Ilustración 15. Tendido de base hidráulica en camino, mediante moto conformadora. ....	32
Ilustración 16. Base hidráulica mejorada con cemento gris, con la finalidad de aumentar su capacidad de carga. ....	33
Ilustración 17. Marco de Carga para la prueba "California Bearing Ratio" (C.B.R.). .....	40
Ilustración 18. Molde para realizar la prueba de C.B.R. ....	41
Ilustración 19. Máquina de Casagrande utilizada para la determinación del límite líquido. ....	42
Ilustración 20. Determinación del límite plástico por medio de tiras de suelo. ....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales contaminantes generados en actividades de perforación de pozos petroleros.....	20
Tabla 2. Formato utilizado para registrar las características de los materiales.....	35
Tabla 3. Normas y pruebas utilizadas para la caracterización de los materiales. ...	37
Tabla 4. Características del material de sub-base.....	40
Tabla 5. Características del material de sub-base más 10% de material de desecho. ....	40
Tabla 6. Características del material de sub-base más 20% de material de desecho. ....	41
Tabla 7. Características del material de sub-base más 30% de material de desecho. ....	42
Tabla 8. Características del material de base utilizado como matriz en las siguientes proporciones. ....	43
Tabla 9. Características del material de base más 10% de material de desecho. .	44
Tabla 10. Características del material de base más 20% de material de desecho. ....	44
Tabla 11. Características del material de base más 30% de material de desecho. ....	45

## 2. INTRODUCCIÓN

El petróleo es uno de los recursos de mayor importancia en nuestro país, cerca del 88% de la energía primaria proviene de dicho hidrocarburo, por lo que su producción y búsqueda, por medio de pozos petroleros, se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas ya sea a consecuencia del crecimiento de la población o de la poca investigación de energías alternativas.

En el proceso de perforación de pozos petroleros se generan los ripios o recortes de perforación; de acuerdo a la NOM-115-SEMARNAT-2003, son fragmentos de roca cortados por el taladro o barrena, los cuales son transportados a la superficie por el fluido de perforación y que son recuperados a través de equipos de control de sólidos. La formación de estos ripios conllevan un gran número de riesgos ambientales, debido a la complejidad de su estructura; estos presentan una gran dificultad para degradarse de manera natural por lo que son considerados como contaminantes. Otro problema es la falta de alternativas para la disposición de ripios que ha causado que el almacenamiento sea en volúmenes excesivos.



**Ilustración 1. Banco de material de desecho producto de excavaciones en pozos petroleros (ripio), ubicado en Tabasco.**

Si los ripios no son tratados de manera adecuada representan una importante fuente de contaminación al aire, agua y suelo. En ésta investigación se plantea el uso de ripios, obtenidos de pozos petroleros de la región del Golfo de México, cerca de los litorales de Tabasco, como material para sub-base y base.



**Ilustración 2. Plataforma petrolera Yunuén, ubicada en Paraíso, Tabasco.**

La propuesta experimental y parte fundamental de ésta tesis es que a una matriz de material de sub-base o base se le adicionará la mayor cantidad posible de ripios para bajar el costo en la construcción de carreteras, además, ésta mezcla minimizará el impacto que tienen éstos materiales y cumplirá con las características mecánicas establecidas en las Normas. Para ello los ripios fueron tratados con anterioridad por método de desorción química ChD, ya que de acuerdo a NRF-261-PEMEX-2010 no se permiten almacenamientos temporales de ripios o lodos en sitios diferentes a los centros de valorización, inyección, tratamiento o disposición final.

## 2.1 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación es una respuesta a la necesidad que se tiene hoy en día de buscar alternativas y usos para los materiales de desecho y/o productos de perforaciones; es necesario minimizar el impacto ambiental que ocasiona el extracto de los hidrocarburos.



**Ilustración 3. Recortes de Perforación antes y después de la desorción química.**

Tanto la Alcalinidad excesiva, la salinidad y la ausencia de estructura física representan las principales limitaciones asociadas a los Ripios de Perforación de la Industria petrolera; por esta razón es necesario considerar que estos parámetros deben asegurar niveles de bajo riesgo ambiental.

## 2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que aumenta el crecimiento de la población, también lo hacen las necesidades y por lo tanto los recursos naturales con los que contamos deben ser explotados con gran rapidez. Estos procesos de explotación producen un incremento alarmante de los volúmenes de desecho, los cuáles amenazan potencialmente a la salud de la sociedad. En los últimos años los gobiernos a nivel mundial han comenzado a preocuparse por los aspectos ambientales, buscando la forma de minimizar los impactos sobre el ambiente y las comunidades.



**Ilustración 4. Piscina de Almacenamiento de Ripios y desechos producidos por la extracción de petróleo en los literales mexicanos.**

En México son varias las empresas que ejecutan actividades relacionadas con la explotación del petróleo, dentro de las cuales se encuentra la perforación. Esta genera una serie de desechos como los lodos y ripios de perforación que si no reciben el manejo, tratamiento y disposición adecuados pueden alterar de manera negativa el medio ambiente y a corto, mediano o largo plazo pueden ocasionar problemas tanto legales como económicos hacia las empresas. Por tal razón, se pretende estudiar ripios de perforación tratados con anterioridad, buscando una aplicabilidad de los mismos en terraplenes; ya sea para carreteras o plataformas.

### **3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

Se pueden realizar bases y sub-bases con un porcentaje de material de perforación adicionada al tepetate, la mezcla obtenida seguirá cumpliendo las normas mexicanas; esta mezcla tiene bajo impacto ambiental y se disminuirá el costo.

