

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.

APROVECHAMIENTO DE SUELOS CON
HIDROCARBUROS INTEMPERIZADOS EN LA
INTEGRACION DE CARPETAS ASFALTICAS
UTILIZANDO TECNICAS DE RECICLADO
DE ASFALTOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES

POR:

ING. ALFREDO TOMAS COMPEAN MARTINEZ

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.**

**APROVECHAMIENTO DE SUELOS CON
HIDROCARBUROS INTEMPERIZADOS EN LA
INTEGRACION DE CARPETAS ASFALTICAS
UTILIZANDO TECNICAS DE RECICLADO
DE ASFALTOS**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES**

POR:

ING. ALFREDO TOMAS COMPEAN MARTINEZ

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**Aprovechamiento de suelos con hidrocarburos intemperizados en la integración de carpetas
asfálticas utilizando técnicas de reciclado de asfaltos.**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES**

**POR:
ING. ALFREDO TOMAS COMPEAN MARTINEZ**

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

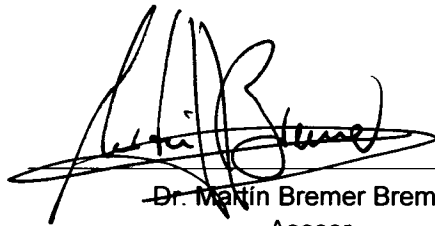
CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**


Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. **Alfredo Tomás Compeán Martínez** sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas Ambientales
Especialidad en Ingeniería Ambiental**

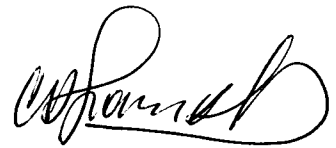
Comité de Tesis



Dr. Martín Bremer Bremer.
Asesor



Dr. Porfirio Caballero Mata.
Sinodal



Dr. Carlos Humberto Fonseca.
Sinodal

APROBADO



Dr. Federico Viramontes Brown.
Director del Programa de Graduados en
Ingeniería
Mayo, 2005

Agradecimientos

Al Dr. Martín Bremer por su tiempo, consejos, y paciencia en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Porfirio Caballero y Dr. Fonseca por que gracias a sus comentarios y observaciones enriquecieron el contenido de este trabajo.

A mi Padre, que donde quiera que estés, eres y seguirás siendo un ejemplo a seguir en el transcurso de mi vida.

A mi Mama, por entenderme, motivarme, regañarme y darme su apoyo incondicional en todos mis proyectos a pesar de todos mis errores.

A mi tía Nena y a mi tío Raúl, son piezas fundamentales en mi vida y no estaría donde estoy de no ser por su apoyo no tengo como agradecerles.

A mis hermanos Mireya, Daniel, Lissi, Gustavo, Edgar y Raúl, por ayudarme con los experimentos y motivarme cuando ha sido necesario y sobre todo por aguantarme cuando me enojo.

Y a mis compadres, amigos y amigas por escucharme, apoyarme y hacerme entender que hay tiempo para todo y sobre todo por estar ahí cuando es necesario.

Índice

<u>Capítulo I</u>		1
1.1	Introducción	1
1.2	Contaminación de Suelos.	3
1.3	Reciclado de Asfaltos.	10
1.4	Uso de suelo con hidrocarburos en asfaltos.	12
<u>Capítulo II</u>		14
2.1	Propósito de la Investigación.	14
2.2	Objetivos Generales.	15
2.3	Objetivos Específicos.	15
<u>Capítulo III</u>		
3.1	El suelo.	16
3.2	Tipos de Contaminación de Suelos con hidrocarburos.	17
	3.2.1 Fase Líquida.	17
	3.2.2 Fase Disuelta	19
	3.2.3 Fase Gaseosa.	19
3.3	Hidrocarburos Intemperizados.	19
3.4	Tecnologías de Remediación.	20
3.5	Técnicas de Reciclaje de Asfaltos.	26
<u>Capítulo IV</u>		32
4.1	Asfaltos	32
4.2	Composición del Asfalto.	33
4.3	Asfaltos Derivados del Petróleo.	34
4.4	Betunes.	36
4.5	Asfaltos Naturales.	37
4.6	Asfaltos en Refinerías.	39
<u>Capítulo V</u>		42
5.1	Carreteras y Pavimentos	42
5.2	Tipos de Caminos.	42
	5.2.1 Caminos y Carreteras.	42
5.3	Clasificación de las Carreteras.	43
	5.3.1 Por su transitabilidad.	43
	5.3.2 Administrativa.	44
	5.3.3 Técnica oficial.	44
<u>Capítulo VI</u>		47
6.1	Descripción de la Metodología.	47
6.2	Descripción de Área en Estudio.	47
6.3	Origen de la Contaminación.	50
6.4	Técnica de Muestreo.	51
6.5	Diseño Experimental	52

6.6	Descripción de la Metodología.	53
	Actividad No. 1	
	Caracterización física y química del suelo contaminado.	53
	A) Extracción de Hidrocarburo del suelo	54
	B) Pruebas realizadas sobre el Hidrocarburo.	57
	C) Pruebas Realizadas producto de la Extracción.	61
	D) Caracterización Química	64
	Actividad No. 2	
	Evaluación y granulometría de los materiales pétreos.	66
	Actividad No. 3	
	Evaluación de la mezcla asfáltica.	69
	Diseño Marshall.	69
	Capítulo VII	75
	Resultados y Discusión.	75
	Penetración a 25 °C.	75
	Punto de Reblandecimiento Anillo y Bola	77
	Índice de Penetración	77
	Densidad o Peso Específico.	78
	Tipo de Suelo.	79
	Granulometría del Suelo.	80
	Lixiviados en el material en Estudio.	81
	Evaluación y granulometría de los materiales pétreos.	81
	Resultados diseño Marshall.	83
	Comparación con Norma Oficial de la SCT	91
	Comparación con AASHTO.	92
	Comparación con Asphalt Institute.	93
	Cálculo de viabilidad económica.	94
	Capítulo VIII	
	Conclusiones y Recomendaciones.	96

CAPITULO I

1.1 Introducción

La industria petrolera en México tiene un significado estratégico de primera magnitud, que se manifiesta por los niveles en que esta contribuye a la economía nacional. La economía y la industrialización actualmente se encuentran en estado de crecimiento, sin embargo, esto se ha logrado a través del tiempo gracias a la destrucción masiva e incontrolada de ecosistemas y recursos naturales. La necesidad de satisfacer día con día, una mayor demanda de energéticos a nivel nacional ha ocasionado el crecimiento de la industria y con esto el impacto a los recursos naturales, los ecosistemas y las zonas urbanas.

A partir de la revolución industrial, con el crecimiento de las actividades productivas, la acelerada producción de bienes de consumo y con estos el incremento en volumen y peligrosidad de residuos generados representaba un problema económico a nivel mundial, que se resolvía descargando al suelo, agua y aire aquel residuo que no resultaba útil o resultaba inconveniente darle una disposición adecuada.

En caso de México, no esta exento de este dilema y tiene ya, en la actualidad graves problemas de contaminación ambiental suelo debido a residuos peligrosos que se han generado en los procesos productivos, que pueden llegar a ocasionar daños irreversibles al medio ambiente y a la salud humana en general.

De acuerdo a la *SEMARNAT* se producen ocho millones de toneladas anuales de residuos peligrosos en México; que de ser dispuestos al medio

ambiente sin ningún tratamiento sobrepasarían la capacidad de asimilación natural, provocando la acumulación en el suelo, agua o aire de estos contaminantes. (SEMARNAT 2003)

La contaminación por residuos peligrosos en el medio ambiente es un tópico que no presenta límites, ya que se puede presentar en cualquier ubicación geográfica ya sea de manera superficial y/o subterránea lo que provoca que en muchas ocasiones no sean visibles para el humano.

Los avances en cuanto a tecnologías de análisis y de monitoreo de contaminantes se ha incrementado significativamente en los últimos tiempos y en la actualidad es muy extensa, y permite dar una clasificación al residuo.

Al respecto, el gobierno federal se ha dado a la tarea de elaborar estas disposiciones publicando la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la subsiguiente formulación del reglamento en materia de Impacto Ambiental.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) a través de la NOM-052, define a los residuos peligrosos como todos aquellos residuos, en el estado que se encuentren, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, (CRETIB) presentan un peligro a los ecosistemas. (NOM 052-2003)

La remediación de sitios con suelos contaminados se ha convertido a través del tiempo en un problema significativo tanto para la industria como para el gobierno en México, esto debido a la gran cantidad de sitios contaminados que se encuentran a lo largo de la República Mexicana.

Actualmente se desarrollan y se analizan soluciones innovadoras y viables económicamente para la caracterización y remediación de estos sitios,

pero se dan soluciones parciales al implementar la técnica de remediación que presente un menor costo, sin tomar en cuenta si la técnica seleccionada soluciona el problema.

Hoy en día, se estima que a nivel nacional se cuenta con menos de 1% de los sitios contaminados caracterizados y remediados correctamente en México mientras que en Estados Unidos se cuenta casi en su totalidad con la caracterización del sitio. (*Horsak, 1995*)

La tendencia actual en el tratamiento de residuos es el aprovechamiento máximo de sus recursos mediante su reutilización, reciclado, etc. antes de su disposición y eliminación, todo esto con el objetivo de cuidar el medio ambiente, y contribuir a la disminución en el uso de materias primas naturales.

Lo habitual es relacionar estos conceptos con los residuos sólidos urbanos, ya que son los que mayor presencia tienen en la sociedad; plásticos, vidrio, papel, materia orgánica, etc., pero estos conceptos se extienden hoy en día a muchos residuos de los que se puede sacar partido y reutilizarlos.

Las posibilidades que tiene el reciclado son muy amplias, tal es el caso del reciclaje de asfaltos, que actualmente es una tendencia al alza para la rehabilitación de carreteras.

1.2 Contaminación de Suelos

Los residuos que se generan, debido al manejo inadecuado y/o a la disposición inadecuada e incontrolada de los mismos, son una fuente importante de contaminación de suelos, que se genera a partir de derrames de químicos al medio ambiente, a la falta de mantenimiento de los tanques de almacenamiento ya sean subterráneos o en superficie así como también a la fuga, ordeñas en tuberías, etc.

La importancia de la contaminación de suelos se ha incrementado en los últimos tiempos debido a que puede ser una fuente de contaminación hacia los mantos acuíferos y el agua subterránea que es utilizada en ocasiones como agua de consumo humano; los suelos contaminados reducen el uso que se le puede dar al suelo para que existan actividades productivas en la zona.

Los hidrocarburos del petróleo, incluyendo los hidrocarburos aromáticos policíclicos se han caracterizado como unos de los contaminantes principales de acuerdo a la Agencia de Protección al Ambiente (*EPA*) y muchas otras agencias de protección a la salud y al medio ambiente en otras localidades. (*EPA 2003, Cole 1994*)

Estos químicos poseen un trato delicado ecológicamente hablando, debido a la toxicidad que pueden llegar a presentar sus compuestos y debido a esto son catalogados como residuos peligrosos.

Sin embargo, en un sitio contaminado, se debe evaluar la posibilidad de que el hidrocarburo provenga de un proceso productivo de refinación o bien sea crudo de petróleo ya que la valoración ambiental sería distinta.

Ninguna ley federal en México (*LGEEPA*) ni en Estados Unidos (*EPA*) consideran a los derrames ocasionados por crudo de petróleo como un residuo peligroso. Los suelos que contienen productos de la refinación del petróleo por lo general si se presentan como residuos peligrosos, esto debido a las distintas propiedades que adquieren estos al momento de ser sometidos al proceso de refinación. (*OLAH, 1994, Horsak, 1995*)

Sin embargo, estos deben ser sometidos a un tratamiento o retirados del sitio para su disposición o recuperación una vez que se ha ocasionado un derrame debido al impacto ambiental que pueden generar.

La composición química y las propiedades físicas de los hidrocarburos varían significativamente de acuerdo a la ubicación y origen de donde son extraídos así como de acuerdo a la naturaleza del proceso de refinación al que han sido sometidos

La industria de la refinación requiere de grandes espacios para la instalación de tanques de almacenamiento y equipo, y su actividad principal es básicamente la separación de productos del petróleo, en diferentes fracciones de acuerdo con sus características químicas y usos que se le vayan a dar al producto.

Los principales productos que se procesan son crudo pesado, ligero, superligero y reconstituido, gas seco y licuado, gasolinas, querosenos, diesel, gasóleos, combustóleo, asfaltos, grasas y lubricantes. (*Calibrese, Kosteki, 1993*)

Las actividades del proceso requieren de líneas de distribución para fluidos, vapores y gases que es aquí donde se aumenta la probabilidad de fugas, derrames y explosiones causando la contaminación de un sitio.

Los suelos contaminados con hidrocarburos de acuerdo a la *NOM 052* se consideran materiales con residuos peligrosos por lo que anteriormente se solicitaba el análisis de CRETIB para determinar su clasificación. (*NOM 052 2003*)

Sin embargo, el INE, a través de la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas, se ha dado a la tarea de rescatar el suelo como recurso natural y establecer nuevos criterios basados en análisis químicos y físicos del contaminante para determinar el tratamiento al que puede ser sometido o la acción que se tomara para mitigar el problema.

En la actualidad, lo que procede en un sitio contaminado, es identificar el tipo y concentración de los contaminantes, lo cual constituye el punto de partida para estudiar las alternativas que permitan su tratamiento. (*Rendón, 1993*)

Lo anterior también es fundamentado en que la información que aportan los análisis de CRETIB en relación con los compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles, no es representativo en el caso de los hidrocarburos intemperizados, ya que los anteriores seguramente se han volatilizado o migrado a otra fase durante el tiempo que han estado expuestos a las condiciones climáticas por un periodo indeterminado de tiempo.

Para el correcto análisis de estos sitios se debe de realizar una cuantificación de metales pesados de acuerdo a la normatividad (NOM CRP 053-ECOL/1993), el cual se debe practicar simultáneamente con una muestra de suelo limpio, para saber si se trata de una característica natural del suelo o de una contaminación producto de alguna actividad ajena a los procesos naturales.

De acuerdo a la información de PEMEX, dos de los lugares más contaminados por hidrocarburos a nivel nacional son la refinería "Lázaro Cárdenas" y el Pantano de Santa Alejandrina, ambos ubicados en el sureste de México (Veracruz y Tabasco) (*PEMEX, 2001*)

Los residuos anuales de los procesos de refinación y petroquímicos de Petróleos Mexicanos, alcanzan la cifra de 1.7 millones de toneladas de residuos, de estos el 90.15% corresponde a desperdicios semisólidos; 9.6% a líquidos y 0.25% a sólidos; 18% del total se consideran peligrosos. Los residuos reciclados representan 0.1% y se estima que sólo 13% del total es susceptible de ser reutilizado, ver cuadro 1 (*Saval, 1995*).

En el informe anual de *PEMEX* 2001 se establece que el derrame de hidrocarburos representó el 0.3 % de las emisiones y descargas totales al ambiente. El 56 % de este volumen fue consecuencia de los 93 derrames ocurridos en instalaciones de *PEMEX* Refinación (PR). El volumen restante se debió a los 763 derrames en instalaciones de *PEMEX* Exploración y Producción (PEP).

PEMEX reporta que hubo un total de 8,031 toneladas de hidrocarburos (crudo, diesel y gasolina) derramados en su mayoría en tierra, en los cuatro sectores de ductos del país (*PEMEX* 2001).

Esta última cifra es importante, ya que de esta manera puede estimarse la magnitud de la contaminación en los sitios cercanos a los derrames. Uno de los estados con mayor incidencia de sitios contaminados por actividades petroleras es Veracruz.

De acuerdo a la *SEMARNAT* el número de sitios contaminados, aún en las estimaciones más conservadoras, asciende a varios miles de lugares cuyo riesgo potencial es desconocido. De acuerdo con datos publicados por el *INEGI* (2000), la superficie de suelo degradado por causas de contaminación en 1999 fue de 25,967 km². (*INEGI* 2000)

Todos los eventos en los que se encuentran involucradas sustancias que implican algún riesgo para el ambiente o la población y que puedan generar la contaminación de suelos y cuerpos de agua, son conocidos como emergencias ambientales.

De acuerdo con estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (*PROFEPA*), cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos.

Dentro de los compuestos peligrosos más comúnmente involucrados en emergencias ambientales, se encuentran el petróleo y sus derivados (gasolinas, combustóleo, diesel), agroquímicos, gas LP y natural, entre otros.

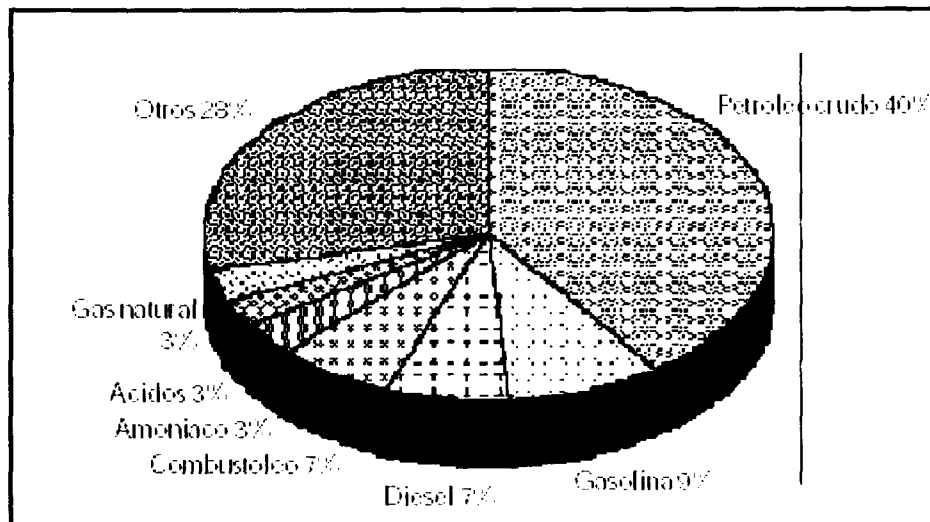


Figura 1: Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA entre 1997 y 1999 (Fuente: PROFEPA 2001

A esta fecha no es posible hacer un diagnóstico certero respecto a la dimensión real del problema de sitios contaminados. No obstante, dada la gran cantidad de materiales peligrosos en uso y la generación de residuos de toda índole, así como a la falta de infraestructura para el tratamiento y disposición final de éstos, se sospecha que existe una cifra muy alta de sitios en donde se requieren efectuar acciones de remediación.

La PROFEPA reporta que en el bienio 1995-1997 se tenían 105 sitios abandonados e ilegales contaminados con residuos peligrosos, sin embargo estudios independientes, entre los que se encuentra el de Izcapa (UNAM) señalan la existencia de 955 sitios potencialmente contaminados por materiales y residuos peligrosos, de los cuales 719 se deben al derrame accidental de sustancias químicas en el periodo de 1992 a 1996, 102 son sitios e instalaciones

con depósito y almacenamiento inadecuado de materiales peligrosos, 134 son sitios de disposición clandestina o inadecuada de residuos peligrosos. (PROFEPA 2001)

De acuerdo a la PROFEPA el estado de los sitios en remediación hasta el 2000 en la republica es el siguiente este dato se ha obtenido a partir de auditorias ambientales realizadas por esta dependencia:

Tabla 1.- Estado de sitios contaminados en vías de restauración en México al 2000

Entidad	Restaurados (toneladas)	En vías de restauración (toneladas)
Aguascalientes	2	14,536
Baja California	400	5,201
Baja California Sur	240	579
Campeche	0.00	15,216
Coahuila	3,725	85,038
Colima	2,200	78,501
Chiapas	0.00	8,346
Chihuahua	17,482	218,971
Distrito Federal	30,000	43,265
Durango	70,768	11,015
Estado de México	28,882	85,029
Guanajuato	23,243	390,209
Guerrero	700	1,088
Hidalgo	17,467	12,126
Jalisco	592	37,038
Michoacan	144,300	27,349
Morelos	10,000	19,302
Nayarit	400	23,283
Nuevo León	205,690	19,159
Oaxaca	71,112	13,095
Quintana Roo	0.00	1,478
Puebla	188	150,186
Queretaro	1,465	4,319
San Luis Potosi	213,543	28,185
Sinaloa	84,060	55,034
Sonora	374,444	265,695
Tabasco	9,000	8,959
Tamaulipas	22,300	260,649
Tlaxcala	572	75,737
Veracruz	64,000	224,288
Yucatan	0.00	13,579
Zacatecas	0.00	12,355

Fuente: Procuraduria Federal de Protección al Ambiente. Informe 1995-2000. PROFEPA/SEMARNAP. 2000.

Fuente: PROFEPA/SEMARNAT 2000

Se cuenta con un total de 2, 208,900 toneladas de material en vías de restauración a lo largo de la Republica Mexicana, y restauradas al año 2000 se cuenta con un total de 1, 396,775 toneladas de acuerdo a la PROFEPA en el

informe presentado de 1996-2000. Sin embargo no especifica que tipo de contaminante es el que se remedia en cada uno de los casos.

1.3 Reciclado de Asfaltos

El estado de las vías de comunicación (carreteras, caminos y terracerías) en Latinoamérica actualmente tiene un estado regular o deficiente con una tendencia que apunta al deterioro acelerado.

La crisis económica por la que atraviesan los países de Latinoamérica apunta directamente hacia el deterioro progresivo de las redes viales y la vida útil de estas parece estar sometida a un ciclo de construcción y conservación, insuficiente o inexistente, debido a la gran demanda que genera la comunidad por contar con estos servicios. *(Fdz. Canovas 1990.)*

De acuerdo a investigaciones realizadas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (*SCT*), en México existe un patrimonio de 113,000 Kilómetros de carreteras con un valor aproximado de 150 mil millones de dólares, aparte de las vías urbanas, de las cuales se está perdiendo un promedio de 20 millones de dólares anualmente por la falta de conservación y mantenimiento.

Es verdad que hoy muchas carreteras se construyen de concreto, pero también es cierto que los firmes de concreto son una alternativa, y que surgieron como consecuencia de la carencia de derivados del petróleo en la época de la crisis petrolífera. También es conocido que los pavimentos flexibles o asfálticos siguen ocupando un lugar predominante en la construcción de redes viales por su suavidad a la rodadura, carencia de juntas de construcción, excelente comportamiento ante heladas, entre muchas otras. *(Fdz. Canovas, 1990.)*

No deja de ser menos cierto que los productos bituminosos son insustituibles en caminos vecinales y de tráfico ligero puesto que permiten hacer firmes que se adapten a cualquier necesidad. Por último cabe indicar a su favor que en las reparaciones de firmes los materiales bituminosos son de un gran interés como lo demuestra el empleo creciente de lechadas bituminosas en la rectificación de pavimentos deteriorados debido a su eficacia, rapidez de ejecución, y economía.

El avance experimentado en estos últimos años en el campo de los materiales asfálticos ha sido muy grande y con el se a tratado de hacer que estos materiales posean cada vez mas calidad y sean mas competitivos.

Hoy en día, las técnicas de reciclaje de asfaltos, apuntan hacia un desarrollo muy favorable ya que, se ha comprobado que puede ser utilizado entre un 25 y hasta un 100% del material que se encuentra en uso. (*Kraemer, Borilla, 1999*)

Las técnicas de reciclaje de asfaltos implica beneficios económicos y ambientales, el hecho de utilizar materiales existentes, el evitar la explotación de recursos naturales, el evitar importantes acarreos de materiales, el aumentar significativamente los rendimientos de construcción de las obras, entre otras permiten que estas técnicas se encuentren en la vanguardia de las herramientas que requerimos conocer para mantener en óptimos estados nuestras redes viales en todo el entorno nacional.

1.4 Uso de Suelos con Hidrocarburos en Asfaltos

Investigaciones recientes realizadas por *Dineen 1991* nos indican que existe la probabilidad de utilizar hidrocarburos que se encuentran en el suelo producto de un derrame para la estabilización de un camino como base o sub base.

La *EPA* ha desarrollado una técnica de limpieza de sitios contaminados con bajas concentraciones de contaminantes, llamada *Cold-Mix-Asphalt Batching* que a través del departamento *US Air Force Center for Environmental Excellence* (AFCEE) busca en el reciclaje de suelos contaminados la probable creación de un producto útil y no peligroso que cumpla con las regulaciones federales de Estados Unidos, para ser utilizado como materia prima en la construcción de vías de comunicación. (*EPA 1995*)

El objetivo de este procedimiento es el de incorporar suelos con una contaminación relativamente baja para la utilización en productos asfálticos que con la adición de una emulsión asfáltica a una temperatura menor a 120 °C se logra una mejor consistencia del agregado y se utiliza como base negra para la estabilización de un camino.

El diagrama general de lo que se realiza actualmente con este sistema de suelos contaminados es el siguiente:

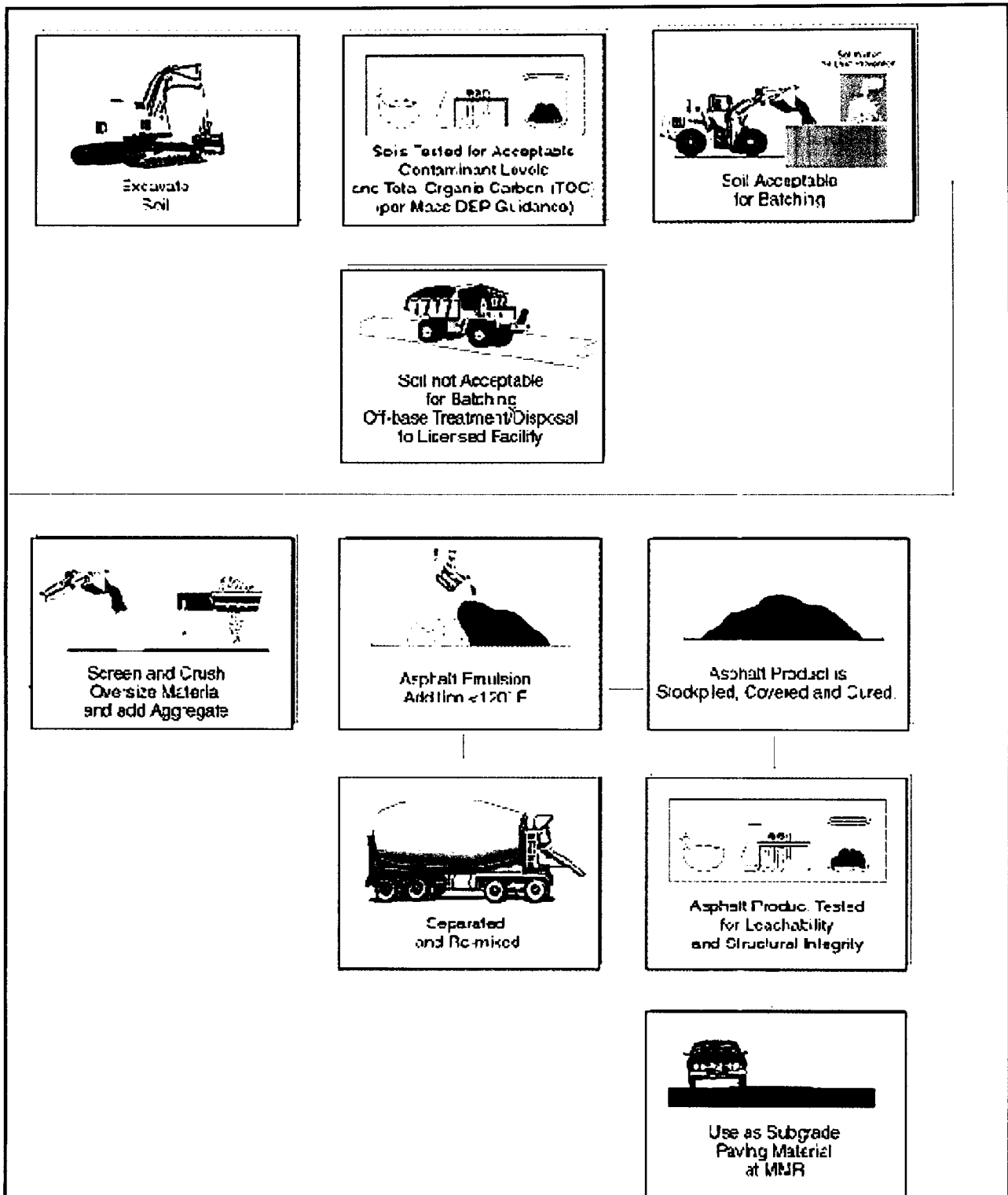


Figura 2: Diagrama Cold Mix Asphalt Batching

Fuente: EPA 1998

CAPITULO II

2.1 Propósito de la Investigación.

La incertidumbre acerca de si existe una alternativa de solución para la limpieza y el aprovechamiento de los hidrocarburos intemperizados que han sido generados a partir de un derrame de hidrocarburos en un predio, crea la alternativa de aprovechar estos recursos contaminados para la elaboración de una carpeta asfáltica, una vez que los compuestos volátiles y semi-volátiles se han volatilizado o han migrado a otra fase.

El trabajo de esta investigación se enfoca básicamente en el conocimiento, bases y aplicación de las condiciones que rigen para la elaboración de estas carpetas ya que es requisito indispensable conocer las características de estas, así como las pruebas a las que deben de ser sometidos estos materiales para ser utilizados como materia prima en la elaboración de una carpeta asfáltica y poder emitir un juicio acerca de la calidad obtenida de estos materiales.

Considerando esta problemática, se presentara una metodología para la correcta evaluación y elaboración de estas carpetas así como diversas alternativas a las que puede ser sometido el material contaminado con hidrocarburos intemperizados con el propósito de que el sitio sea liberado de este contaminante no solo por medio de la disposición sino con el aprovechamiento del mismo en otros procesos.

Los resultados obtenidos formaran parte de la evaluación de los contaminantes que servirán para evaluar la alternativa de utilización o para plantear una solución para el reuso o limpieza de un suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados.

2.2 Objetivos Generales.-

- Evaluar el comportamiento físico y químico de una mezcla asfáltica elaborada a partir de suelos contaminados con hidrocarburos intemperizados como alternativa de utilización como materia prima para la elaboración con técnicas de reciclaje de asfaltos.
- Desarrollar una metodología que permita identificar las propiedades físicas y químicas de un suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados, para determinar la factibilidad que presenta para su uso en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos o estabilización de una base que compone un camino.

2.3 Objetivos Específicos.-

- Evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados.
- Evaluar los materiales pétreos y granulometría del suelo contaminado.
- Realizar la granulometría de una mezcla asfáltica que se adapte a las condiciones del material contaminado para la elaboración de una carpeta asfáltica.
- Revisar los parámetros de control que se deben de seguir en la elaboración de una carpeta asfáltica que presenta dichas condiciones.
- Comparar los resultados de un pavimento elaborado con asfalto normal contra uno elaborado en laboratorio a partir de hidrocarburos intemperizados.
- Análisis de lixiviación de hidrocarburos en las muestras antes y después de realizada la mezcla asfáltica.

CAPITULO III

3.1 El suelo

El suelo se define como el material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que lo constituyen en diferentes niveles de profundidad; mientras que un suelo contaminado se define como aquel donde se encuentran presentes uno o mas materiales peligrosos y/o residuos de toda índole que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud del hombre. (*Lichtinger Victor et al, 2002*).

Un recurso natural es un elemento natural que se presenta sin la inducción del hombre y es susceptible a ser aprovechado en el beneficio de este.

El suelo entra en esta definición de recursos naturales, y además tiene la característica de ser no renovable. Tiene diversas funciones, entre otras se encuentran las siguientes: (*Saval 1995*), (*Lichtinger, 2002*).

- Es la base para la supervivencia de los seres vivos en el planeta.
- Permite la implantación de las raíces de las plantas y les proporciona agua y elementos nutritivos.
- Funciona como filtro amortiguador al limpiar el agua de precipitaciones para la recarga de acuíferos en el subsuelo.
- Es un medio productor de alimentos, es hábitat biológico y de reserva genética. En su seno se pueden desarrollar gran cantidad de vegetales y organismos que forman parte de la cadena alimenticia y constituyen la riqueza de la biodiversidad.
- Es la base física para la edificación de vivienda, industria, vías de comunicación, sitios de transporte y disposición de residuos.

-
- Es una fuente de materias primas como la arcilla, arena, grava y minerales.
 - Además que alberga una importante herencia cultural, que son sitios arqueológicos y paleontológicos que son una fuente de información importante y que deben de ser mantenidos como un testimonio de la humanidad.

El suelo frecuentemente es el receptor final de los residuos generados a nivel mundial. Esto debido a las diversas propiedades que puede llegar presentar.

La contaminación con hidrocarburos de un suelo puede llegar a presentar a un alto riesgo para la estabilidad de un ecosistema, ya que en su estado natural y debido a su concentración y a sus condiciones tanto físicas como químicas, estos pueden migrar de un estado a otro (suelo-aire, suelo- agua) o bien pueden ser transportados hacia los mantos acuíferos originando una contaminación aun mas delicada.

3.2 Tipos de Contaminación de suelos con Hidrocarburos

Una vez en la superficie, los hidrocarburos del petróleo se pueden presentar en una o varias formas así como en una combinación de fases como lo son las siguientes:

- Líquida
- Disuelta
- Gaseosa

3.2.1 Fase Líquida

En el subsuelo, los hidrocarburos se pueden presentar en fase líquida de las siguientes maneras:

- Producto libre con movimiento hacia la parte inferior a través de la zona no saturada.
- Líquidos residuales que permanecen estáticos en la zona no saturada

- Líquidos residuales atrapados en la zona saturada.

La forma particular o la distribución de las formas tomada por el contaminante depende del grado al cual la saturación de hidrocarburos es posible en los poros del suelo y en las características de adherencia que presentan los materiales geológicos, en otras palabras, el grado al cual la adsorción o absorción de los materiales afecta la pluma del contaminante y cuánto del líquido se retarda y llega a ser inmóvil en el suelo. (API 1996)

La cantidad de producto de petróleo que puede ser retenido por los materiales que componen el subsuelo es regida, por las interacciones capilares entre el suelo y el producto de petróleo. La cantidad que se puede retener bajo condiciones de drenaje normal se refiere como saturación residual, y depende del tamaño de partícula, el tipo del suelo, la densidad líquida del contaminante, y la tensión superficial de las partículas.

En la zona no saturada la superficie expuesta de los materiales geológicos se presentara con una capa delgada de agua que actúa como un humectante fluido del suelo. Los hidrocarburos líquidos pueden actuar también como un humectante del suelo protegiendo la capa de agua que se puede presentar en el suelo conforme va migrando a través de la zona vadosa.

Valores promedios de concentraciones de hidrocarburos residuales en la zona no saturada para algunos productos del petróleo, y tipos de suelos se presentan a continuación:

Tabla 3.1.- Valores típicos de contaminación y de concentraciones de hidrocarburos en la zona no saturada.

Tipo de Suelo	Gasolinas		Destilados Medios		Aceites pesados	
	L/m ³	mg/kg	L/m ³	mg/kg	L/m ³	mg/kg
Gravas gruesas	2.5	950	5	2200	10	4800
Arenas gruesas	7.5	2800	15	6500	30	15000
Arenas finas y limos	20	7500	40	17000	80	39000

Fuente API 1996

3.2.2 Fase Disuelta

La fase disuelta de los hidrocarburos se presenta de la siguiente manera:

- Cuando se presenta agua de infiltración en la zona no saturada y arrastra el contaminante con ella.
- Películas de agua residual que cubren superficies sólidas o que ocupan el espacio de los poros en el suelo.
- Cuando se presenta el flujo de agua subterránea en la zona saturada.

3.2.3 Fase Gaseosa

La fase gaseosa de un hidrocarburo se presenta de las siguientes maneras:

- Espacio entre los poros en la zona no saturada que no han sido ocupados por líquidos.
- En estas zonas, los contaminantes presentan propiedades volátiles muy altas lo que les permite desplazarse con mucha facilidad.

3.3 Hidrocarburos Intemperizados.

Para realizar evaluaciones de protección al ambiente acerca de la cantidad y calidad de contaminantes que pueden ser dispuestos en un sitio, es necesario identificar o estimar que pasa con los contaminantes durante un periodo largo de tiempo.

Información reciente nos indica, que a pesar de que las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo, así como de hidrocarburos aromáticos policíclicos, y otros compuestos relacionados pueden ser medidos analíticamente en los suelos, estos no son fácilmente liberados por la matriz del suelo ya que no presentan condiciones de volatilidad o migración que le permitan realizar dicha actividad bajo condiciones ambientales representativas del lugar donde se

encuentran.(Beck et al. 1995; Smith et al. 1995; Loehr and Webster 1997; Berg et al. 1998; Olivera et al 1998; Smith et al. 1999).

Los factores que afectan directamente a la liberación química de estos compuestos son: la movilidad, el contenido orgánico de carbón en el suelo, y por último el grado de intemperización al que se encuentra el contaminante. (*Pignatello and Xing 1996; White et al. 1997*).

Los hidrocarburos intemperizados tienden a presentar una capacidad de degradación menor a la de un hidrocarburo no intemperizado. En los suelos contaminados con contaminantes intemperizados los compuestos que se encuentran por lo general presentan muy bajas concentraciones o no son detectables. En contraste con los suelos contaminados con hidrocarburos intemperizados, ya que un suelo contaminado con estos presenta una alta concentración de Hidrocarburos totales del petróleo (TPH's) debido a que se encuentran almacenados todos los metales pesados que lo contienen y que no pueden liberarse aun y cuando han sido expuestos a condiciones ambientales severas. (Cole Mattney)

3.4 Tecnologías de Remediación.

Existen diversas tecnologías para el tratamiento o remediación de suelos contaminados con materiales orgánicos y residuos peligrosos como lo son los hidrocarburos del petróleo.

A nivel global, se cuentan con diversas técnicas, programas y documentos que sirven de apoyo para analizar y seleccionar la o las tecnologías que se pueden aplicar para la resolución de una problemática ambiental, en diversos sectores.

En los Estados Unidos de Norte América, se cuenta con la Agencia de Protección al Ambiente EPA por sus siglas en Ingles, que es de todos conocido, que se encarga de los organismos de control y remediación de sitios contaminados.