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Buscar un uso a los desechos producidos en la etapa de perforación (ripios), como una forma de reducir el impacto al medio ambiente y disminuir el costo de bases y sub base en la construcción.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Caracterizar el tepetate de la región, el cual se utilizará como matriz en la experimentación.
2. Desarrollo de una formulación óptima de una matriz de tepetate adicionada con ripio de perforación de pozo petrolero.
3. Realizar pruebas bajo las normas correspondientes a la mezcla obtenida.
4. Obtener, estudiar y caracterizar física y mecánicamente la mezcla obtenida para que pueda ser utilizada en terraplenes, siendo adecuada y sustentable.

## 4. REVISIÓN LITERARIA

### 4.1 Proceso de Perforación

La única manera de saber realmente si hay petróleo en el sitio donde la investigación geológica propone que se podría localizar un depósito de hidrocarburos, es mediante la perforación de un hueco o pozo (CICEANA, 2008). La perforación se realiza por etapas, de tal manera que el tamaño del pozo en la parte superior es ancho y en las partes inferiores cada vez más angosto. Esto le da consistencia y evita derrumbes, para lo cual se van utilizando brocas y tubería de menor tamaño en cada sección.



Ilustración 5. Trabajadores ajustando broca y tubería en plataforma petrolera.

### 4.2 Fases de la perforación.

Durante la perforación es fundamental la circulación permanente de un "lodo de perforación", el cual da consistencia a las paredes del pozo, enfría la broca y saca a la superficie el material triturado (ANCON). Ese lodo se inyecta por

entre la tubería y la broca y asciende por el espacio anular que hay entre la tubería y las paredes del hueco.

El material que se saca sirve para tomar muestras y saber qué capa rocosa se está atravesando y si hay indicios de hidrocarburos (CICEANA, 2008). Durante la perforación también se toman registros eléctricos que ayudan a conocer los tipos de formación y las características físicas de las rocas, tales como densidad, porosidad, contenidos de agua, de petróleo y de gas natural.



**Ilustración 6. Lodo de perforación base bentonita utilizado para revestir las paredes del pozo y evitar derrumbes.**

#### **4.3 Principales residuos generados en pozos petroleros.**

PEMEX, a través de empresas perforadoras, produce desechos líquidos constituidos por lodos de perforación y desechos sólidos formados por los ripios; ambos creados por la fuerza axial y rotatoria del taladro.

En el proceso de perforación se necesita de componentes fluidos en una fase líquida (agua dulce, aceite, salmuera, agua salada) y en una fase sólida (polímeros, aditivos menores, sales, sólidos perforados, etc.) que al combinarse sufran un proceso de deshidratación; esto da como resultado aguas residuales,

ripios y lodos de perforación. Como son generados en grandes volúmenes, constituyen una importante fuente de contaminación.

Principales contaminantes generados en actividades de perforación de pozos petroleros (INE, 1992).	
Residuo	Parámetro contaminante
Lodos de perforación	Aceite en forma libre Diesel en forma libre Cadmio, cromo, mercurio y plomo Contaminantes orgánicos tóxicos Toxicidad
Recortes de perforación	Aceite en forma libre Diesel en forma libre Cadmio, cromo, mercurio y plomo Contaminantes orgánicos tóxicos Toxicidad

**Tabla 1. Principales contaminantes generados en actividades de perforación de pozos petroleros.**

#### 4.4 Ripios de Perforación

Los ripios de perforación: también llamados recortes de perforación son rocas molidas por la broca del taladro, las cuales son traídas a la superficie por los fluidos. Estas se componen de areniscas, arcillas, lutitas, carbonatos y

haluros. En la perforación los ripios se mezclan con los fluidos de perforación que se estén usando y los que sueltan los equipos de separación mecánica, más el exceso de lodo de perforación. En algunos casos, se han encontrado incluso mezclados con sustancias radioactivas.



**Ilustración 7. Roca molida por taladro en pozo petrolero, llamados recortes de perforación o ripios.**

Estudios realizados establecen que la composición química de los ripios normalmente contienen cantidades considerables de una variada gama de contaminantes tóxicos, como aluminio, cadmio, arsénico, plomo, antimonio, bario, cadmio, cromo, cobre, magnesio, mercurio, níquel, zinc, benceno, fenatrena y otros hidrocarburos, así como niveles tóxicos de sodio y cloruros.

Son pedaceras formadas por la acción del rompimiento del taladro y son transportados hasta la superficie por el fluido. Los ripios por lo general son: arcillas, lutitas, areniscas, carbonatos y haluros.

#### **4.5 Sistema de control de sólidos**

Cuando los ripios se encuentran en la superficie pasan por un sistema de control que consiste en una malla vibratoria un desarenador y un desarcillador.

Sus objetivos son:

- Maximizar la extracción de sólidos perforados
- Minimizar las pérdidas de lodo
- Minimizar la pérdida de sólidos comerciales (barita)
- Devolver lodo limpio al pozo

Una vez en la superficie los rípios son almacenados por periodos en piscinas de cortes o catch-tank para más tarde seguir con el debido tratamiento ya sea en donde se encuentran almacenados o en centros de recepción de los sólidos y evitar que salgan de su territorio y se haga uso inadecuado.