Otra de estas organizaciones es la CERCLA Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, la cual autoriza al Gobierno Federal para tomar acciones de limpieza y/o mitigación en relación a descargas o derrames de sustancias peligrosas que puedan amenazar al medio ambiente o la salud en general.

Existen guías que sirven de apoyo en el proceso de depuración y selección de las alternativas de remediación adecuadas de acuerdo al sitio y tipo de contaminante, como lo es, la Guía para Dirigir la Investigación y Estudios de Factibilidad de Remediación RI/FS (Remediation Investigation / Feasibility Study) la cual se caracteriza por los procesos interdependientes RI/FS como resultado de la integración de datos durante la RI y el análisis de los mismos durante la FS (EPA, 1998 / 540 / G-89 / 004).

Hoy en día, nos encontramos con la Norma Oficial Mexicana *NOM-EM-138-ECOL-2002* que establece los límites máximos permisibles de contaminación de suelos afectados con hidrocarburos, así como la caracterización del sitio y procedimientos de restauración en México, por lo que las metas o bases de remediación se fijan en base a la misma

Las tecnologías existentes actualmente en México, han sido divididas en tres amplias ramas:

- Biológicas
- Físico Químicas
- Térmicas

Dentro de estas se encuentran la extracción de vapores, bioremediación, estabilización, solidificación, lavado de suelos, desorción térmica, vitrificación, e incineración, entre otras.

Para la remediación de sitios contaminados con hidrocarburos intemperizados por lo general son tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de estos

- **Destrucción o modificación de los contaminantes.** Este tipo de tecnologías busca alterar la estructura química del contaminante.
- **Extracción o separación.** Los contaminantes se extraen y/o separan del medio contaminado, aprovechando sus propiedades físicas o químicas (volatilización, solubilidad, carga eléctrica).
- **Aislamiento o inmovilización del contaminante.** Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos físicos o químicos.

Los tratamientos fisicoquímicos aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación.

Remediación electrocinética (RE)

La remediación electrocinética es una tecnología en desarrollo que aprovecha las propiedades conductivas del suelo, cuyo objetivo es separar y extraer contaminantes orgánicos e inorgánicos (metales) de suelos, lodos y sedimentos, con el uso de un campo eléctrico que permite remover las especies cargadas (iones). Implica la aplicación de una corriente directa de baja intensidad entre un electrodo positivo y uno negativo (Van Cauwenberghe 1997, Paillat et al. 2000).

Los iones metálicos, iones amonio y compuestos orgánicos con carga positiva, migran hacia el cátodo; mientras que los aniones como el cloruro, cianuro, fluoruro, nitratos y compuestos orgánicos cargados negativamente se mueven hacia el ánodo (EPA 2001).

Es una tecnología que puede emplearse para mejorar otras tecnologías de remediación como la biorremediación y la remoción de contaminantes no solubles (Sellers 1999).

Solidificación/estabilización (S/E)

La S/E es un proceso en el que el suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación. La solidificación se refiere a las técnicas que encapsulan (atrapan físicamente) al contaminante formando un material sólido, y no necesariamente involucra una interacción química entre el contaminante y los aditivos solidificantes.

La estabilización limita la solubilidad o movilidad del contaminante, generalmente por la adición de materiales, como cemento Pórtland, cal o polímeros, que aseguren que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica (Sellers 1999, EPA 2001).

La S/E puede realizarse tanto in situ como ex situ. Para la S/E ex situ, el material a tratar debe excavar para tratarse, de manera que el material resultante sea dispuesto. En la S/E in situ pueden utilizarse sistemas para cubrir los suelos contaminados sin necesidad de excavar, de manera que el material se deja en el mismo sitio (EPA 2001).

Separación física

Las técnicas de separación buscan concentrar los contaminantes sólidos por medios físicos y químicos. La mayoría de los contaminantes orgánicos e inorgánicos tienden a unirse, química o físicamente, a la fracción más fina del suelo. Las partículas finas de arcillas y sedimentos pueden separarse de arenas y gravas gruesas para concentrar los contaminantes en volúmenes menores de suelo.

De esta manera, el volumen de suelo obtenido puede tratarse o disponerse. La separación ex situ puede realizarse por varios procesos. La separación por gravedad (por diferencia de densidad entre fases) y la separación por tamaño de partícula (concentración de contaminantes en volúmenes menores) son dos procesos bien desarrollados. En cambio, la separación magnética (extracción de partículas magnéticas) es un proceso mucho más novedoso que aún se encuentra en desarrollo (EPA 2001).

Tecnologías de remediación térmicas

Los tratamientos térmicos ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza, pero son generalmente los más caros. Sin embargo, estas diferencias son menores en las aplicaciones ex situ que in situ.

Los altos costos se deben a los costos propios para energía y equipos, además de ser intensivos en mano de obra. Al igual que las tecnologías fisicoquímicas y a diferencia de las biológicas, los procesos térmicos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes.

Los procesos térmicos utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes (inmovilización). Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren de tratamiento; las destructivas producen

residuos sólidos (cenizas) y, en ocasiones, residuos líquidos que requieren de tratamiento o disposición.

Es importante hacer notar que para ambos tipos de tratamiento, el volumen de residuos generados que requieren de tratamiento o disposición, es mucho menor que el volumen inicial.

(<http://www.frtr.gov/matrix2/Preface/ACKNOWLEDGMENT.html>, Van Deuren. 1997).

La mayoría de las tecnologías térmicas pueden también aplicarse in situ y ex situ. Dentro de las tecnologías térmicas ex situ, principalmente se encuentran la incineración, pirolisis y desorción térmica. Una de las tecnologías que se emplean in situ es la EV mejorada por temperatura.

En general, estas tecnologías consumen grandes cantidades de energía y recursos naturales, económicos y humanos, y requieren de un monitoreo constante así como también de un control estricto en sus variables para que su comportamiento sea satisfactorio.

Estas tecnologías en ocasiones producen la migración del contaminante de un medio a otro o bien son demasiado caras y en ocasiones poco efectivas en el manejo de mezclas complejas de contaminantes

Debido a que estas tecnologías por lo general no resultan en la destrucción total de contaminantes, estos pueden ser transportados o sometidos a su disposición en rellenos de residuos peligrosos debidamente aprobados por la autoridad competente.

Para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos se cuenta con un diagrama general de las técnicas de remediación que se presenta a continuación:

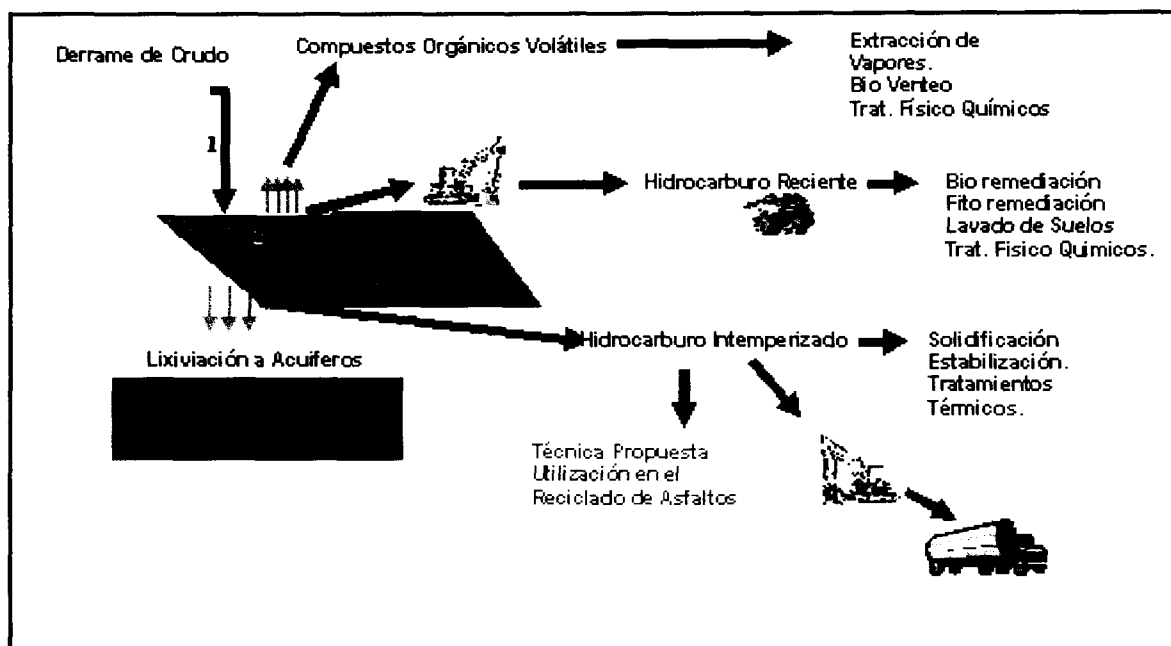


Figura 3.1.- Esquema desarrollado a partir de técnicas de remediación de suelos con hidrocarburos.

3.5 Técnicas de Reciclaje de Asfaltos.

El reciclado es una técnica de rehabilitación que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de los firmes que ya han estado en servicio: materiales deteriorados que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales o materiales aun en condiciones de servir cuyas características se desea mejorar.

Es una técnica relativamente antigua (mas de 80 años) que en los últimos años ha experimentado un fuerte impulso. El reciclado de alguna de las capas existentes permite una respuesta adecuada al reto que representa la creciente escasez de los áridos y la dificultad cada vez mayor de enviar a un sitio los residuos que pueden ser reutilizados.

Entre 1990 y 1998 se han reciclado en España casi 5 millones de m² de pavimento, casi en su totalidad mediante la técnica de reciclado *in-situ* en frío.

El reciclado de firmes envejecidos tiene un antecedente de re acondicionamiento o re tratamiento de los antiguos firmes de macadam (retreat process) mediante la incorporación de una cierta cantidad de pétreo y de emulsión asfáltica. Las técnicas de reciclado propiamente dichas surgen en lo años 70 con el objetivo de disminuir el consumo de materiales pétreos, aprovechar el potencial del ligante existente en el firme y en definitiva mejorar el balance energético en las actuaciones de rehabilitación. *(Kraemer, 1999)*

En México, el reciclado de asfaltos es una técnica prácticamente nueva, debido a que ha sido un país que ha llevado más tiempo en la incorporación de esta técnica en la reparación de vías de comunicación. Sus comienzos fueron en la década de los 80, empleando sistemas de asfaltado en caliente, pero esta experiencia no dio buenos resultados, por lo cual se dejó de utilizar. *(AMAAC 2001)*

El reciclado se puede llevar a cabo *in situ* o trasladando los materiales levantados del firme a una central o planta exterior. En ambos casos cabe recurrir a técnicas en frío y en caliente.

Reciclado en planta.

La primera fase consiste en el levantamiento de la capa que se va a reciclar, por fresado u otro procedimiento, y su traslado a una planta de fabricación de mezclas asfálticas, donde tras una eventual trituración secundaria y una clasificación granulométrica se mezcla con materiales pétreos y ligantes nuevos, así como agentes rejuvenecedores.

Las técnicas de reciclaje en planta se pueden realizar de varias maneras dependiendo de las instalaciones de fabricación existentes. La ventaja es que se obtienen mezclas bituminosas de gran calidad. El inconveniente es que resultan muchas ocasiones en no viable económicamente. *(Kraemer, 1999)*

Reciclado *In-situ* en caliente.

Dentro del reciclado *in situ* en caliente se pueden distinguir tres procesos, denominados respectivamente termo reperfilado (sin materiales de aportación), termo regeneración (con una cierta cantidad de materiales de aportación) y re-mezclado (con aportación de mezcla asfáltica nueva que se mezcla con el material pre-existente).

Los dos primeros solo sirven para renovaciones superficiales mientras que el re-mezclado sirve para rehabilitaciones estructurales. En los tres casos se utilizan grandes maquinas integrales que en una sola pasada realizan de manera secuencial distintas operaciones: Calentamiento del pavimento, levantamiento de un cierto espesor, formación de un cordón de material levantado, separación en su caso de material que no se vaya a reutilizar, eventual aportación de material pétreo nuevo, mezcla homogénea de los materiales nuevos con los antiguos, extensión y pre-compactación.

Otra técnica aplicada es la de realizar la mezcla en frío con emulsión y cemento. Tras resultados óptimos, se ha desarrollado con más fuerza.

Reciclado *in situ* en frío

En este caso la rehabilitación de firmes existentes se logra mediante la ejecución de las siguientes operaciones a temperatura ambiente:

- Disgregación de sus capas superiores por fresado, eventualmente combinada con la aportación de un material pétreo.
- Adición a los materiales fresados, sin desplazarlos emulsiones asfálticas.

Este tipo de reciclado se puede clasificar según:

- La naturaleza y espesor de los materiales que se van a reciclar.
- El ligante o conglomerante empleados: emulsión asfáltica o cemento Pórtland, en ambos casos con una posible incorporación de cal para neutralizar eventuales finos plásticos.
- El objetivo de la rehabilitación: renovación superficial o rehabilitación estructural, con incorporación posterior de un pavimento asfáltico de espesor limitado.
- Creación de una base de suficiente calidad ejecutada *in situ*, sobre la cual se extiende un pavimento asfáltico.

Este tipo de reciclado se aplica sobre pavimentos viejos o muy dañados, que presenten un firme en mal estado.

Cada técnica presenta ventajas y desventajas propias del material a utilizar:

El reciclado *in situ*, tiene la gran ventaja de no necesitar transporte de materiales, por lo cual resulta bastante más económica que la técnica del reciclado en planta. Además, consume menos energía y las molestias que se originan sobre el tráfico, como consecuencia de los camiones que se necesitan para el asfaltado, son menores.



**Figura 3.2.- Planta recicladora móvil de asfalto
Fuente API 1997**

Reciclado *in situ* con cemento

Otra de las técnicas empleadas en el reciclado de pavimentos flexibles, es con cemento Pórtland, es una técnica utilizada para rehabilitar materiales granulares que presentan buena compatibilidad con emulsiones asfálticas, que se han desgastado por fatiga o deterioro prematuro.

La base general de esta actividad es el aprovechamiento de materiales que se encuentran en la estructura del pavimento y que presentan algún remanente de vida útil para aprovechar su compatibilidad a través de las propiedades mecánicas que proporciona el cemento en calidad de ligante.

El reciclaje de asfaltos utiliza las actividades de construcción más comunes en el entorno de rehabilitación de pavimentos, van desde la disgregación de materiales, diseño de mezclas adecuadas, ajustes y rehabilitación de bases y sub bases de apoyo de las capas de rodadura; acompañados por supuesto de un diseño adecuado de la mezcla de acuerdo a las características propias del material a reciclar.

Estas técnicas de reciclaje, sobre todo la técnica *in situ*, está empezando a tener gran arraigo en México, el único inconveniente que es que no se encuentra regulado por ningún tipo de Norma Oficial Mexicana lo que origina muchas incógnitas de calidad en los materiales a utilizar.

Técnica propuesta en el reciclado de asfaltos:

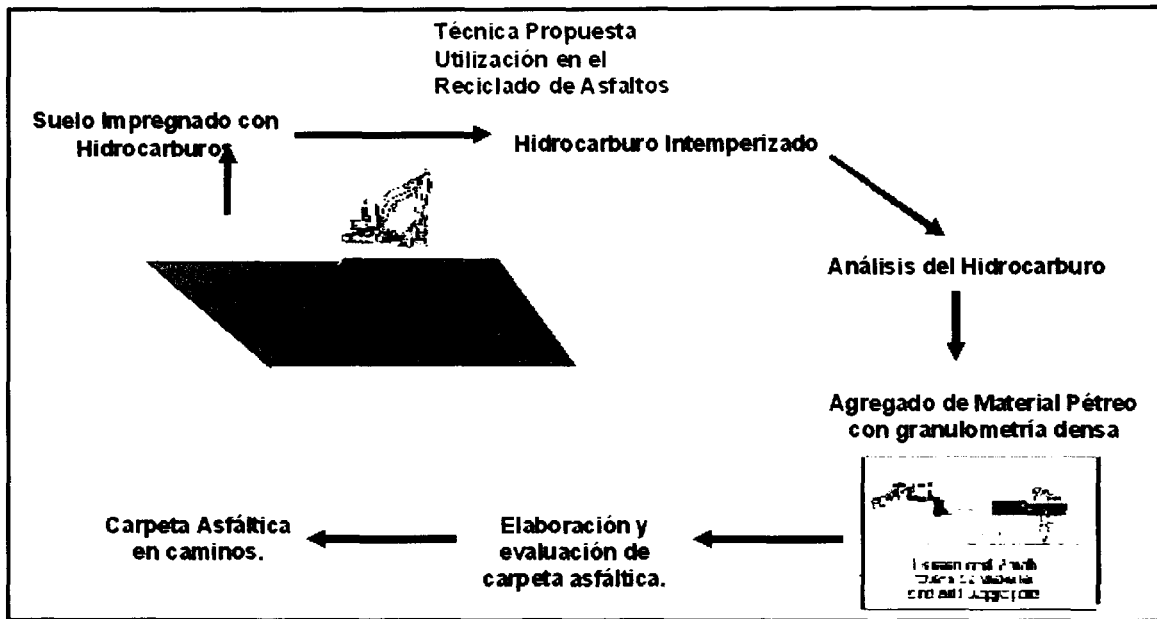


Figura 3.3.- Propuesta de Reciclado de Asfaltos.

CAPITULO IV

4.1 Asfaltos

En las vecindades de depósitos subterráneos de crudo de petróleo, laminas de estos depósitos pueden verse en la superficie. Esto puede ocurrir debido a fallas geológicas; la cantidad y naturaleza de este material que se observa naturalmente depende de un número de procesos naturales, los cuales pueden modificar las propiedades del material.

Este producto puede ser considerado un "asfalto natural", a menudo siendo acompañado por materia mineral, y la mezcla dependiendo de las circunstancias por las cuales hayan sido mezcladas.

Existen grandes depósitos de crudo de petróleo en el medio ambiente y por miles de años estos han correspondido a láminas superficiales de asfalto "natural".

Los antiguos habitantes de esas zonas no apreciaron rápidamente las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenía el asfalto y rápidamente dejaban de usar este producto para proceder a su disposición final. *(Fdz Canovas 1990)*

Por mas de 5000 años el asfalto en cada una de sus formas ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante.

El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en

1869 y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos.

El transporte carretero comercial creó la dependencia "camión-camino" exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back).

La elaboración de mezclas de concreto asfáltico implica la mezcla de agregado bien clasificado y de alta calidad con cemento asfáltico líquido que se calienta y se mezcla en cantidades medidas para producir el material de pavimento bituminoso. Este produce generación de partículas y humos de material asfáltico, las cuales incluyen la volatilización de hidrocarburos y otros contaminantes que son parte del producto de procesos de combustión incompleta. (Olivera, 1998)

La industria de los productos bituminosos está cada día más desarrollada y los materiales que se producen son cada vez más completos y sus características más acordes con las exigencias constructivas, como ocurre en el campo de los aglomerantes para carreteras. El empleo del soplado de los betunes, de activantes aniónicos y cationicos, de adiciones de caucho y resinas sintéticas, han hecho posible que se obtengan productos de gran adherencia a los áridos y capaces de resistir las grandes cargas que transmite el tráfico pesado en carreteras.

4.2 Composición del Asfalto

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron

desarrolladas por *Nellensteyn* en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por *Pfeiffer* y *Saal* en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos.

Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insoluble asfáltenos. Los maltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

Tabla 4.1 Modelo de Composición del Asfalto.-

<i>Asfáltenos</i>	<i>Maltenos</i>
Compuestos Polares	No polares
Hidrocarburos Aromáticos	Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos
Peso molecular mayor 1.000	Peso molecular hasta 1.000
Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (<i>pentano-heptano</i>)	Medio continuo

Fuente: Asphalt Institute 1996

4.3 Asfaltos Derivados de Petróleo

Los asfaltos mas utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de

asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad.

Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

1. Petróleos crudos de base asfáltica.
2. Petróleos crudos de base parafínica.
3. Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y keroseno de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior.

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS_2). El alquitrán, obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente.

El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos. El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto

natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

Los materiales bituminosos pueden dividirse en dos grandes grupos betunes y alquitranes.

Los betunes y alquitranes presentan una serie de propiedades análogas y de diferencias muy significativas. Ambos materiales son termoplásticos y poseen una buena adhesividad con los áridos, sin embargo, la viscosidad de los alquitranes se encuentra mas afectada por las variaciones de temperatura que la de los betunes y además su envejecimiento es mucho mayor que el de estos.

4.4 Betunes

Como definición general y de acuerdo con las normas los betunes son mezclas de hidrocarburos naturales o pirogenados o de sus combinaciones (frecuentemente acompañados de sus derivados no metálicos) y que pueden ser gaseosos, líquidos semisólidos, y sólidos solubles por completo en sulfuro de carbono.

Los betunes naturales o nativos son líquidos viscosos o compuestos sólidos constituidos por mezclas de hidrocarburos y sus derivados no metálicos. Estos betunes se han formado mediante una polimerización oxidante del petróleo.

Las rocas asfálticas son rocas impregnadas de betún natural, generalmente, estas rocas son porosas (calizas, dolomitas, pizarras, arenas, areniscas, arcillas).

El asfalto es un producto natural o preparado en el que el betún asfáltico esta unido a materias minerales inertes. A la palabra asfalto debe añadirse otra que indique su procedencia.

4.5 Asfaltos Naturales

Los asfaltos son materiales aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando solamente las asfálticas.

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las Islas Trinidad y Bermudas.

También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza. Estos asfaltos pueden clasificarse como:

Asfaltos Nativos, sólidos o semisólidos.

1) Puros o casi puros.

Este se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. Se usa como aglutinante para pisos de carreteras y como material para pavimentos.

2) Asociados con materia mineral

Este asfalto es bastante duro y hay que extraerlo usando maquinaria especial para dicho fin. Contiene bastante materia mineral, algunas fácilmente

visibles al microscopio, que se depositan cuando se altera la viscosidad con calor y la viscosidad de sedimentación sigue aproximadamente la ley de Stokes.

En la refinería, se calienta el asfalto crudo en grandes calderas abiertas provistas de serpentinas de vapor para expulsar el agua, y después se cuele.

Este producto se conoce con el nombre de Asfalto Refinado. El asfalto refinado se reblandece mezclándolo con un residuo líquido de petróleo que sirve de fúndente, y el producto se llama cemento asfáltico.

Se adapta bien a las mezclas con alquitrán de hulla para disminuir la volatilidad de éste y hacerlo más consistente y más estable a los aumentos de temperatura. Este asfalto es miscible con casi todos los demás asfaltos y betúmenes naturales, aceites vegetales y minerales, ceras, breas y alquitrán de hulla.

Casi todos los usos de éste asfalto exigen una manipulación a temperatura elevada, y las mezclas con materiales bituminosos más blandos o más duros suelen hacerse a temperaturas comprendidas entre 107 y 204 °C. Este asfalto se emplea como material de pavimentación, y en la fabricación de materiales asfálticos

3) Asfaltitas duras

La gilsonita o caucho mineral, sólo se presenta naturalmente en la cuenca del río Uintah, en Utah y Colorado, Estados Unidos. Es uno de los bitúmenes naturales más puros que se conocen y se distingue fácilmente de las demás asfaltitas por su color pardo, su peso específico más bajo, su contenido fijo de carbono y poco azufre.

Las calidades comerciales son; selecto, segundo (corriente) y azabache. Se distinguen por el punto de reblandecimiento y el comportamiento en los solventes derivados de petróleo.

La gilsonita se emplea mucho en la fabricación de barnices negros mezclándola con aceites secantes y resinas, residuos de petróleo y otros asfaltos, con todos los cuales es miscible en todas proporciones. Se emplea también mucho en la fabricación de artículos moldeados termoplásticos, revestimientos para frenos, pisos de mástique, losetas asfálticas, compuestos saturantes para alambres aislados, bandas de transmisión, tejidos impregnados, pinturas para maderas y revestimientos de oleoductos.

A diferencia de casi todos los demás asfaltos naturales o de petróleos crudos, la gilsonita se mezcla en casi todas las proporciones con ceras para formar compuestos estables. Cuando se emplea en proporciones pequeñas en mezclas de cera-asfaltos, actúa como portador e impide la separación de la cera y el asfalto. Añadiendo una pequeña proporción de gilsonita al fúndente antes de soplar el asfalto, el producto es menos grasiento o aceitoso. Cuando se añade a un asfalto oxidado, de temperatura de reblandecimiento elevada, la gilsonita reduce la penetración y el punto de reblandecimiento; pero cuando se añade a un asfalto oxidado de temperatura de reblandecimiento baja, reduce la penetración y eleva el punto de reblandecimiento.

4.6 Asfaltos en Refinerías:

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

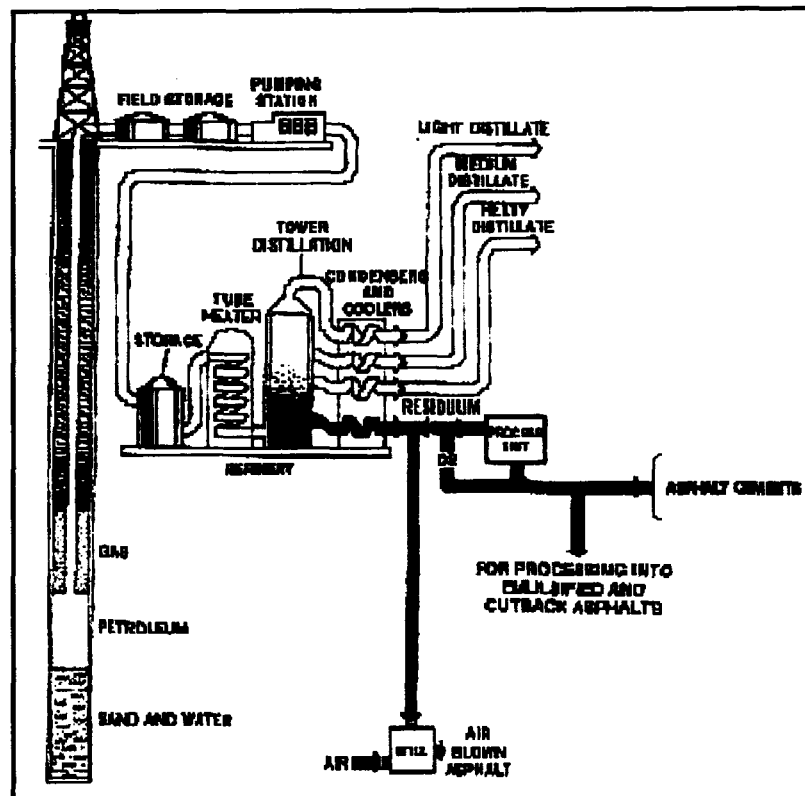


Figura 4.1: Proceso de extracción y refinación del crudo.
Fuente: Cole 1993

4.6.1 Destilación Primaria.

Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, keroseno, gas oil), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

4.6.2 Destilación al Vacío

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío.

Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica.

El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

4.6.3 Desasfaltización con propano o butano:

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo.

El proceso se denomina "desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C).

El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

CAPITULO V

5.1 Carreteras y Pavimentos

Proyectar el tipo de pavimento a utilizar puede variar de acuerdo al proyecto donde este vaya a ser utilizado, no se toman las mismas consideraciones al momento de considerar un pavimento en una carretera al de un aeropuerto.

Se define como pavimento el conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento. *(Olivera , 1998)*

El pavimento en si proporciona la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten de una manera rápida y cómoda, sin embargo, estas dos cualidades son relativas al tipo de camino al que se va a ser expuesto. En una autopista de cuota la velocidad demandada es superior a los 80 km/h por lo cual las exigencias de calidad en los materiales, y diseño en el camino tienden a ser superiores a las de un camino de segundo orden, rural o urbano que presenta velocidades de 20 a 40 km/h.

5.2 Tipos de Caminos.

5.2.1 Caminos y Carreteras

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente

para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

5.3 Clasificación de las Carreteras

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad. En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones dadas en otros países. (SCT 1997)

Estas son:

- Clasificación por Transitabilidad.
- Clasificación por su aspecto administrativo.
- Clasificación técnica oficial.

5.3.1 Por su transitabilidad.

La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

1. **Terracerías:** cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
2. **Revestida:** cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
3. **Pavimentada:** cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se presenta de la siguiente manera:

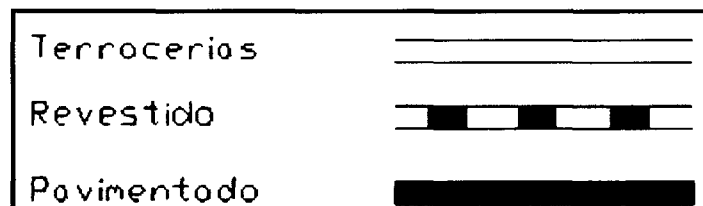


Figura 5.1: Simbología de carreteras de acuerdo a su acabado
(Fuente SCT 1997)

5.3.2 Clasificación administrativa.-

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

1. **Federales:** cuando son costeadas íntegramente por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
2. **Estatales:** cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón 50% aportado por el estado donde se construye y el 50% por la federación. Estos caminos quedan a cargo de las antes llamadas juntas locales de caminos.
3. **Vecinales o rurales:** Cuando son construidos por la cooperación de los vecinos beneficiados pagando estos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la federación y el tercio restante el estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes llamadas juntas locales de caminos y ahora sistema de caminos.
4. **De cuota:** las cuales quedan algunas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales y otras como las autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

5.1.1 Clasificación Técnica Oficial.-

Tipo especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de TPD) estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4, S.

Tipo A (*transito pesado*) Para un transito promedio diario anual (*TDPA*) de 1,500 a 3,000 equivalente a un transito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del TPD). Transito ligero.

Tipo B: (*transito medio*) para un transito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un transito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de TPD)

Tipo C: (*transito ligero*) para un transito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un transito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del TPD)

Otros tipos de caminos que se encuentran dentro de esta clasificación son lo tipos "D" y "E" que se ubican dentro de los de trafico ligero pero generalmente no son revestidos con carpeta asfáltica.

En la clasificación técnica anterior, que ha sufrido algunas modificaciones en su implantación, se ha considerado un 50% de vehículos pesados igual a tres toneladas por eje. El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros.

Tabla 5.1.- Requerimientos de carpetas de acuerdo al tipo de camino.

Criterios para la mezcla	Trafico ligero Tipo C < 10⁴ Ejes Equivalentes		Trafico Medio Tipo B 10⁴-10⁶ Ejes Equivalentes		Trafico Pesado Tipo A > 10⁶ Ejes Equivalentes	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Numero de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad (mínima)	226.75 kg. (500 lb.)		340.12 kg. (750 lb.)		680.25 kg. (1500 lb.)	
Flujo (mm.)	2	8	2	8	2	8
Porcentaje de Vacíos %	3	5	3	5	3	5

Fuente: Asphalt Institute 1997

En México, en virtud a la composición promedio del tránsito en las carreteras nacionales, arroja un 50% de vehículos comerciales, de los cuales un 15% está constituido por remolques, se ha considerado conveniente que los factores de transformación de los vehículos comerciales a vehículos ligeros en caminos de dos carriles, sea de dos para terreno plano, de cuatro en lomeríos y de seis en terrenos montañosos.

CAPITULO VI

6.1 Descripción de la Metodología

Se obtuvo material contaminado con hidrocarburos intemperizados de un predio ubicado en la región de Altamira, se extrajeron 4 recipientes de 20 L. cada uno con material en distintos puntos dentro del predio y posteriormente se homogenizaron para tratar de que el muestreo fuera representativo del lugar.

Se trato de obtener el material con un bajo contenido de materia orgánica esto debido a que se necesitaba en mayor parte el hidrocarburo que se encontraba unido al suelo para tratar de hacer el análisis sobre este material.

Una vez obtenido el material se le realizaron pruebas tanto físicas como químicas. Las pruebas físicas se realizaron en el laboratorio de Ing. Civil del ITESM y las pruebas químicas en el Lab. de Química de CEDES del ITESM

Posteriormente se realizaron mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de contenido de suelo contaminado y asfalto normal para buscar de una combinación adecuada para la construcción de carpetas asfálticas y evaluar su utilización de acuerdo a las normas que lo rigen.

6.2 Descripción del área en estudio.

El área de la cual se obtuvo el material se encuentra ubicada en el estado de Tamaulipas en los límites entre Tampico y Altamira. Como se encuentra en un lugar de libre acceso se extrajeron aproximadamente 75 Kg. de material para el estudio.

Producto de la explotación petrolera esta es una zona en la cual abundan los pozos de extracción y bombeo de crudo hacia las refinerías para su tratamiento y posterior utilización.

La zona es catalogada por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) como la zona Tampico Norte en el mapa con referencia F14 B74, como bosque o selva densa.

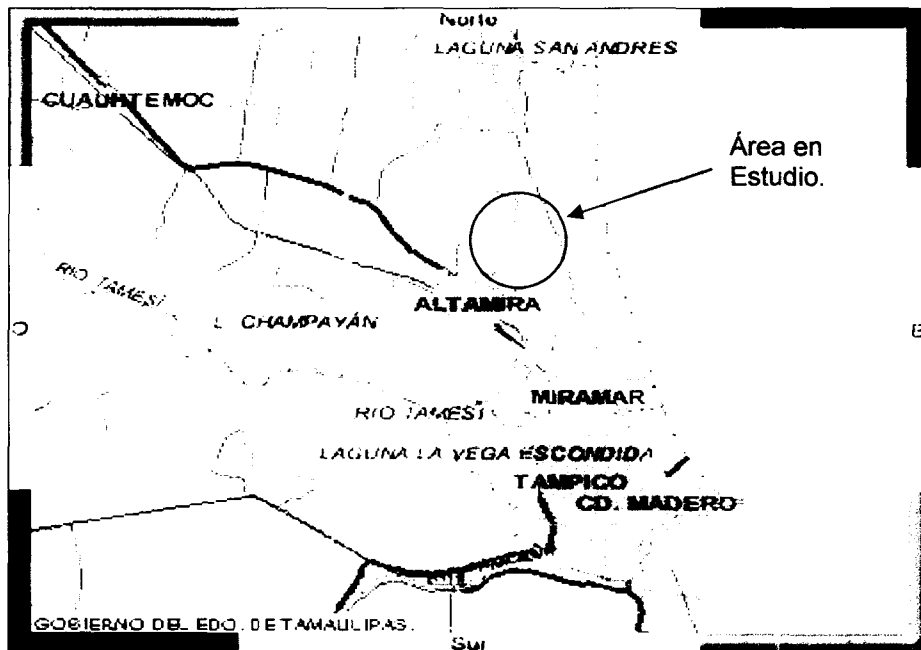


Figura 6.1: Mapa del área en estudio
Fuente: Gobierno del Edo Tamaulipas (2004).



Figura 6.2: Simbología de mapa.



Figura 6.3: Vista norte del sitio en estudio

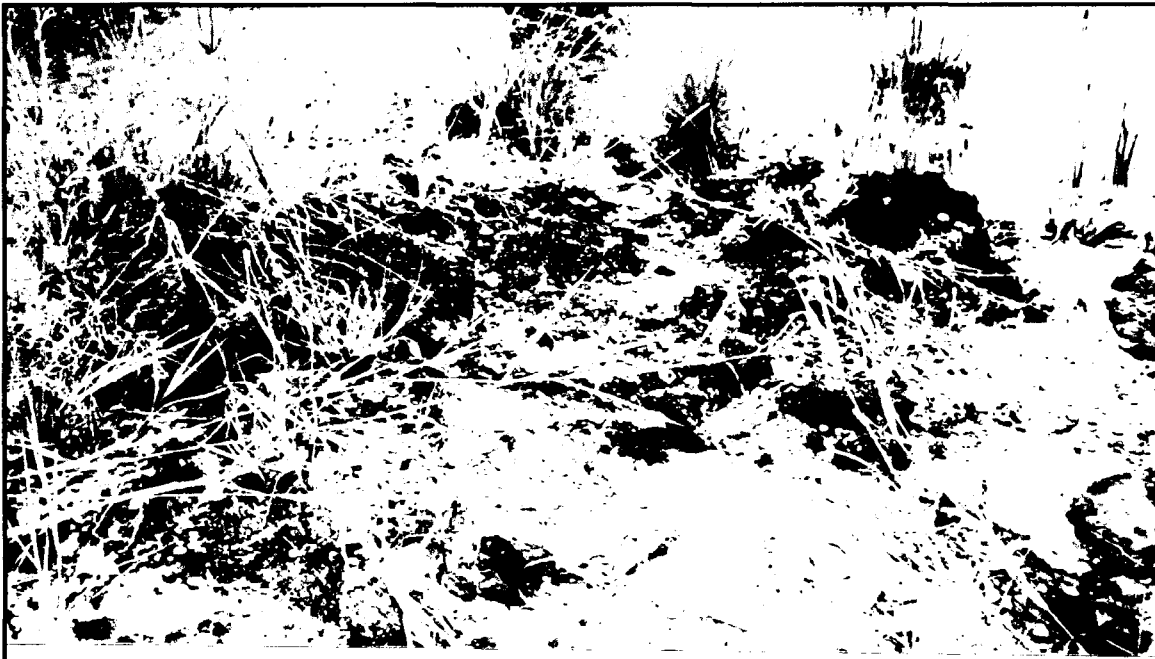


Figura 6.4: Material contaminado en estudio

6.3 Origen de la Contaminación.

En el sitio contaminado se encuentran cerca de 8 estaciones de bombeo de PEMEX por lo que en una de las tuberías que se encuentran en el subsuelo se originó en 1994, un derrame que se sospecha es de crudo, sin embargo habría que realizar un estudio para determinar si el material producto del derrame es de crudo o de material producto de refinación ya que debido a la falta de información o de un o deuda histórica del sitio no se conoce, ya que no se cuenta con información al respecto por parte del dueño o de PEMEX

El área contaminada es de aproximadamente 20 hectáreas y se observa que el hidrocarburo ya se encuentra intemperizado de acuerdo a las condiciones ambientales a las que ha sido expuesto durante el tiempo desde que se originó el derrame, se observa en la Fig. 6.5 que se puede caminar sobre el terreno sin ninguna dificultad.