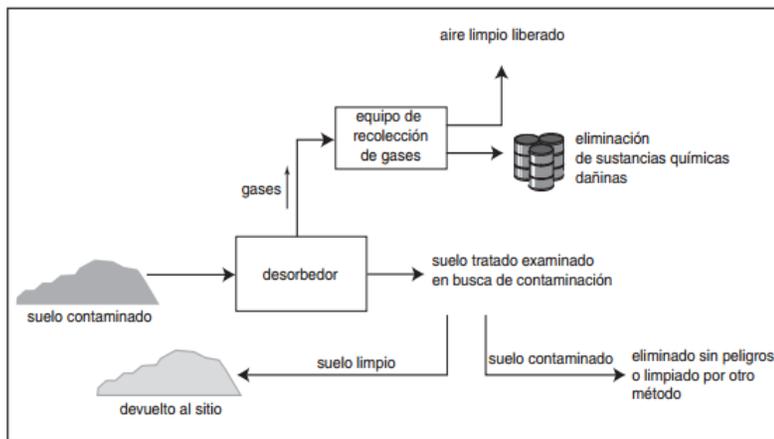
#### **4.6 Desorción Química ChD**

La desorción térmica elimina las sustancias químicas dañinas del suelo y otros materiales, como lodo y sedimentos, utilizando calor para transformar dichas sustancias químicas en gases (EPA, 2001). Esos gases se recolectan empleando un equipo especial. El polvo y las sustancias químicas dañinas se separan de los gases y se eliminan con seguridad y el suelo limpio se regresa al sitio.

Esta tecnología tiene muchas aplicaciones para separar aceites de una matriz sólida, particularmente cuando esta matriz está compuesta, parcial o totalmente, por arcillas tales como son los fluidos de perforación y recortes o rípios de perforación, lodos de fondos de tanques así como Las fosas API; las cuales son separadores de aguas residuales de la industria petrolera, utilizadas para la separación de agua e hidrocarburos.

La desorción térmica emplea un equipo denominado desorbedor para limpiar los suelos contaminados. Los suelos se extraen mediante excavación y se ponen en el desorbedor. Ese equipo funciona como un horno grande. Cuando los suelos se calientan lo suficiente, las sustancias químicas dañinas se evaporan. Para preparar los suelos para el desorbedor, los trabajadores deberán tratarlos,

secarlos, mezclarlos con arena o extraerles los detritos. De ese modo el desorbedor puede limpiar los suelos de manera más pareja y fácil.



**Ilustración 8. Esquema del equipo desorbedor utilizado para limpiar los suelos contaminados.**

La desorción química se basa en generar calor internamente por medio de reacciones químicas exotérmicas obteniendo dos efectos importantes:

- a. Rompimiento inmediato de la emulsión a fin de incrementar la eficiencia termodinámica durante todo el proceso de transferencia de energía a fin de lograr más tarde la transferencia de masas.
- b. Destilación por arrastre de vapor, este fenómeno físico permite iniciar la destilación de la emulsión de agua en aceite desde los 85°C hasta los 160°C con ahorros importantes de energía.

#### **4.7 Los ripsos de perforación como problema ambiental**

La contaminación de los cuerpos de agua y suelos por la producción de hidrocarburos es bastante preocupante debido a la falta de interés de mejoramiento tecnológico en las compañías o concesionarios o quizá también porque no está orientada la conciencia ambientalista a nivel del personal que opera los campos y pozos.

Uno de los principales problemas ambientales de la actividad petrolera es la contaminación generada por lodos y ripsos de perforación. Estos productos suelen depositarse en piscinas de recolección excavadas en la tierra las cuales son recubiertas con material impermeable. (Bravo, 2007). Un sistema de tratamiento inadecuado puede ocasionar que estos desechos sean eliminados directamente al medio ambiente o bien se viertan al mismo por rotura de la piscina o rebalsamiento debido a las lluvias. Los lodos de perforación contienen sustancias químicas que pueden ser tóxicas y sumamente alcalinas, así como también pueden hallarse mezclados con petróleo y sales provenientes del pozo. De ser mal manejados, estos desechos pueden contaminar notablemente ríos, riachuelos, lagunas y acuíferos, además de la formación que se está perforando.

En corto tiempo, la contaminación masiva del segmento de un río puede tener un grave impacto en las especies migratorias. La alteración química del agua de un pequeño curso puede volverla inadecuada para la fauna que depende de ella, poniendo en riesgo de extinción a especies adaptadas a nichos ecológicos reducidos.



**Ilustración 9. Suelo contaminado por rípios de pozo petrolero.**

Uno de los riesgos más importantes de la contaminación química es que el agua contaminada puede infiltrarse en las aguas subterráneas. Este factor representa un perjuicio potencial muy importante, especialmente para las poblaciones humanas que en muchos casos se abastecen de estos recursos.

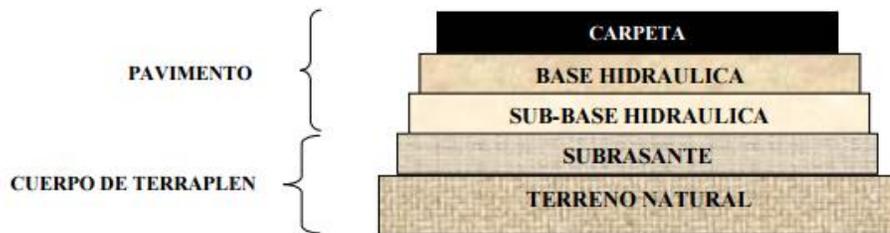
Los rípios de perforación se comprenden principalmente de rocas, arenas, arcillas, minerales y aditivos. Cada pozo que se perfora produce una media de 4.000 metros cúbicos de desechos procedentes del interior de la tierra ( Méndez Villegas, Gómez Rivera, Ledesma Herrera, & Ceniceros González, 2013). El mayor inconveniente en este caso no se produce por el volumen de sólidos que se generan, sino por la toxicidad de estos, ya que estuvieron en continuo contacto con el fluido de perforación, por lo que es muy común tener cortes impregnados de aceites u otro contaminante.

Al estar en contacto con el suelo, ocasiona pérdida parcial o total de nutrientes, afectando de forma directa la vegetación y los organismos que en él residen.