Figura 6.5: Hidrocarburo Intemperizado

6.4 Técnica de Muestreo

El muestreo se realizo de una manera aleatoria en el sitio, ya que el acceso en muchas zonas era inaccesible debido a las recientes lluvias que se presentaron en la zona.

Cabe mencionar, que se realizo de una manera representativa tomando en cuenta que el objetivo de la tesis es analizar el comportamiento de los hidrocarburos intemperizados, por lo que solo se tomaron muestras de los primeros 30 a 40 cm. de profundidad, esto debido a que a profundidades mayores el grado de intemperización que presentaba el hidrocarburo era menor

El muestreo realizado se realizo formando una cuadrícula en el área, todos los puntos a una distancia no mayor a los 150 m creando una zona representativa, y posteriormente en laboratorio se homogenizo el material en estudio y por medio de cuarteo se separo en cuatro diferentes porciones, por lo que el área que representa el muestreo es de 2 hectáreas aproximadamente.



Figura 6.6 Muestreo del material.

6.5 Diseño Experimental.

Primeramente se realizaron trabajos en el material en estudio esto se refiere a las pruebas tanto físicas y químicas que se describirán a continuación en el punto 6.6.

Se realizaron 4 experimentos que consistieron en realizar mezclas asfálticas con distintas proporciones de materiales en cada una. Cada uno de los experimentos consiste en un total de 18 pastillas por cada uno, en los que la variable es la cantidad de asfalto tanto AC-20 normal, así como el producto del material en estudio que se colocara en cada una de ellas.

En ellas se evaluaron las propiedades mecánicas (físicas) y químicas de acuerdo al capítulo 7. Las proporciones para la realización de la mezcla contarán con una constante en lo que se refiere al material pétreo que se le agregara, que fue de 1200 grs. esto de acuerdo, al Diseño Marshall que es el que se utilizara para evaluar las características de la carpeta asfáltica.

En estas la variable es la cantidad tanto de asfalto como de material contaminado que es utilizado en cada una de ellas.

Las proporciones son las siguientes:

- **Asfalto AC-20.-** Mezcla con 100% asfalto AC-20 y 1200 grs. de material pétreo. **Utilizada como muestra de control**
- **HIDROCARBURO 100%.-** Mezcla compuesta con 100% del material producto del suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados (sustituyendo al asfalto en un 100%) y 1200 grs. de material pétreo.

- **Asfalto 50%.-** Mezcla con 50% del material que producto del suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados y 50% de asfalto AC-20. y 1200 grs. de material pétreo.
- **Asfalto 75%.-** Mezcla con 25% del material producto del suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados, 75% de asfalto AC-20 y 1200 grs. de material pétreo.

El material pétreo utilizado como agregado en cada una de las probetas es material calizo con distintas graduaciones que van desde tamaño de partículas de 3/8 de diámetro hasta material que pasa la malla No. 200, esta granulometría se describirá en el capítulo No. 7 de este trabajo.

6.6 Descripción de la metodología de la caracterización física y química.

Actividad No.1: Caracterización física (mecánica) y química del suelo contaminado.

Los materiales asfálticos poseen una composición química y estructura compleja lo que hace que la determinación de sus propiedades a través del conocimiento de su composición no sea fácil y haya que recurrir a la realización de ensayos de laboratorio.

Del material en estudio se tomaron **dos muestras** por medio de cuarteo de aproximadamente 500 gr. cada una, una vez seleccionados se prosiguió a separar el suelo del hidrocarburo, por medio de dilución con Xileno $C_6H_4(CH_3)_2$ en un aparato llamado Rotarex que se describe en el inciso A de este capítulo, en esta prueba se obtienen dos residuos a las cuales se le realizaran las siguientes pruebas:

- El suelo sin hidrocarburos para elaborar las siguientes pruebas:
 1. Determinar tipo de suelo.
 2. Granulometría.
 3. Contracción Lineal.
 4. Límites de Atterberg.

- El hidrocarburo con xileno el cual se tiene que destilar para obtener los residuos correspondientes. Una vez extraído el xileno se realizaron los siguientes estudios sobre el hidrocarburo obtenido con el fin de identificar las características del mismo:
 1. Penetración a 25°C.
 2. Reblandecimiento Anillo y Bola.
 3. Índice de penetración.
 4. Densidad o Peso Específico.

En esta prueba se obtuvieron dos muestras de hidrocarburo y dos de suelo de las cuales en las dos se analizarán las propiedades antes mencionadas para cada una de ellas.

A) Extracción de Hidrocarburo del suelo.

La prueba de extracción del hidrocarburo se realizó mediante el método del **Rotarex** que sirve para separar fracciones de suelo del asfalto, para el análisis del mismo en esta prueba se utilizó Xileno $C_6H_4(CH_3)_2$, ya que el hidrocarburo es soluble en este compuesto.

Se introdujeron en el aparato para las dos muestras aproximadamente 600 g de material contaminado y 600 ml de Xileno, ya separados los materiales el suelo libre de hidrocarburo obtenido, se colocó en el horno a 100 °C durante 12 horas, para poder realizar los análisis correspondientes, Por otra parte se

obtuvo el hidrocarburo con Xileno el cual se destilo para elaborar los análisis al hidrocarburo únicamente.

A continuación se muestra una figura del aparato:

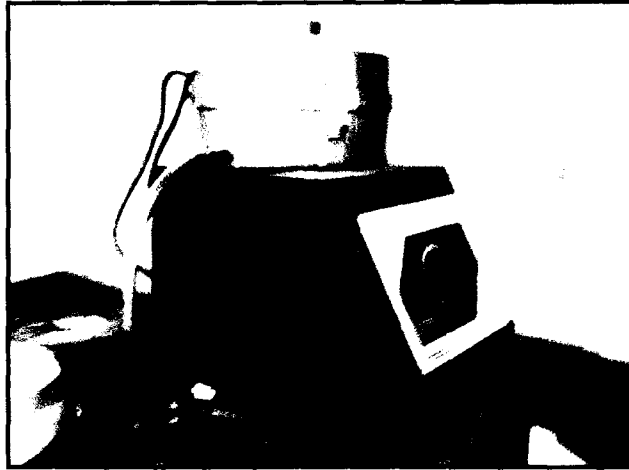


Figura 6.7: Aparato Rotarex

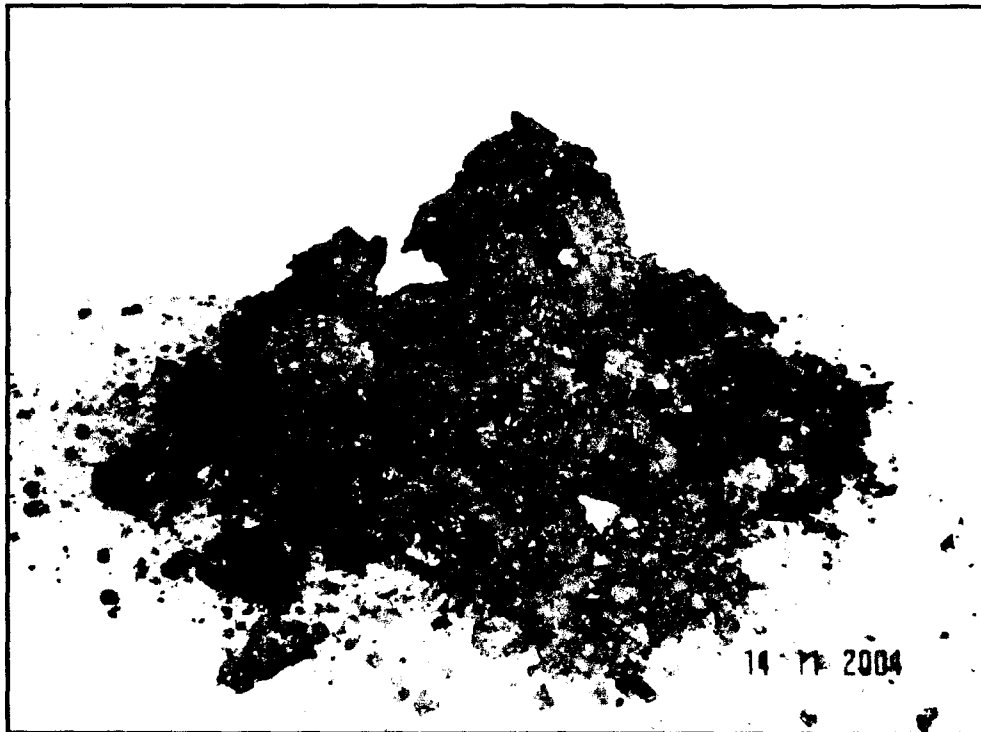


Figura 6.8: Suelo antes de ser sometido a la separación con el aparato Rotarex.

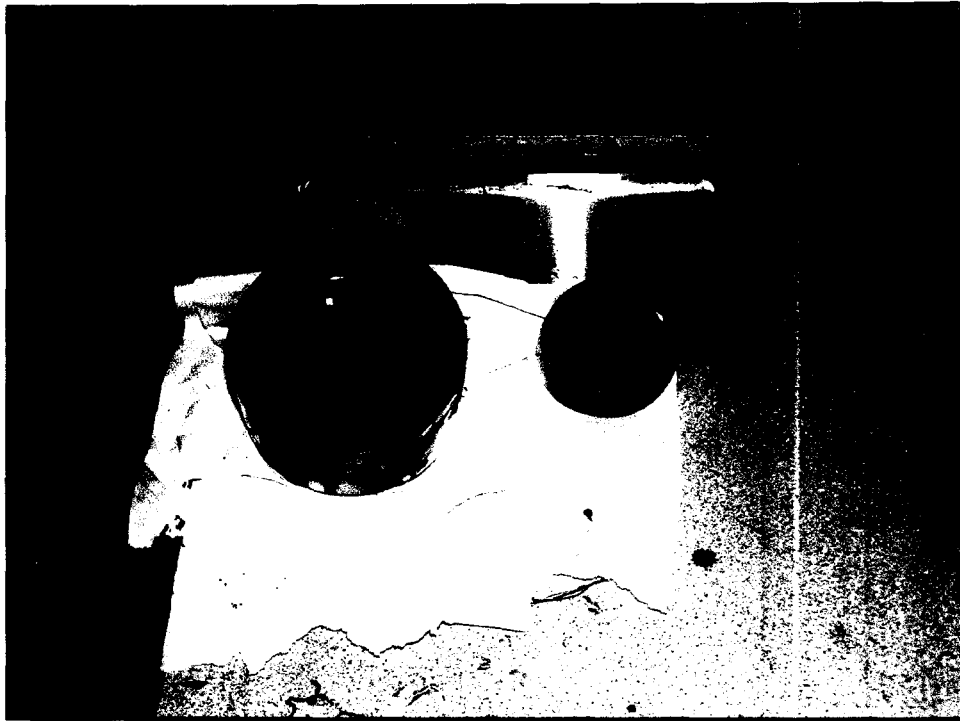


Figura 6.9: Hidrocarburo extraído del suelo para el análisis

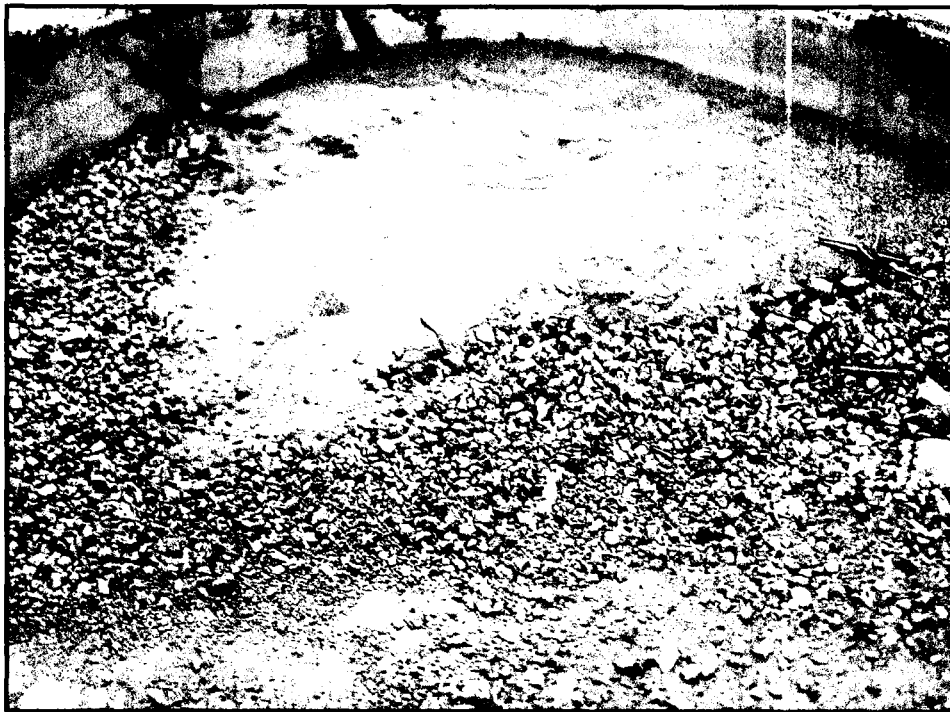


Figura 6.10: Suelo sin hidrocarburos después de sacado del horno

B) Pruebas realizadas sobre el hidrocarburo.

Con el objetivo de realizar estas pruebas se obtuvieron dos muestras de tamaño similar y en las dos se realizaron todos los análisis independientemente con el fin de tener una mayor precisión al tiempo de evaluar sus propiedades y de que fuera más representativo el estudio.

B.1 Penetración a 25 °C

Cuando los asfaltos presentan a temperaturas moderadas viscosidades muy elevadas estas no pueden ser medidas por medio de los viscosímetros normales, siendo, en estos casos, muy útil para medir las propiedades de fluencia el ensayo de penetración de la aguja, expresada en décimas de milímetro.

La penetración indica la facilidad con la que el asfalto se deforma y depende de la viscosidad y de la elasticidad del mismo.

Este ensayo es muy empleado para medir la consistencia de los asfaltos dando lugar a que estos se clasifiquen por su penetración

La penetración por si sola no permite definir las características reológicas de un asfalto, sin embargo, se pueden establecer, correlaciones entre la penetración y la viscosidad absoluta del mismo, y estas pueden variar al momento de hacerlo la procedencia de los asfaltos.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de

prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura. (NLT-124/84).

La penetración se define como la distancia expresada en décimas de milímetro, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada. Normalmente el ensayo se realiza a 25 °C durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil de 100g. *ASTM D-73(1978)*

Para la realización de la prueba de acuerdo a las normas mexicanas se aplica el procedimiento del manual de prueba M-MMP-4-05-006/00 (*SCT*). La que nos indica que se deben de realizar al menos tres penetraciones en la muestra sobre puntos diferentes en la superficie separados entre si y la pared de la cápsula como mínimo 10mm.

El hidrocarburo producto de la extracción del suelo en las dos muestras se sometió a esta prueba y los resultados obtenido se verán en el siguiente capítulo.

B.2 Reblandecimiento anillo y bola.

La mayoría de los ensayos sobre productos bituminosos se realizan a temperaturas muy próximas a las de un día de verano, pero en muchas ocasiones es interesante conocer la temperatura a la que un material deja de ser duro y se reblandece.

En los asfaltos se define un punto de reblandecimiento convencional que es la temperatura a la que el asfalto adquiere una fluidez determinada. En general, los materiales no tienen una temperatura de fusión fija y definida, por lo que cuando se calienta van pasando gradual e imperceptiblemente de una consistencia quebradiza o muy pastosa a otra más blanda y fluida.

El punto de reblandecimiento tiene utilidad en la comprobación de la uniformidad de las partidas y fuentes de abastecimiento de la materia prima, se establece únicamente con fines de comparación del comportamiento de unos asfaltos con respecto a otros no siendo un índice de un cambio definido de propiedades a una temperatura determinada. (Olivera et al 1995)

Para la realización de esta prueba que se realizó de acuerdo a la Norma NLT-125/84 se tomó hidrocarburo producto de la extracción y se evaluó para las dos diferentes muestras obtenidas. A continuación se presenta una figura de los aparatos con los cuales se realizó la prueba:

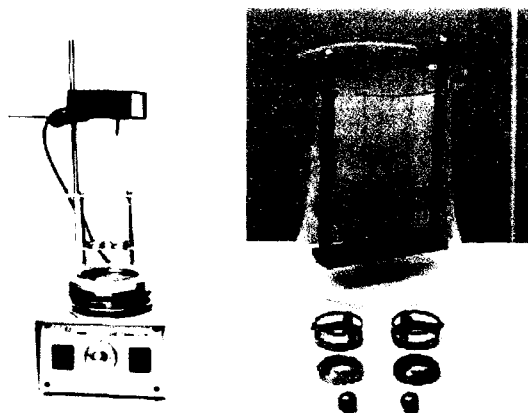


Figura 6.11: Material utilizado para la prueba de anillo y bola.

B.3 Índice de Penetración.

Este índice concebido por Pfeiffer y Van Doornal, se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de reblandecimiento anillo y bola y nos proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

La temperatura a la cual se realiza el estudio es a una temperatura de 25°C que es la que se tiene como constante en el sótano del Laboratorio de Ing. Civil del ITESM.

De acuerdo a la Norma *NLT 181-88*, la formula para calcular el índice de penetración es la siguiente:

$$IP = \frac{20u - 300v}{u + 300v}$$

Donde:

$$u = \text{lóg. } 4(t_{AB} - t_p)$$

$$v = \text{lóg. } 800 - \text{lóg. } P_t$$

t_{AB} = temperatura del punto de reblandecimiento anillo y bola en °C.

t_p = temperatura a la que se efectuó el estudio de penetración en °C.

P_t = Penetración a la temperatura t_p

A partir del Índice de penetración se puede obtener de acuerdo a la norma el tipo de asfalto y las propiedades que presenta.

B.4 Densidad o Peso Específico.

La densidad de un producto, como la de cualquier otro material, es la relación que existe entre su masa y su volumen.

La densidad de los productos asfálticos varía con la temperatura y también con su origen y su proceso de destilación. Si los productos tienen el mismo origen y se encuentran a la misma temperatura su densidad suele ser muy próxima a la unidad variando dentro de pequeños límites de acuerdo con el grado de penetración y en el sentido de que a mayor penetración la densidad disminuye.

Esta prueba permite determinar el peso específico relativo o densidad de los cementos asfálticos. Este dato se utilizara en el cálculo de volúmenes de los cementos asfálticos y en la determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas. (*SCT 2000*)

$$Sca = \frac{Wfa - Wf}{(Wfw - Wf) - (Wfaw - Wfa)} = \frac{Wa}{Ww}$$

Sca: Peso específico relativo o densidad del cemento asfáltico.

Wf: Peso del picnómetro, gramos.

Wfw: Peso del picnómetro lleno de agua, gramos.

Wfa: Es el peso del picnómetro con asfalto.

Wfaw: Es el peso del picnómetro con asfalto y agua, gramos.

Wa: Peso del picnómetro con asfalto contenido en el picnómetro, gramos.

Ww: Peso del agua destilada, en gramos, correspondiente a un volumen igual al de cemento asfáltico, ambos a 25 °C.