**Comentario [IRG1]:** Méndez Villegas et al.

#### 4.8 Estructura de carreteras

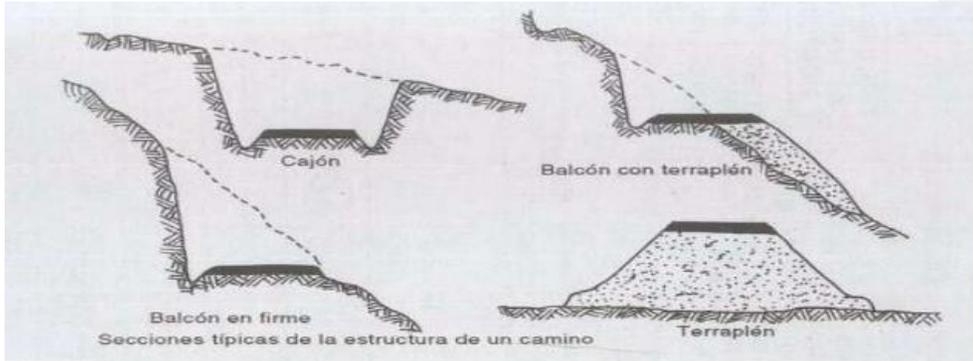
Un pavimento es la capa o conjunto de capas construida de materiales apropiados de calidad aceptable intermedias desde las terracerías hasta la capa de rodamiento con la función de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a las cargas impuestas por el tránsito, al intemperismo al que estará sometida toda su vida útil y transmitir de manera gradual y adecuada los esfuerzos producto del tránsito vehicular hacia las capas inferiores.



**Ilustración 10. Secciones transversales típicas de carreteras (PROYECTO PARA EL CAMINO)**

La estructura de pavimento está construida por una capa o varias capas de materiales naturales o sometidos a un tratamiento mecánico para mejorar su resistencia, su superficie de rodamiento puede ser una carpeta asfáltica o una losa de concreto hidráulico o la acumulación de materiales pétreos compactados.

La carretera es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.



**Ilustración 11. Secciones típicas de la estructura de un camino.**

#### **4.9 Definición y usos del tepetate**

El tepetate es un material terroso, con un alto porcentaje de arenas y finos, el cual es muy utilizado en la industria de la construcción debido a que se considera como un material inerte, lo que evita alteraciones volumétricas (Hurtado, 2011).



**Ilustración 12. Banco de tepetate ubicado en la Ciudad de Querétaro.**

Dado su origen los tepetates presentan propiedades variables. Son de gran importancia en la Ingeniería Civil como material de construcción, son utilizados como material de sustitución para el mejoramiento de suelos, pero también son de gran importancia en la construcción de sub-bases.

Uno de los usos más comunes que tiene es en las vías terrestres, como terraplén o plataforma para pavimentos y cimentaciones para diferentes edificaciones ya que éste es utilizado para sustituir a suelos problemáticos.

También es muy utilizado en la construcción de vivienda donde suele ser utilizado como base para pisos, también es utilizado en la confección de bloques para la construcción de muros, donde puede ser denominado en ocasiones como sillar.

Dada su escasa capacidad agrícola no es apto para la siembra a menos que se le mejore mediante la adición y mezcla de suelos con aptitud agrícola, algunos de los procedimientos para su adecuación agrícola son mencionados en el subcapítulo siguiente.

Dado que el tepetate es muy utilizado en la construcción de subbases para pavimentos, debe cumplir con ciertos requisitos de calidad (características granulométricas, índice de plasticidad, valor soporte de California, etc.). Los requisitos están definidos en ciertos rangos que variarán en función de la intensidad de tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados de 8.2 t esperados durante la vida útil del pavimento (SCT, 2004).



**Ilustración 13. Terracería conformada a base de tepetate, tendida con moto conformadora.**

#### **4.10 Terraplén**

Los terraplenes son elementos ejecutados con material adecuado producto de cortes o de préstamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto. Se incluyen en este concepto las cuñas contiguas a los estribos de puentes, ampliación de corona, tendido de taludes y elevación de subrasante en terraplenes existentes.

En el proceso de construcción de los terraplenes será necesario hacer tendidos de material de banco (Hernández Damián & Martínez soto, 2000).

Los materiales extraídos de los bancos de préstamos son acarreados con camiones, para depositarlos a lo largo de la franja de construcción a cada 10 m. Para después ser dispersados, tendidos y compactados al porcentaje requerido por el proyecto (Hernández *et al.*, 2000).

Los terraplenes se usan en la construcción de carreteras cuando se requiere elevar la rasante del camino a una altura sobre el nivel de la superficie del terreno existente, con objeto de mantener las normas de diseño o de prevenir

daños a la carretera ocasionados por la acción del agua superficial o subterránea. Los terraplenes se construyen tanto de materiales compactados como de relleno hidráulico, siendo la gran mayoría del primer tipo mencionado (Hernández *et al.*, 2000 y Bonilla, 2010).

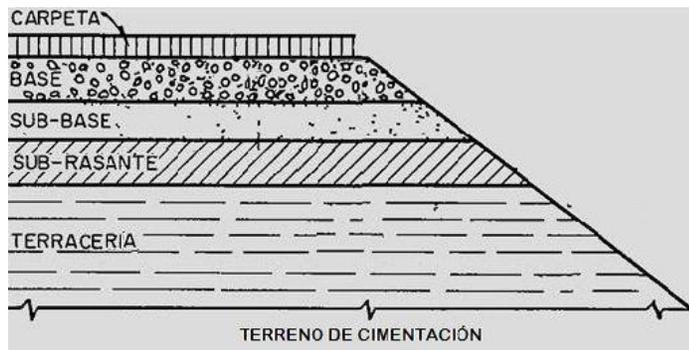


Ilustración 14. Sección Transversal típica de carreteras. (Caballero, 2010)

#### 4.11 Definición de subrasante

En la estructura de la carretera, la subrasante es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y está formada por un material de mejor calidad que el de esta última. Este material será obtenido de un banco que proporcione un CBR adecuado para dicha capa, es decir, que tenga la capacidad necesaria para resistir la carga a la cual será sometida.