C) Pruebas Realizadas al Suelo producto de la extracción para la evaluación de sus propiedades.

De igual manera que el hidrocarburo se obtuvieron dos muestras de suelos sin hidrocarburos de aproximadamente 480 g cada una y se sometieron a secado en el horno para la realización de las siguientes pruebas:

C.1 Determinación del tipo de suelo.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (*SUCS*) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm.; se representan por el símbolo G si más de la

mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm., y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm.

A la "G" o a la "S" se les agrega una segunda letra que describe la graduación: "W", buena graduación con poco o ningún fino; "P", graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; "M", que contiene limo o limo y arena; "C", que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm., se dividen en tres grupos, las arcillas "C", los limos "M" y limos o arcillas orgánicos "O".

C.2 Granulometría

Esta prueba consiste en determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños que lo componen. Para realizar esta prueba el material se hace pasar por varios tamices o mallas, se pesan las partículas retenidas por cada tamiz y se encuentra el porcentaje respectivo en relación con el peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por las mallas.

Con base en su granulometría, los materiales utilizados en la construcción de caminos se dividen de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6.1: Rangos de granulometría para la clasificación de un suelo

	Gravas	7.5 cm (3in.) a 4.76 mm (num #4)
Suelos	Arenas	4.76 mm (num #4) a 0.074mm (num. 200)
	Finos	menores de 0.074mm (num. 200)

De acuerdo con la cantidad de grava, arena y finos que contenga el suelo, se tienen denominaciones mixtas como grava arenosa arcillosa o arcilla-grava-arenosa, aunque debe aclararse que los materiales finos, aquellos que pasan

por la malla número 200, no necesariamente son de tipo arcilloso sino que pueden ser también limos.

C.3 Prueba de Contracción Lineal

Es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasan la malla 40. En este caso, no se obtiene una humedad sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones de 2X2X10 cm. y se introduce en un horno hasta peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo con sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud inicial es la contracción lineal.

$$\%Contraccion - Lineal = \frac{Long.Inicial - Long.Final}{Long.Inicial} X100$$

C.4 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg corresponden a la humedad, o sea, el porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

Así, el **límite líquido (LI)** es la humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y el plástico. En esta condición, el material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25g/cm².

El **límite plástico (Lp)** es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido, a la diferencia entre el límite líquido y plástico se le denomina índice plástico (**Ip**).

Caracterización Química.

A) Clasificación Ambiental del Residuo de acuerdo a la NOM 052 SEMARNAT 1993 y a la LGEEPA.

De acuerdo a la Norma 052 el derrame de crudo no es considerado como un residuo peligroso ya que no presenta propiedades que le permitan migrar en las diferentes fases que se pueda llegar a presentar.

Lo que encontramos en la LGEEPA, esta Ley establece lineamientos generales por lo que el Estado deberá desarrollar instrumentos normativos, como reglamentos y normas afines, que garanticen el cumplimiento de esta disposición jurídica.

Que nos indica en su Capítulo IV en el artículo 134 punto V:

En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

Así como en el Artículo 152:

Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.

B) Análisis de Lixiviación por hidrocarburos de las muestras de acuerdo a la NOM 053 SEMARNAT 1993 y al método 418.1 de la EPA

Se realizaron estudios de lixiviación de hidrocarburos para las diferentes condiciones y proporciones en las que se encuentra el hidrocarburo esto con el fin de asegurar que el contaminante no será liberado en el tiempo en el que va a estar expuesto a condiciones ambientales severas (lluvias, inundaciones, tráfico vehicular, etc.)

Las muestras a las que se realizaron las pruebas químicas son muestras diferentes a las que se les realizó las pruebas físicas, en estas se analizó el suelo contaminado antes y después de realizada la mezcla en sus diferentes combinaciones, con el fin de analizar cual era la movilidad del contaminante.

Las muestras fueron divididas en 3 partes, la primera consistió en el material que se utilizó en la elaboración de las mezclas a partir del Material 100% contaminado tanto antes y después de realizada la mezcla y así sucesivamente con todas las muestras en sus diferentes porcentajes.

Se llama material contaminado a la muestra antes de sufrir alguna alteración y Mezcla con material contaminado a la muestra después de realizada la mezcla.

Las muestras fueron llamadas de la siguiente manera:

Tabla 6.2: Resumen de resultados para la lixiviación que presenta el suelo y el hidrocarburo antes y después de realizada la mezcla.

Muestras	
Muestra 1	Material utilizado para la mezcla HIDROCARBURO 100% antes de la mezcla con el material pétreo.
Muestra 2	Material utilizado para la mezcla Asfalto 50% antes de la mezcla con el agregado pétreo
Muestra 3	Material utilizado para la mezcla Asfalto 75% antes de la mezcla con el material pétreo.
Asfalto AC-20	Mezcla con Asfalto AC-20 C/A Pétreo
HIDROCRABURO100%	Mezcla con mat. contaminado 100% C/A Pétreo
Asfalto 50%	Mezcla con mat. contaminado 50% C/A Pétreo
Asfalto 75%	Mezcla con mat. contaminado 25% C/A Pétreo

Actividad No.2 Evaluación y Granulometría de los materiales pétreos.

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, las cuales, por lo general, requieren cribado y triturado para utilizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir.

Ya que la superficie por revestir resulta mas afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran mas los cambios en estos que en aquellos.

La mezcla asfáltica en estudio consiste en una granulometría densa y abierta que se refiere a la norma *N-CMT-4-05-003/02* de la SCT, es una mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con una alto porcentaje de vacíos, con tamaño nominal de agregado de 12.5 milímetros y 6.3 milímetros que satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma *N-CMT-4-04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

Estas mezclas por lo general se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del transito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de las carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura.



Figura 6.12: Pesaje del material pétreo calizo

El material pétreo que consiste en gravas y arenas calizas se obtuvo de la pedrera del Roble en Monterrey, Nuevo León y se cribó, seco y calentó previo a la elaboración de la mezcla.

El material pétreo una vez separado de acuerdo a la granulometría por emplear se dejó en el horno a una temperatura de 100 °C por espacio de 12 hrs. después de pesarlo, para proceder a la elaboración de las mezclas, esto con el objetivo de que el material se encuentre seco y caliente al tiempo de la elaboración de la mezcla ya que facilita la adhesión con el asfalto.

Se calienta el material para que pierda la humedad que contiene y que pueda lograrse una mejor homogenización con el asfalto y el material en estudio al tiempo de realizar la mezcla.

Actividad No. 3 Evaluación de la mezcla asfáltica elaborada con proporciones diferentes de Material contaminado y Asfalto normal con la misma cantidad de Material Pétreo.

Diseño Marshall

El objetivo del procedimiento Marshall es el de encontrar la mejor combinación o el contenido óptimo de asfalto en una mezcla asfáltica, que satisfaga un rango de valores de estabilidad y de flujo, así como el de presentar el comportamiento de la mezcla. (*White, 1985*)

Este método consiste en fabricar probetas de mezclas asfálticas cilíndricas considerando como constante la granulometría de la mezcla y siendo la variable el contenido de asfalto, las mezclas se elaboran de acuerdo al procedimiento estandarizado de *AASHTO T 245*

En nuestro caso se utilizaron diferentes mezclas asfálticas en las cuales la variable era tanto el contenido de material contaminado como el de asfalto normal, para poder determinar cual sería el caso óptimo y evaluar cual puede ser su utilización final.

A) Fabricación de pastillas

Para proceder a la fabricación de las pastillas se calienta tanto el material pétreo, así como el asfalto para que se pueda lograr una correcta homogenización *Fig. 6.14*, una vez lograda esta se debe compactar el material con el Martillo Marshall *Fig. 6.16*



Figura 6.13: Mezcla de material pétreo con asfalto y suelo contaminado



Figura 6.14: Mezcla de material pétreo con asfalto y suelo contaminado homogenizado

Las dimensiones de las pastillas deberán ser las siguientes:

Tamaño de muestra = 102 mm. de diámetro y la altura varia de acuerdo al grado de compactación.

Pistón de Compactación = Será plano y circular de 98.4 mm. correspondiente a un área de 76cm^2

Presión de Compactación = Deberá ser por impacto y con martillo Marshall, el cual cae a una altura libre de 457.2 mm. con un peso de 4536 grs.

El procedimiento Marshall estándar para la elaboración de mezclas se encuentra en la *AASHTO T 245 Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using the Marshall Apparatus*.

Para cada una de las muestras en estudio se deben de aplicar 75 golpes por cara, ya que la granulometría empleada es para una mezcla densa.



Figura 6.15: Fabricación de pastilla antes de la compactación

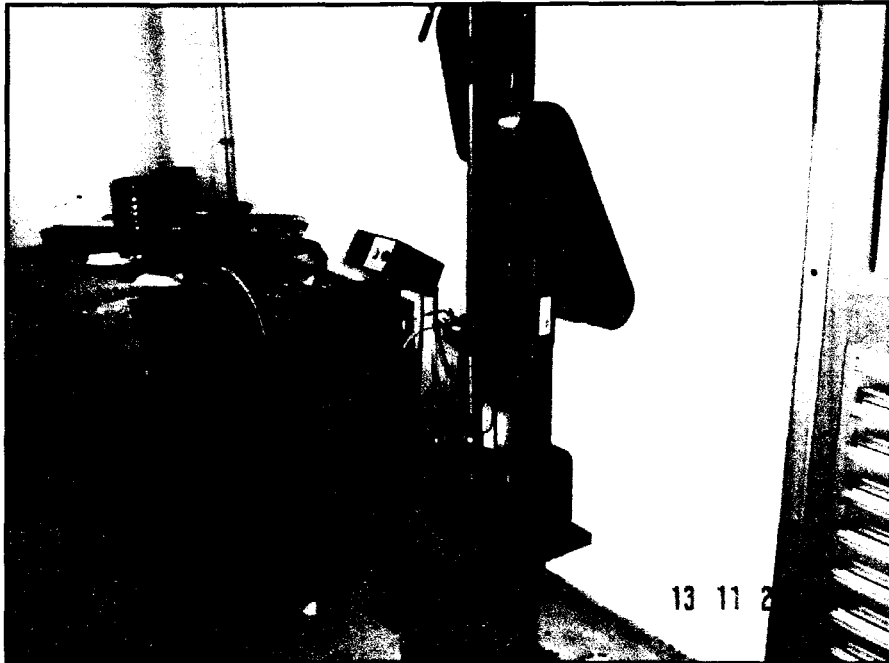


Figura 6.16: Compactación de pastilla en aparato Marshall.

B) Prueba de Estabilidad

La prueba de estabilidad indica el comportamiento de las diferentes mezclas asfálticas. Nos indica la carga máxima ensayada perimetralmente que soporta un espécimen a razón de 50.88 mm./min. Básicamente la carga se va incrementando hasta que logra su máximo que es donde se presenta la fractura del material y la carga comienza a descender. La lectura tomada en la celda de carga, se debe de corregir, por la altura promedio o volumen que presenta.



Figura 6.17: Aparato de Estabilidad para prueba de carga

Densidad Marshall (g/cm^3): Se define como la relación de peso entre volumen de una probeta Marshall:

Relación de Vacíos: (%): Se define como el espacio libre en una mezcla asfáltica ocupado por el aire. Se determina de acuerdo al porcentaje de vacíos que se requiera en la mezcla siguiendo el siguiente lineamiento.

Mezcla densa:	8 a 12% (Mezcla Objetivo para este trabajo.)
Mezclas semi-densas:	12 a 15%
Mezclas abiertas:	15 a 22%

Vacíos en el Agregado Mineral (VAM): Se define como los espacios libres ocupados por el aire en una granulometría dada, los cuales va a ser ocupados por el asfalto y los restantes contribuirán a la relación de vacíos. Para cada tipo de mezclas existen recomendaciones:

Mezclas densas:	13 a 15% (Mezcla Objetivo para este trabajo.)
Mezclas semi densas:	15 a 17%
Mezclas abiertas:	17 a 22%

Flujo Marshall (mm.): Se refiere a la distancia medida por la fuerza aplicada y la deformación que presenta la probeta Marshall. Este valor representa la deformación requerida para producir su fractura. Es un valor de la tendencia de la mezcla a alcanzar una condición plástica y consecuente mente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Con estos cinco parámetros se realiza el ensayo Marshall y para determinar el contenido óptimo de asfaltos se promedian los valores de los siguientes criterios:

Densidad Marshall: Se selecciona el porcentaje de asfalto con más alta densidad.

Estabilidad Marshall: Se selecciona el porcentaje de asfaltos con la más alta Estabilidad.

Relación de Vacíos: Se selecciona un porcentaje de asfaltos que se encuentre dentro de la relación de vacíos requerida dependiendo del tipo de granulometría en la mezcla.

Capítulo VII

Resultados y Discusión

Extracción de Hidrocarburo del suelo.

Se obtuvieron dos muestras de material contaminado para la extracción del hidrocarburo a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7.1: Valores iniciales de muestras tomadas para la extracción de hidrocarburos

Prueba Rotarex		
Datos	Extracto HC1	Extracto HC2
Peso Suelo Contaminado (grs.)	608.03	596.8
Peso de Suelo sin Hidrocarburos (grs.)	480.11	463.97
Peso del Hidrocarburo (grs.)	127.92	132.83
Peso total del suelo (grs.)	482.67	465.41
Porcentaje de Hidrocarburos en la muestra (%)	26.50	28.54
Porcentaje promedio de Hidrocarburos en la muestra	27.52 %	

Se obtuvo el porcentaje promedio de hidrocarburo en la muestra, con el fin de saber que cantidad de material contaminado se tiene que agregar a las mezclas para completar el porcentaje de asfalto en cada una de ellas.

Resultados de estudios realizados al hidrocarburo:

Penetración a 25°C.

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, valor conocido como grado de penetración

Tabla 7.2: Valores de penetraciones en el hidrocarburo producto de la extracción del suelo contaminado.

Penetración (mm)			
Punto	HC1	HC2	Asfalto AC-20
1	109	106	63
2	109	106	62
3	110	110	63
4	106	108	63
Diferencias Máximas	4	4	1

Las diferencias máximas se obtienen a partir de la diferencia de los dos valores que se encuentre mas distanciados entre si y en caso de ser mayores a lo especificado por la norma el promedio de estos valores no podrá ser utilizado para la elaboración de cálculos con dichos valores, teniéndose que realizar la prueba nuevamente.

Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados de acuerdo al método de muestreo y prueba de materiales ***M-MMP-4-05-006/00*** de la ***SCT***.

Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados:

Vemos que el asfalto extraído del suelo se encuentra dentro de las diferencias permisibles en la siguiente tabla, para los valores de penetración de las dos mezclas, por lo que la prueba es aceptada y se puede proceder a realizar las pruebas al asfalto y los cálculos subsiguientes.

Tabla 7.3: Diferencia máximas permisibles de valores de penetración de asfalto en la misma muestra:

Unidades en $1 \times 10^{-1} \text{mm}$
Grados de Penetración.

Valor de la Penetración	Diferencias Permisibles
0-49	2
50-149	4
150-249	6
250 o mas	8

Fuente: SCT 2002

Punto de reblandecimiento de Anillo y Bola

Tabla 7.4: Valores de punto de reblandecimiento del hidrocarburo producto del material contaminado:

Punto de Reblandecimiento °C		
<u>HC 1</u>	<u>HC 2</u>	<u>Asfalto AC-20</u>
53.5	54.5	49

Índice de penetración de los materiales asfálticos.

De acuerdo a la Norma *NLT 181-88*, la formula para calcular el índice de penetración es la siguiente:

$$IP = \frac{20u - 300v}{u + 300v}$$

Donde:

$$u = \log. 4(t_{AB} - t_p)$$

$$v = \log. 800 - \log. P_t$$

t_{AB} = temperatura del punto de reblandecimiento anillo y bola en °C.

t_p = temperatura a la que se efectuó el estudio de penetración en °C.

P_t = Penetración a la temperatura t_p

Se realizaron los cálculos para las dos muestras de hidrocarburo en estudio esto con el fin de saber que tipo de asfalto es el que se esta trabajando.

Tabla 7.5: Resumen de resultado del hidrocarburo producto del suelo contaminado:

Datos	HC 1	HC 2
u	1.14	1.25
v	4.93	4.93
t _{ab} (°C)	53.5	54.5
t _p (°C)	25	25
Pt	108.5	107.25
Ip.	-0.983	-0.982

Este valor nos indica que como el Índice es menor que 1 se presenta un asfalto con susceptibilidad ante la temperatura, ricos en resinas y comportamiento algo viscoso.

Densidad o peso específico.

$$Sca = \frac{Wfa - Wf}{(Wfw - Wf) - (Wfaw - Wfa)} = \frac{Wa}{Ww}$$

Sca: Peso específico relativo o densidad del cemento asfáltico.

Wf: Peso del picnómetro, gramos.

Wfw: Peso del picnómetro lleno de agua, gramos.

Wfa: Es el peso del picnómetro con asfalto.

Wfaw: Es el peso del picnómetro con asfalto y agua, gramos.

Wa: Peso del picnómetro con asfalto contenido en el picnómetro, gramos.

Ww: Peso del agua destilada, en gramos, correspondiente a un volumen igual al de cemento asfáltico, ambos a 25 °C.

Tabla 7.6: Valores de peso específico de las dos muestras del hidrocarburo producto del material contaminado:

Densidad del producto asfáltico (g/cm³).		
Nomenclatura	HC 1	HC 2
<i>W_f</i>	31.97	29.22
<i>W_{fw}</i>	57.95	53.14
<i>W_{fa}</i>	47.45	44.78
<i>W_{faw}</i>	58.5	53.66
<i>S_{ca}</i>	1.037	1.035

Tabla 7.7: Valores de peso específico del hidrocarburo producto del material contaminado y del material AC-20:

Densidad del producto asfáltico (g/cm³).			
Nomenclatura	HC 1	HC 2	Asfalto AC-20
<i>S_{ca}</i>	1.037	1.035	1.025
Promedio	1.036		1.025

Las densidades en los materiales son similares pero es mayor en las muestras de hidrocarburo producto del suelo contaminado esto debido a que puede contener pequeñas fracciones de la parte pesadas que no se perdieron en el proceso de intemperización o bien algunas impurezas residuales que no se hayan podido perder completamente en el proceso de extracción.

Tipo de Suelo

Tabla 7.8: Resumen de resultados obtenidos de acuerdo al tipo de suelo:

	Suelo 1	Suelo 2	Promedio
Limite liquido (<i>L_I</i>)	53	51.8	52.4
Limite plástico (<i>L_p</i>)	24.6	22.7	23.65
Índice de plasticidad (<i>I_p</i>)	28.4	29.1	28.75
Contracción lineal	12.2%	11.9%	12.05%

De acuerdo a estos datos el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) clasifica este como una arcilla inorgánica con alta plasticidad (CH).

Granulometría del suelo.