Las principales funciones de la subrasante son:

- a. Reducir el costo total del pavimento, al contribuir en la disminución del espesor de la base que se construye, que es un elemento más caro que debe cumplir con especificaciones más rígidas que la subrasante.
- b. Proteger a la base aislándola de la terracería, a fin de evitar introducción de material fino y plástico, que pudiera provocarle cambios volumétricos

perjudiciales al variar las condiciones de humedad, y por lo consiguiente reducir su resistencia estructural.

#### **4.12 Sub-base**

Las bases y sub-bases son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la subrasante (Infraestructura). Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura de un pavimento (superestructura), está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.

La sub-base es una capa de materiales pétreos seleccionados se construye sobre la subrasante, las funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica o a una losa de concreto hidráulico, soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y además prevenir la migración de finos hacia las capas superiores. (SCT, 2011).

Tiene como objeto:

- 1-Servir de capa de drenaje al pavimento.
- 2-Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- 3-Ayudar a prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento. En este caso se debe especificar material de libre drenaje y colectores para evacuar el agua.

#### **4.13 Base Hidráulica**

Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub-base o subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, la capa de rodadura asfáltica o la carpeta de concreto hidráulico; soportar las cargas que estas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y proporcionar a la estructura de la carretera la rigidez necesaria para evitar las deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda filtrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea (Mantenimiento de la Superficie de Rodamiento).



**Ilustración 15. Tendido de base hidráulica en camino, mediante moto conformadora.**

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante. El material pétreo que se emplee en la base, deberá llenar los siguientes requisitos:

- 1-Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- 2-No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.

#### 4.14 Base y Sub-base mejorada

Son las capas de espesor establecido, diseñado sobre la sub-base o subrasante mejorada para sostener la superficie o carpeta de rodadura. y Sub-base: son las capas de material especificado o seleccionado, de espesor establecido, colocado sobre la subrasante para sostener la base y sub-rasante mejorada: es una capa que tiene mayor capacidad portante que el suelo de fundación. Esta se coloca con la finalidad de reducir los espesores de las capas del pavimento (CARRETERAS Y AEROPUESTOS II).



**Ilustración 16. Base hidráulica mejorada con cemento gris, con la finalidad de aumentar su capacidad de carga.**

- Para Sub-base: el material usado para sub-base se utilizara en estado natural o se obtendrá mediante el proceso de cribado, de forma tal que se garantice el logro de una granulometría comprendida dentro de los límites especificados.
- Para Base: el material se usara en estado natural, se obtendrá mediante el cribado y mezclado del material o mediante la utilización de una planta trituradora

equipada con cribas vibratorias capaces de separar el material de mina o cantera en varios tamaños.

## 5. METODOLOGÍA

Para llevar un control en la experimentación se optó por dividir la investigación en 3 etapas, las cuales tienen un objetivo definido.

1. Adquisición de Materiales: se llevará a cabo una selección de materiales comunes de la región con la finalidad de utilizarlo como matriz de dicha experimentación, el ripio será obtenido de una planta tratadora ubicada en Tabasco; cada material será analizado para obtener sus propiedades.

LUGAR: FACULTAD DE INGENIERIA, LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS. Esta investigación fue realizada en la ciudad de Querétaro, México; ubicada con las coordenadas geográficas de latitud  $20^{\circ}35'15''N$ , longitud  $100^{\circ}23'34''$  y con una altitud sobre nivel de mar de 1820 m. Para el presente proyecto se extrajo muestras de dos distintos bancos de material existentes en la periferia de la zona metropolitana de la ciudad. El banco cuarenta y uno (41) LA GRIEGA I, ubicado en el kilómetro 15+000 en la carretera Paraíso–Chichimequillas el cual cuenta con trituración total y cribado de basalto (TTC), y el banco número once (11) CONIN, ubicado en el kilómetro 202+000 de la carretera Querétaro–México el cual cuenta con TTC. Los dos bancos de materiales fueron elegidos para esta investigación por su localización y por su volumen, ya que son los dos más grandes de la zona metropolitana; de acuerdo al inventario de bancos de materiales de la S.C.T. donde se muestra la información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para la construcción y mantenimiento de carreteras en la ciudad de Querétaro. **(SCT, 2013)**

2. Formulaciones: Se realizaron formulaciones a diferentes porcentajes de ripio buscando agregar la mayor cantidad de este material sin comprometer las propiedades requeridas por normas SCT.

Ya que el propósito es utilizar la máxima cantidad de material producto de excavación de pozo petrolero (ripio) se optó por tener una matriz de material a la cual se ira añadiendo ripio hasta alcanzar el punto óptimo; el cual será el máximo de agregado que cumpla con las características de la normatividad SCT vigente.

	Blanco		Ripio			Valor de Referencia	Norma
	(BT)	(BC)	10%	20%	30%		
<b>Tamaño Máximo del Agregado</b>							
<b>Limite Liquido</b>							
<b>Índice Plástico</b>							
<b>Contracción Lineal</b>							
<b>Valor Relativo de Soporte</b>							

Tabla 2. Formato utilizado para registrar las características de los materiales.

3. Normatividad: Las pruebas a realizar garantizan que el material obtenido tendrá las características necesarias para ser utilizado como sub base y/o base en carreteras.

La caracterización del material consistió en la evaluación de diferentes propiedades mecánicas de las mezclas; realizadas mediante la normativa de la Secretaria de Caminos, Transportes (SCT), United States Environmental Protection Agency (EPA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

NORMA	PRUEBA
<b>Libro: CTR. Construcción</b> <b>Tema: CAR. Carreteras</b> <b>Parte: 1. Conceptos de Obra</b> <b>Título: 04 Pavimentos</b> <b>Capítulo: Subbases y Bases</b>	<b>N-CTR-CAR-1-04-002/11</b>
<b>Libro: Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales</b> <b>Parte: 1. Suelos y Materiales para Terracerías</b> <b>Título: 06 Granulometría de Materiales compactables para Terracerías.</b>	<b>Manual M-MMP-4-01-003</b> <b>Granulometría</b>
<b>Libro: Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales</b> <b>Parte: 1. Suelos y Materiales para Terracerías</b> <b>Título: 07 Límites de Consistencia</b>	<b>Manual M-MMP-1-07/07</b> <b>Límites de Consistencia</b>
<b>N-CMT-4-02-001/04</b> <b>Libro: CMT</b> <b>Parte: 4 Materiales para Pavimentos</b> <b>Título: 02 Materiales para Sub bases y Bases</b> <b>001 Materiales para Sub bases</b>	<b>Características de los materiales para pavimentos; sub-bases.</b>
<b>United States Environmental Protection Agency (EPA)</b> <b>EPA 6010 B/1996</b>	<b>Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry</b>
<b>United States Environmental Protection Agency (EPA)</b> <b>EPA 7470 A/1994</b>	<b>Mercury in liquid waste (manual cold-vapor technique)</b>
<b>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales</b>	<b>Lixivado SV, P, H</b>

<b>NOM-052-SEMARNAT-2005</b>	
<b>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales</b> <b>NOM-053-SEMARNAT-1993</b>	<b>Lixivado CG-MS SV</b>

Tabla 3. Normas y pruebas utilizadas para la caracterización de los materiales.

## 5.1 Descripción de pruebas de laboratorio.

Las normas utilizadas para la caracterización de los materiales se pueden encontrar en la parte del apéndice, dichas normas establecen la descripción de cada una de las pruebas así como los aparatos utilizados.

### 5.1.1 Procedimientos previos.

#### 5.1.1.1 Secado

El secado se realizó con el objeto de facilitar la disgregación y manejo de las muestras, cuando su contenido de agua es tal que no se puede disgregar fácilmente el material o la misma humedad de este impide la realización de las pruebas. Se utilizó un horno a una temperatura de 60°C.

#### 5.1.1.2 Disgregado

Se realizó con el objeto de separar las diferentes partículas aglomeradas La disgregación de la muestra se efectuó sin romper las partículas duras. Se disgregó utilizando un mazo de madera de forma prismática rectangular con masa aproximada de 1kg, aplicando golpes verticalmente desde una altura aproximada de 20 cm.

Una vez que se tenga el material preparado realice la granulometría para clasificarlo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de acuerdo a la norma M-MMP-1-02/03. Métodos de muestreo y prueba de materiales.

Dado que más del 12% del material pasó la malla #200 (28.23 %) se determinaron los límites de consistencia de acuerdo a la norma M-MMP-1-07/07 Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Límites de Consistencia.

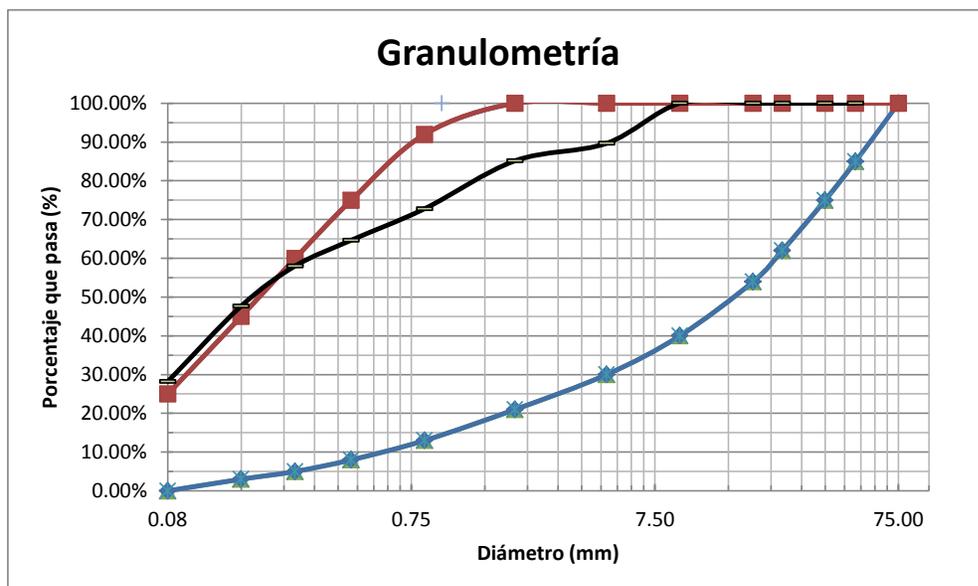
Posteriormente se hizo la dosificación del ripio en 10%, 20% y 30% en la matriz y se analizaron las propiedades mecánicas: para base y sub-base (CBR, T.M.A y límites de consistencia).