Una vez retirado el hidrocarburo de la matriz del suelo se procedió a realizar la granulometría, esta fue la siguiente:

Tabla 7.9: Granulometría de el suelo producto del material contaminado:

Malla	% Pasa Muestra 1	% Pasa Muestra 2
3/8	100	100
4	96.09	95.92
10	84.86	85.94
20	66.10	68.89
40	49.04	53.47
60	38.50	43.49
100	24.26	27.97
200	14.96	17.68
Charola	0	0

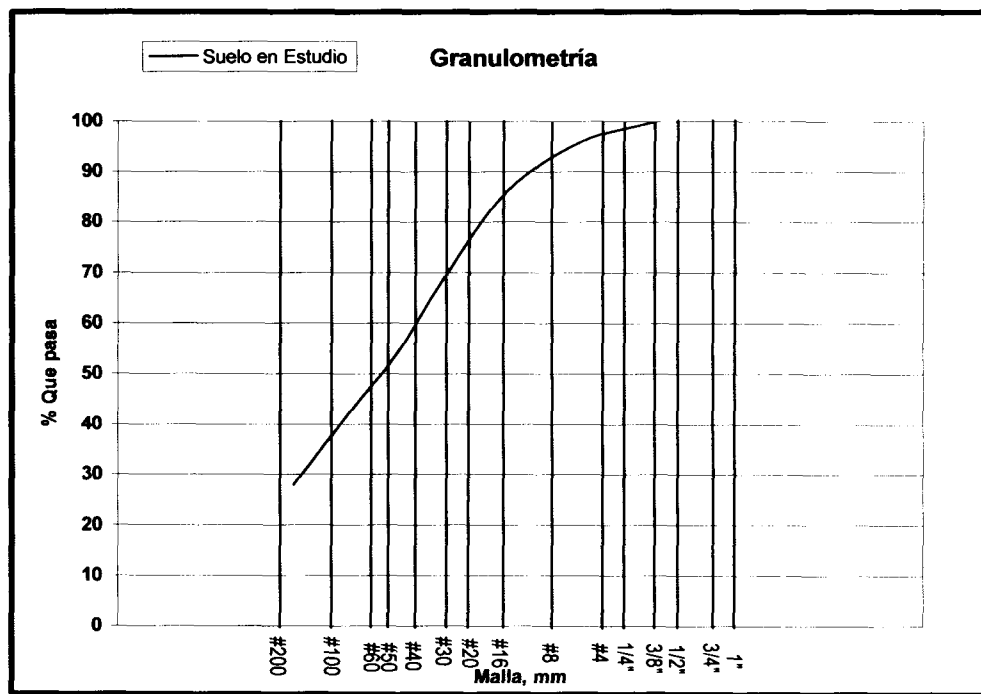


Figura 7.1: Granulometría de material pétreo y suelo en estudio.

Lixiviados en el material en estudio

Tabla 7.10 Resumen de resultados para la lixiviación que presenta el suelo y el hidrocarburo antes y después de realizada la mezcla.

Muestras		Lixiviado de Hidrocarburos
Muestra 1	Material Contaminado 100% S/A Pétreo	< 1 mg/L
Muestra 2	Material Contaminado 50% S/A Pétreo	< 1 mg/L
Asfalto AC-20	Mezcla con Asfalto AC-20 C/A Pétreo	< 1 mg/L
HIDROCRABURO100%	Mezcla con Mat. contaminado 100% C/A Pétreo	< 1 mg/L
Asfalto 50%	Mezcla con Mat. contaminado 50% C/A Pétreo	< 1 mg/L
Asfalto 75%	Mezcla con Mat. contaminado 25% C/A Pétreo	< 1 mg/L

Antes de realizada la mezcla el hidrocarburo se encuentra intemperizado por lo que es poco probable que contenga fracciones que presenten movilidad o propiedades de migración.

Una vez realizada la mezcla asfáltica el hidrocarburo casi en su totalidad, a pesar de haber sido sometido a temperaturas elevadas se adhiere al agregado pétreo por lo que ha sido inmovilizado y no presenta lixiviación.

Los resultados obtenidos en todos los casos presentaron una lixiviación menor a 1 mg/L tanto antes y después de realizada la mezcla asfáltica por lo que se puede asegurar que el contaminante no será fácilmente liberado una vez realizada la mezcla con esto se asegura que la técnica utilizada no altera el estado del contaminante sino simplemente lo remueve del sitio donde se encuentra y es utilizado como materia prima sin riesgo posterior.

Evaluación y Granulometría de los materiales pétreos.

La curva granulométrica del material utilizado es la de una granulometría densa y se muestra en la siguiente figura en esta misma figura se observa la granulometría del suelo en estudio:

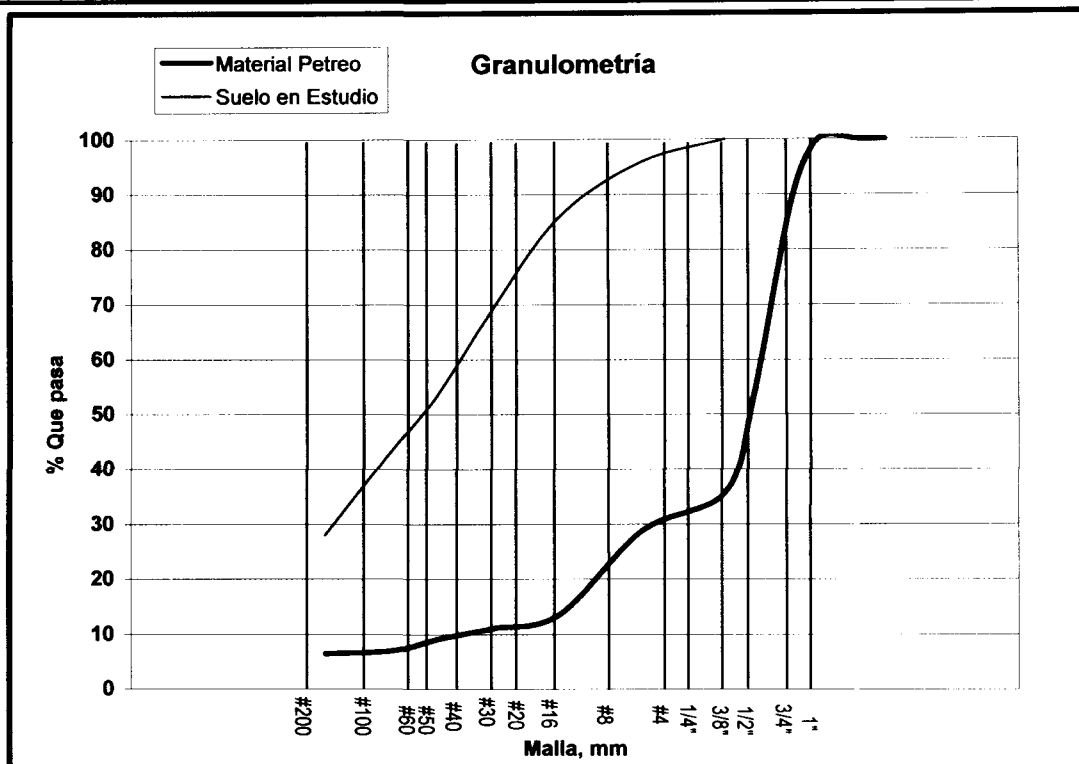


Figura 7.2: Granulometría de material pétreo y suelo en estudio.

La granulometría empleada de material pétreo calizo para el diseño Marshall fue la siguiente:

Tabla 7.11: Granulometría empleada para le diseño Marshall

Malla No.	% QUE PASA	Peso para 1200 (grs.)	Peso retenido acumulado (grs.)
3/4	100.0	0	0
1/2	100.0	0	0
3/8	89.3	128.4	128.4
1/4	53.0	435.6	564
4	35.8	206.4	770.4
8	28.8	84.36	854.76
30	13.6	182.304	1037.064
40	11.0	30.936	1068
50	9.1	22.56	1090.56
100	7.0	25.44	1116
200	6.4	7.2	1123.2
Pasa 200	3.29	76.8	1200
	Peso Total=	1200	

Resultados Diseño Marshall.

Mezcla con 100% Material Contaminado

HIDROCARBURO 100%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 100% contaminado es el siguiente:

Tabla 7.12: Contenido de material en las mezclas asfálticas elaboradas a partir de 100% suelo contaminado.

Marshall (g) = 1200g			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52%			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 100%		
	Asfalto AC-20 = 0%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto (g)
3.50%	42	152.61	0
4%	48	174.41	0
4.50%	54	196.21	0
5%	60	218.01	0
5.50%	66	239.81	0
6%	72	261.61	0

Estabilidad Marshall (kg):

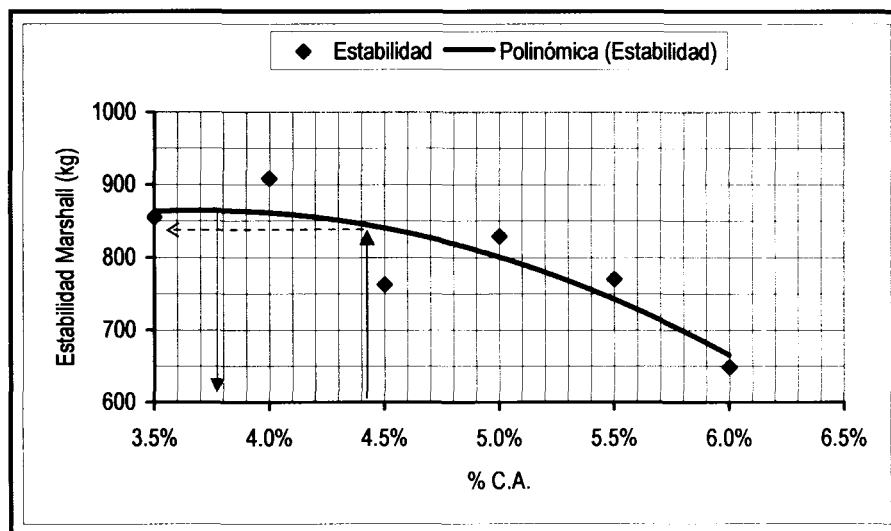


Figura 7.3: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Resumen de resultados de contenido optimo de Cemento Asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	5.85	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.58	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.72	%
Porcentaje promedio optimo de asfalto en la mezcla =	4.4	%

Resumen de resultados para la mezcla con 100% de material
contaminado

Contenido optimo de Asfalto =	4.4%
Densidad Aparente =	2.35 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	5%
Estabilidad =	845 Kg.
Flujo Marshall =	2.65 mm.
VAM =	14.6%

Mezcla con 50% Material Contaminado 50% Asfalto AC-20
Asfalto 50%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 50% contaminado y 50 % normal es el siguiente:

Tabla 7.13: Contenido de material en las mezclas asfálticas elaboradas a partir de 50% suelo contaminado y 50% suelo normal.

Marshall (grs.) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 50%		
	Asfalto AC-20 =50%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por Mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	76.30	21
4%	48	87.20	24
4.50%	54	98.11	27
5%	60	109.01	30
5.50%	66	119.91	33
6%	72	130.81	36

Estabilidad Marshall (kg):

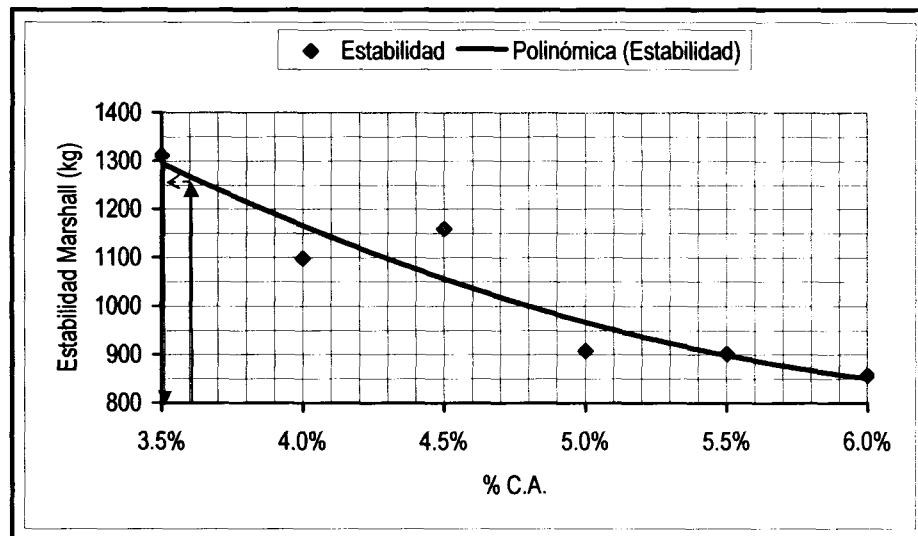


Figura 7.4: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	3.5	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.67	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje promedio optimo de asfalto en la mezcla =	3.6	%

Resumen de resultados para la mezcla con 50% material contaminado y
50% asfalto normal:

Contenido optimo de Asfalto =	3.6%
Densidad Aparente =	2.44 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	3.3%
Estabilidad Máxima =	1260 Kg.
Flujo Marshall =	2.29 mm.
VAM =	10.7%

25% Material Contaminado 75% Asfalto Normal

Asfalto 75%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 25% contaminado y 75 % normal es el siguiente:

Tabla 7.14: Contenido de material en las mezclas asfálticas para 25% suelo contaminado y 75% asfalto normal.

Marshall (g) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 25%		
	Asfalto AC-20 = 75%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	38.15	31.5
4%	48	43.60	36
4.50%	54	49.05	40.5
5%	60	54.50	45
5.50%	66	59.95	49.5
6%	72	65.40	54

Estabilidad Marshall (kg):

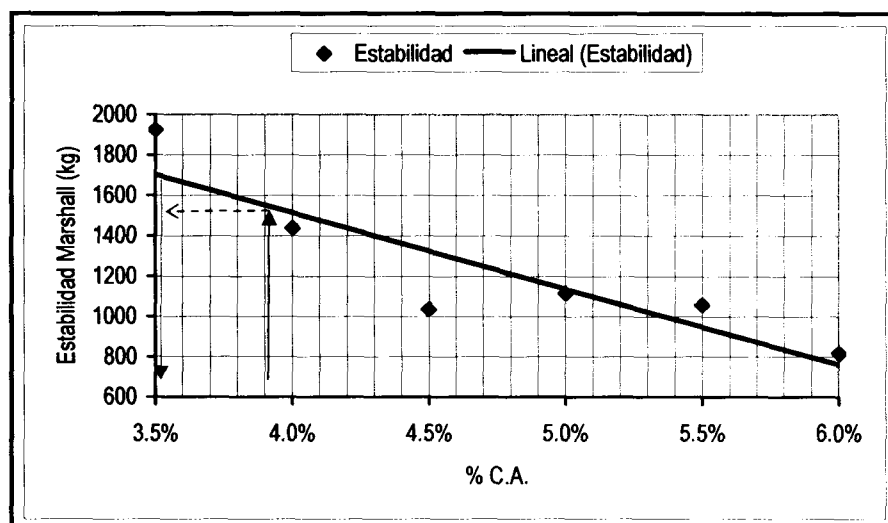


Figura 7.5: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	4.6	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.5	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje promedio optimo de asfalto en la mezcla=	3.9	%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico para le mezcla de 25% Suelo contaminado y 75% Asfalto normal.

Contenido optimo de Asfalto =	3.9%
Densidad Aparente =	2.65 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	1.9%
Estabilidad Máxima =	1520 Kg.
Flujo Marshall =	2.19 mm.
VAM =	11.6%

100% Asfalto Normal

Asfalto AC-20

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 100 % normal es el siguiente:

Tabla 7.15: Contenido de material en las mezclas asfálticas para 25% suelo contaminado y 75% asfalto normal.

Marshall (g) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 25%		
	Asfalto AC-20 = 75%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	0	42
4%	48	0	48
4.50%	54	0	54
5%	60	0	60
5.50%	66	0	66
6%	72	0	72

Estabilidad Marshall (kg):

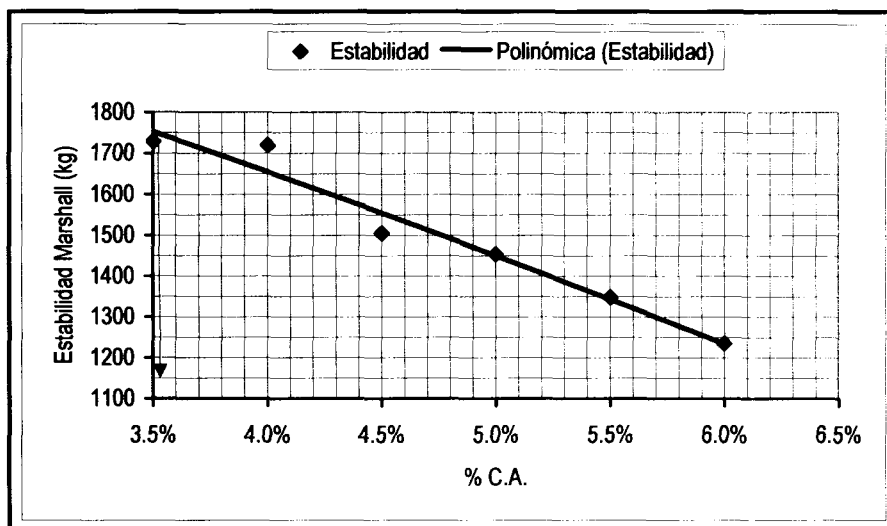


Figura 7.6: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	4.6	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.5	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje promedio optimo de asfalto en la mezcla =	3.9	%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico para la mezcla con 100% Asfalto Normal AC-20

Contenido optimo de Asfalto =	3.5%
Densidad Aparente =	2.42 g/cm ³
Vacíos en la mezcla =	3.5%
Estabilidad Máxima	1750 Kg.
Flujo Marshall =	3.7 mm.
VAM =	11.3%

Con los resultados obtenidos de los ensayos y de un análisis de los mismos se obtendrán las conclusiones y recomendaciones de las cuales se podrá hacer un cuadro de decisiones a partir del cual se podrá realizar trabajos futuros en cuanto al uso de un suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados para la realización de mezclas asfálticas.

A continuación se presenta el resumen de resultados de acuerdo a las diferentes proporciones de las mezclas asfálticas:

Tabla 7.16.- Resumen de resultados de acuerdo a diferentes mezclas asfálticas.

	Asfalto AC-20	Asfalto 75%	Asfalto 50%	Hidrocarburo 100%
Contenido Optimo de Asfalto =	3.5%	3.90%	3.6%	4.40%
Densidad Aparente =	2.42 g/cm ³	2.65 g/cm ³	2.44 g/cm ³	2.35 g/cm ³
Vacíos en la mezcla =	3.5%	1.90%	3.3%	5%
Estabilidad Máxima	1750 Kg.	1520 Kg.	1260 Kg.	845 Kg.
Flujo Marshall =	3.7 mm.	2.19 mm.	2.29 mm.	2.65 mm.
VAM =	11.3%	11.60%	10.7%	14.60%

Estos resultados se analizaron de acuerdo a diversas normas que rigen el comportamiento de estas carpetas se analizaran a continuación cada una de ellas con respecto a los resultados obtenidos.