Las normas utilizadas en esta experimentación y señaladas en la tabla 4, están adjuntas en la parte de apéndice de esta misma tesis.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1 Granulometría Manual M•MMP•4•01•003**

Primeramente se realizó el análisis granulométrico de los materiales, este tiene por objeto determinar las cantidades en que están presentes partículas de ciertos tamaños en el material. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, depende de este análisis. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.



Gráfica 1. Granulometría del ripio extraído en los litorales de Tabasco.

El material de sub-base se analizó de manera aislada y después mezclándolo con 10, 20 y 30% de material de desecho de pozo petrolero con respecto al peso total de la mezcla.

## 6.2 Características del material de sub-base

La siguiente tabla muestra la caracterización del material de sub-base, el cual será utilizado como matriz en las siguientes tablas.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	38mm	-	<b>N-CMT-4-02-001/04</b>	NP: material no plástico
Limite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	NP	10%		
Contracción Lineal	0%	-		
C.R.B.	67.1	50 min		

**Tabla 4. Características del material de sub-base.**

Después de analizar los resultados se puede observar que es un buen material para ser utilizado como sub-base de acuerdo a las normas señaladas.

**Comentario [IRG2]:** Mencionar comparación que lleva a este juicio



**Ilustración 17. Marco de Carga para la prueba "California Bearing Ratio" (C.B.R.).**

### 6.2.1 Análisis de material de sub-base más 10% de desecho.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos del material de sub-base utilizado como matriz, agregando un 10% de material de desecho.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	19mm	-	<b>N-CMT-4-02-001/04</b>	*Se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL No presenta problemas por lixiviación.
Limite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	4.7%*	10%		
Contracción Lineal	2.2%	-		
V.R.S	145%	50min		

**Tabla 5. Características del material de sub-base más 10% de material de desecho.**



**Ilustración 18. Molde para realizar la prueba de C.B.R.**

Se aprecia que al incorporar el material de desecho en un porcentaje relativamente bajo, si bien incrementa ligeramente la plasticidad del material dentro de los límites que establece la norma, mejora sustancialmente el CBR, que es el parámetro básico para el diseño de la estructura de la carpeta asfáltica.

### **6.2.2 Análisis de material de sub-base más 20 % de material de ripio.**

En la tabla 6 se presentan las características del material de sub-base mezclado con 20% de material de ripio.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	19mm	-	N-CMT-4-02-001/04	Se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL
Limite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	5.5%	10%		
Contracción Lineal	2.6%	-		
V.R.S	149%	50 min		

**Tabla 6. Características del material de sub-base más 20% de material de desecho.**

Se observa que al incorporar el material de desecho en un porcentaje de 20%, si bien incrementa ligeramente la plasticidad del material dentro de los límites que establece la norma, también mejora el CBR. Sin embargo no existen diferencias importantes con el caso anterior, es decir, el CBR no incrementa de forma importante.



Ilustración 19. Máquina de Casagrande utilizada para la determinación del límite líquido.

### 6.2.3 Análisis de material de sub-base más 30 % de material de ripio.

En la tabla 7 se presentan las características del material de sub-base mezclado con 30% de material de ripio.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	25mm	-	N-CMT-4-02-001/04	Se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL
Límite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	6.9%	10%		
Contracción Lineal	3.0 %	-		
V.R.S	116%	50 min		

Tabla 7. Características del material de sub-base más 30% de material de desecho.

De acuerdo a los resultados de la tabla, a incorporar el material de desecho en porcentajes mayores (30%), la plasticidad del material sigue incrementando, y en este caso el CBR se redujo respecto a la mezcla echa con 20% de ripio, aunque sigue satisfaciendo los parámetros establecidos por la norma.

Podemos observar que el material de desecho mejora sustancialmente el desempeño del material de sub-base, sin embargo, se aprecia que, al incrementar el porcentaje de material de desecho en la mezcla no se incrementa de manera considerable su desempeño. Es suficiente con agregar de un 10% a un 20% de desecho para mejorar en forma importante el desempeño.

### 6.3 Análisis de material de base

La siguiente tabla (tabla 8) la caracterización del material de base, el cual será utilizado como matriz en las siguientes tablas.

En la tabla 8 se presentan las características del material de base analizado.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	25mm	-	<b>N-CMT-4-02-002/04</b>	Se observa una calidad media del material de acuerdo a los valores de referencia
Limite Liquido	NP	30%		
Índice Plástico	NP %	6%		
Contracción Lineal	0 %	-		
V.R.S	71%	80%		

**Tabla 8. Características del material de base utilizado como matriz en las siguientes proporciones.**

### 6.3.1 Análisis de material de base más 10% de ripio

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	25mm	-	<b>N-CMT-4-02-002/04</b>	*se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL En general no se presentan problemas por lixiviación.
Limite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	4.5*	10%		
Contracción Lineal	2.6%	-		
V.R.S	141%	50min		

**Tabla 9. Características del material de base más 10% de material de desecho.**

La tabla muestra que el material de base mezclado con el 10% de material de desecho, incrementa ligeramente la plasticidad de la muestra, sin embargo, esta dentro de los parámetros de la norma. También se observa al igual que el material de sub-base que el CBR, se incrementa considerablemente.

### 6.3.2 Análisis de material de base más 20% de ripio.

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos de la mezcla a 20% de desecho.

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	10mm	-	<b>N-CMT-4-02-002/04</b>	*se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL
Limite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	5.5*	10%		
Contracción Lineal	2.6%	-		
V.R.S	155%	50min		

**Tabla 10. Características del material de base más 20% de material de desecho.**

Se puede observar en la tabla que el valor de CBR sigue incrementando notoriamente mientras que la contracción lineal queda estable.



Ilustración 20. Determinación del límite plástico por medio de tiras de suelo.