N-CMT-4-05-003/02 Norma Oficial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Tabla 7.9.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa diseñadas mediante el método Marshall de acuerdo a SCT

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación: número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad N (lb.). mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo. mm (10^{-2} in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3.5 (8 - 14)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC). %	3 - 5	3 - 5
Vacios ocupados por el asfalto (VFA) %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8.2 t (ESAL) esperado durante la vida útil del pavimento
 [2] Para transitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8.2 t se requiere un diseño especial de la mezcla

Fuente: N-CMT-4-05-003/02 SCT 2002

De acuerdo a esta norma la estabilidad mínima necesaria para que una mezcla asfáltica pueda ser utilizada en carreteras es de 1800 lb. o 816.3 Kg.

De acuerdo a nuestros datos todas las carpetas elaboradas cumplen con los requisitos de diseño para la SCT en lo que se refiere a estabilidad por lo que se pueden utilizar en la construcción de carreteras.

AASHTO T-245; ASTM D-1559 Especificaciones para carpetas y bases asfálticas elaboradas por el procedimiento Marshall

Tabla 7.10.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa diseñadas mediante el método Marshall de acuerdo a AASHTO

CARACTERISTICAS	USO DEL CONCRETO ASFALTICO	CARRETERAS		AEROPISTAS
		HASTA 2000 VEHICULOS PESADOS	MAS DE 2000 VEHICULOS PESADOS	
NUMERO DE GOLPES POR CARA		50	75	75
ESTABILIDAD MINIMA (kg)	<i>Para carpetas y/o bases asfálticas, capas de re-nivelación y bacheo</i>	450	700	700
FLUJO (mm.)	<i>Para carpetas y/o bases asfálticas, capas de re-nivelación y bacheo</i>	2 - 4.5	2 - 4.	2 - 4.
POR CIENTO DE VACIOS (%) EN MEZCLA RESPECTO AL VOLUMEN DEL ESPECIMEN.	<i>Para carpetas asfálticas y mezclas de re-nivelación</i>	3 - 5.	3 - 5.	3 - 5.
	<i>Para bases asfálticas</i>	3 - 8.	3 - 8.	3 - 8.

Fuente: Procedimiento AASHTO T-245

Se observa que todas las mezclas asfálticas elaboradas con el material en estudio, en todas sus diferentes proporciones, presentan estabilidades aceptables y superiores a las especificadas de acuerdo a los dos reglamentos **AASHTO y ASTM** por lo que a partir de este se pueden realizar las mezclas aprovechando el recurso como materia prima.

ASPHALT INSTITUTE 2002

Tabla 7.11.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa diseñadas mediante el método Marshall de acuerdo a Asphalt Institute

Criterios para la mezcla	Trafico ligero < 10 ⁴ Ejes Equivalentes		Trafico Medio 10 ⁴ -10 ⁶ Ejes Equivalentes		Trafico Pesado > 10 ⁶ Ejes Equivalentes	
	Min.	Máx..	Min.	Máx..	Min.	Máx..
Numero de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad (mínima)	226.75 kg (500 lb.)		340.12 kg (750 lb.)		680.25 kg (1500 lb.)	
Flujo (mm.)	2	8	2	8	2	8
Porcentaje de Vacíos %	3	5	3	5	3	5

Vemos que para el Instituto del Asfalto también se cumplen las condiciones mínimas de diseño de una mezcla asfáltica para tráfico pesado con el material que se cuenta ya que la estabilidad mínima requerida es de 680.25 Kg. y se logra una estabilidad en la mezcla de 100% material contaminado de 845Kg.

Calculo económico de aplicación de carpeta asfáltica

Se desarrollo una comparación para determinar la factibilidad económica del uso de las carpetas desarrolladas en este trabajo, comparándola contra una elaborada a partir de materiales no contaminados.

Costo para realizar un m³ de mezcla asfáltica en caliente con Asfalto AC-20.

Descripción	Cantidad	Unidad	P. U.	Total
Carpeta de concreto asfáltico, compactada al 95%, por unidad de obra terminada	m3	1.00	1,236.54	1,236.54
Materiales				
Material carpeta (pétreos de 3/4" a finos)	1.8000	m ³	\$ 250.00	\$ 450.00
Asfalto AC-20 (modificado con polímeros SBS al 3% en vol.)	115	kg.	\$ 2.28	\$ 262.20
Maquinaria			Suma =	\$ 712.20
Barredora mecánica	0.14815	hr.	\$157.71	\$ 23.36
Petrolizadora 6000 L	0.14815	hr.	\$286.39	\$ 42.43
Planta de asfalto (dosificador para concreto Asfáltico)	0.10000	hr.	\$2,749.74	\$ 274.97
Pavimentador BG (Barber Green, mod. SB-131)	0.14815	hr.	\$ 571.00	\$84.59
Compactador vibro	0.14815	hr.	\$ 357.41	\$ 52.95
Camión volteo 14 m ³	0.14815	hr.	\$ 310.69	\$ 46.03
			Suma =	\$ 524.34

COSTO DIRECTO = \$1,236.54

Costo para realizar un m³ de mezcla asfáltica en caliente con material producto del suelo contaminado.

Descripción.	Cantidad	Unidad	P. U.	Total
Carpeta de concreto asfáltico, compactada al 95%, por unidad de obra terminada	m3	1.00	974.34	974.34
Materiales				
Material carpeta (pétreos de 3/4" a finos)	1.80	m ³	\$250.00	\$450.00
Material Contaminado con Hidrocarburos Intemperizados	115	kg.	\$ 0.0	\$ 0.0
Maquinaria			Suma =	\$450.00
Barredora mecánica	0.14815	hr	\$157.71	\$ 23.36
Petrolizadora 6000 L	0.14815	hr	\$ 286.39	\$ 42.43
Planta de asfalto (dosificador para concreto Asfáltico)	0.10000	hr	\$2,749.74	\$274.97
Pavimentador BG (Barber Green, mod. SB-131)	0.14815	hr	\$ 571.00	\$ 84.59
Compactador vibro	0.14815	hr	\$ 357.41	\$ 52.95
Camión volteo 14 m ³	0.14815	hr	\$ 310.69	\$ 46.03
			Suma =	\$524.34

COSTO DIRECTO = \$974.34

El ahorro por m³ de carpeta es de \$ 262.20 lo que es un 21.2% del valor de una carpeta en estado normal, esta comparación se realizo considerando que el material contaminado se le otorgaría sin cargo alguna a la planta productora de la mezcla asfáltica.

CAPITULO VIII

Conclusiones y Recomendaciones

El método de reciclaje de asfaltos puede ser una alternativa a la disposición del material en estudio.

Las carpetas resultantes de la utilización de este material con las condiciones que se presentan en este estudio, se encuentra dentro de los valores permisibles por las normas que rigen la materia de carpetas asfálticas en la actualidad.

El uso de esta tecnología no aumenta la movilidad del contaminante ya que en todos los casos es menor a 1 mg /L, y es una alternativa para recuperar el material en el suelo y darle un uso adecuado a los recursos.

Las ventajas principales del uso de esta tecnología serian:

- Viabilidad de limpiar un sitio contaminado si el material contaminado cumple con las condiciones deseadas, utilizándolo como recurso en vez de disponerlo o destruirlo.
- El producto final obtenido es un material que puede ser utilizado en beneficio de la comunidad con la construcción de caminos.
- El proceso de extracción y colocación puede ser rápido ya que solo requiere de agregado pétreo y equipo para la mezcla y colocación final del material.
- Minimiza el transporte de suelos contaminados, para su disposición final o la generación de emisiones a la hora de utilizar técnicas de incineración.

Esta técnica comparada con otras tecnologías de remediación presenta grandes ventajas, ya que por lo general las tecnologías empleadas para la remediación de estos suelos contaminados requiere de la disposición o destrucción de el contaminante, y en nuestro caso se aprovecha el material que no esta siendo utilizado para el desarrollo de una comunidad o la limpieza de un sitio que presenta condiciones adversas hacia el medio ambiente.

Otra de las ventajas, que se presenta es la viabilidad económica al momento de realizar la mezcla con el material producto del suelo contaminado ay que representa un ahorro para la planta dosificadora de asfalto. Sin embargo, se tiene que considerar la distancia a la que van a ser transportados los materiales ya que esa viabilidad económica disminuiría conforme el punto donde se utilizar el material se incrementa.

Cabe mencionar que el uso de esta técnica dio resultados bajo las condiciones estrictas de este tipo de material, por lo que no se puede asegurar que se puede aplicar para cualquier tipo de suelo. Sin embargo, se puede seguir la metodología empleada para determinar la factibilidad de uso de otro suelo que presente distintas condiciones a las presentadas en este trabajo.

Habría que realizar en futuros trabajos pruebas con material a mayores profundidades ya que en este solo se utilizo el material de la capa superior de 30 a 40 cm. ya que el objetivo era analizar las propiedades de los hidrocarburos intemperizados y a mayores profundidades se presentaban otras condiciones distintas.

El impacto de emisiones a la atmósfera tendría que ser evaluado ya que al momento de realizar la mezcla se incrementa la volatilización de algunos de los compuestos del material.

REFERENCIAS

Asphalt Institute 1989, The Asphalt Handbook, Lexington

Asphalt Institute. (1997). Mix Design Methods for Asphalt, 6th Ed.,
Asphalt Institute. Lexington, KY

Bannon Frank O, Lori F. Kaplan. TPH Endpoints in Soils, Indiana
Department of Environmental Management.

Calabrese Edward J., Kostecki Paul T, 1993, Principles and Practices for
Petroleum Contaminated Soils Lewis Publisher

Cole G Mattney, 1994, Assessment and Remediation of Petroleum
Contaminated Sites Lewis Publisher, 1st Edition

Cortinas, C. y Mosler, Situación actual de los residuos peligrosos,
Gestión de Residuos Peligrosos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Crespo, 1998, Vías de Comunicación, Ed. Limusa 3ra. Edición

Eweis J.B.; Ergas S.J.; Chang D.P y Schroeder, 1998, Bioremediation
Principles. McGraw-Hill, International Editions.

Fdz. Canovas, 1990, Materiales Bituminosos, Ingenieros de Caminos,
Canales y puertos. Madrid, Esp. Rugarte S.L.

Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon
Contaminated Sites in New Zealand, 1999, Hydrocarbon Contamination
Fundamentals, Module 2, Ministry for the Environment ,

Horsak Randy D, Klopp, Cleaning and Remediation of Contaminated
Sites: A Cost- Effective Approach, 3TM International, Inc

Hunter London, Telford; Reson, Asphalts in Road Construction, ASCE
Press, 2000

Informe Anual PEMEX-1999, 2001, 2002

Kandhal, Shridhar, 1995, Performance of Recycled hot mix asphalt.
National Center of Asphalt Technology and Donald E. Watson, Brad Young,
Georgia Department of Transportation.

Kraemer Carlos, Morilla Abad, del Val Miguel, Carreteras II, Colección
Escuelas Madrid 1999

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 2001
NOM-EM-138-ECOL-2002.
NOM-052-SEMARNAT-1993
NOM-053-SEMARNAT-1993

Olivera Fernando 1998, Estructura de Vías Terrestres Ed. CECSA, 2da Edición.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. 2002. Dirección General de Inspección de Fuentes de Contaminación, México.
<http://www.profepa.gob.mx/>

Rendón Valdez, 1996 Contaminación de un suelo por plomo, Tesis de Maestría. División de Ingeniería y Arquitectura, ITESM

Rivera, 1990 Reciclado de pavimentos en frío, Ed. Alfa Omega

Roberts, Kandhal, Brown, Lee, and Kennedy, (1996), Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction.

Russell Boulding 1994, Description and sampling of contaminated soils Lewis, 2nd edition Boca Raton

Saval, B.S. 1995. Acciones para la Remediación de Suelos en México. Segundo Mini-Simposium Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.

Steuteville Robert, 1994 Paving with recycled asphalt, Biocycle

Yen and Chilingarian, 1994, Asphaltenes and Asphalts, Amsterdam; New York: Elsevier Science.

Yerushalmi Laleh, Rochelau Sylvie, Cimpoiu Ruxandra, Sarrazin Manon, et al 2003, Enhanced Biodegradation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils, Bioremediation Journal, Biotechnology Research Institute.

ANEXOS

Anexo 1 Resultados Diseño Marshall.

Mezcla con 100% Material Contaminado

HIDROCARBURO 100%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 100% contaminado es el siguiente:

Tabla 7.9: Contenido de material en las mezclas asfálticas elaboradas a partir de 100% suelo contaminado.

Marshall (g) = 1200grs			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52%			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 100%		
	Asfalto AC-20 = 0%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto (g)
3.50%	42	152.61	0
4%	48	174.41	0
4.50%	54	196.21	0
5%	60	218.01	0
5.50%	66	239.81	0
6%	72	261.61	0

Densidad Aparente (g/cm³).

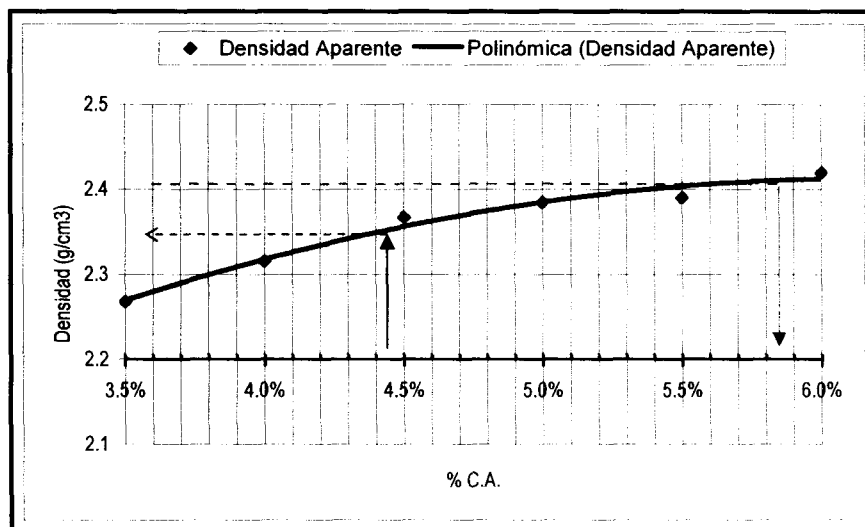


Figura 7.9: Comportamiento de la densidad aparente de la mezcla

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Densidad Aparente: 5.85%

Vacios en la Mezcla %:

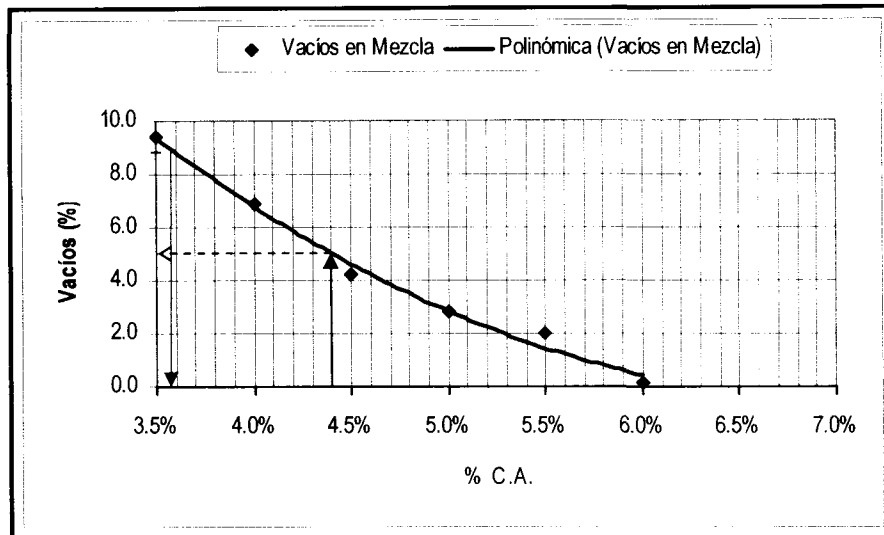


Figura 7.10: Porcentaje de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo al % Vacíos en la mezcla para mezclas densas: 3.58%

Estabilidad Marshall (kg):

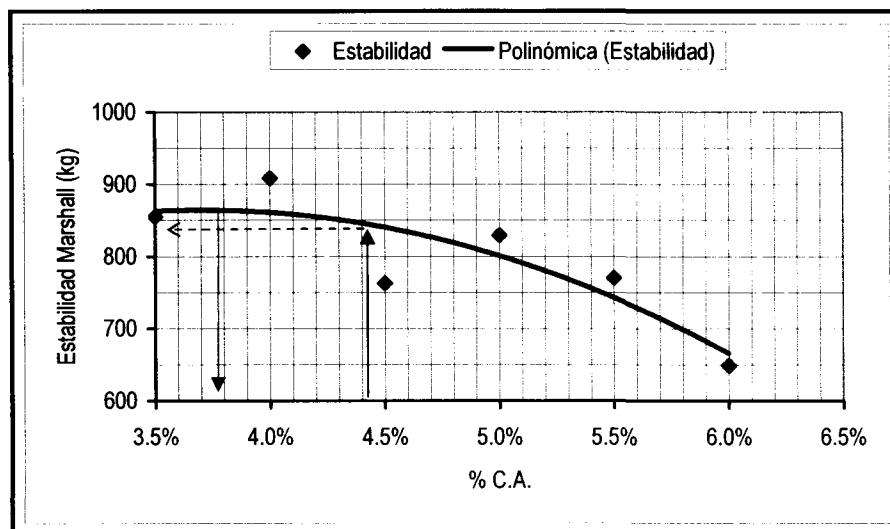


Figura 7.11: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Estabilidad Máxima alcanzada (kg): 3.72%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	5.85	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.58	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.72	%
Porcentaje Promedio de los anteriores =	4.4	%

Flujo Marshall

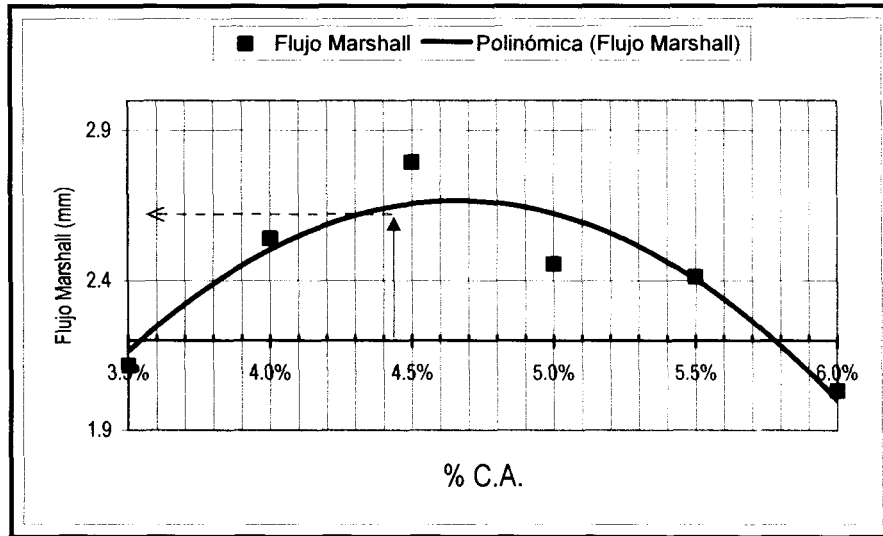


Figura 7.12. Flujo Marshall para la mezcla.

A partir del Contenido Optimo de Asfalto de 4.4 % el flujo = 2.65mm:

Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