### 6.3.3 Análisis de material de base más 30% de ripio

Parámetro	Valor	Valor de Referencia	Norma	Observaciones
T.M.A	10mm	-	<b>N-CMT-4-02-002/04</b>	*se obtuvo a partir de la contracción lineal: IP=2.13CL
Límite Líquido	NP	30%		
Índice Plástico	6.6*	10%		
Contracción Lineal	3.1%	-		
V.R.S	137%	50min		

Tabla 11. Características del material de base más 30% de material de desecho.

Se puede observar el mismo comportamiento que con el material de sub-base, donde el VRS disminuye respecto a la muestra con un 20% de ripio; teniendo un desempeño aceptable según las normas.

Se observa que el material de desecho mejora sustancialmente el desempeño del material de base, sin embargo se aprecia que, al incrementar el porcentaje de material de desecho en la mezcla no se incrementa de manera considerable el desempeño de la misma. Es suficiente con agregar de un 10% a un 20% de material de desecho para tener una mejora considerable, sin embargo las mezclas a 30% siguen cubriendo los rangos de las normas.

## **7. CONCLUSIÓN**

De acuerdo a los resultados obtenidos, al incorporar el material ripio en un porcentaje mayor, sigue aumentando la plasticidad de la mezcla y se observa una disminución del CBR con respecto a la mezcla 20%. Aunque sigue satisfaciendo la norma la tendencia del CBR es notorio por lo que se decide mantener como máximo de agregado un 30%.

De acuerdo a las pruebas EPA y SEMARNAT se concluye que el material de desecho de pozo petrolero (ripio) no representa problema alguno para el medio ambiente y se puede mezclar con el material de base o sub-base en la construcción de la estructura de terracería de pavimentos. En este caso se recomienda que la mezcla sea con un máximo de 30% de material de desecho de acuerdo a los resultados obtenidos.

Se afirma la hipótesis de dicha investigación. Se recomienda el uso de rípios de pozos petroleros pero en un máximo de un 30% para cumplir con la normativa.

## 8. REFERENCIAS

- Méndez Villegas, R., Gómez Rivera, P., Ledesma Herrera, J. I., & Cenicerós González, C. d. (2013). MANEJO INTEGRAL DE LOS RECORTES DE PERFORACIÓN.
- Almonte, L. (2010). *Supercarreteras y Aeropuertos*. L. Materiales.
- ANCON. (s.f.). *EL PETRÓLEO*. Recuperado el 29 de Enero de 2015, de <http://www.proyectoancon.espol.edu.ec/petroleo.htm>
- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad.
- Caballero, S. C. (2010). Programa para diseño estructural de pavimentos asfálticos: DISPAV-5 versión 3.0.
- CARRETERAS Y AEROPUESTOS II*. (s.f.). Obtenido de <http://www.pucmmsti.edu.do/websise/estudiante/materias/201220131/ST-IC%20-535-T-001/SUPERESTRUCTURA%20FORMATO%20PDF.pdf>
- CICEANA. (2008). *Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C.* Recuperado el 2015, de Saber más...Petróleo: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Petroleo.pdf>
- EPA, E. P. (2001). *EPA 542-F-01-003S*. Office of Solid Waste and Emergency Responce.
- Hernández Damián, S. A., & Martínez soto, A. (2000). *Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efecto por la explotación de bancos de materiales y construcción de Cortes y terraplenes*. Querétaro.
- Hurtado, D. R. (2011). *El tepetate es un material terroso, con un alto porcentaje de arenas y finos, el cual es muy utilizado en la industria de la construcción* . Querétaro.

INE, I. N. (1992). *Programa Ambiental México*.

*Mantenimiento de la Superficie de Rodamiento*. (s.f.). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10761/Capitulo2.pdf>

*PROYECTO PARA EL CAMINO*. (s.f.). Obtenido de CAPITULO III: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/de\\_u\\_jm/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_u_jm/capitulo3.pdf)

Puig, J. (1970). *Secciones transversales típicas de carreteras*.

SCT. (2013). *Información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para la construcción y mantenimiento de carreteras*. Querétaro.

SEMARNAT. (s.f.). NOM-115-SEMARNAT-2003. *NORMA OFICIAL MEXICANA*.

## **9. APÉNDICE**

**9.1 Información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para la construcción y mantenimiento de carreteras en Querétaro, SCT.**

### **9.2 N-CTR-CAR-1-04-002/11**

Libro: CTR. Construcción  
Tema: CAR. Carreteras  
Parte: 1. Conceptos de Obra  
Título: 04 Pavimentos  
Capítulo: Subbases y Bases

### **9.3 Manual M-MMP-4-01-003**

Granulometría  
Libro: Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales  
Parte: 1. Suelos y Materiales para Terracerías  
Título: 06 Granulometría de Materiales compactables para Terracerías.

### **9.4 Manual M-MMP-1-07/07**

Límites de Consistencia  
Libro: Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales  
Parte: 1. Suelos y Materiales para Terracerías  
Título: 07 Límites de Consistencia

### **9.5 N-CMT-4-02-001/04**

Características de los materiales para pavimentos; sub-bases.  
Libro: CMT  
Parte: 4 Materiales para Pavimentos  
Título: 02 Materiales para Sub bases y Bases  
001 Materiales para Sub bases

### **9.6 EPA 6010 B/1996**

Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry  
United States Environmental Protection Agency (EPA)

**9.7 EPA 7470 A/1994**

Mercury in liquid waste (manual cold-vapor technique)  
United States Environmental Protection Agency (EPA)

**9.8 NOM-052-SEMARNAT-2005**

Lixivado SV, P, H  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**9.9 NOM-053-SEMARNAT-1993**

Lixivado CG-MS SV  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales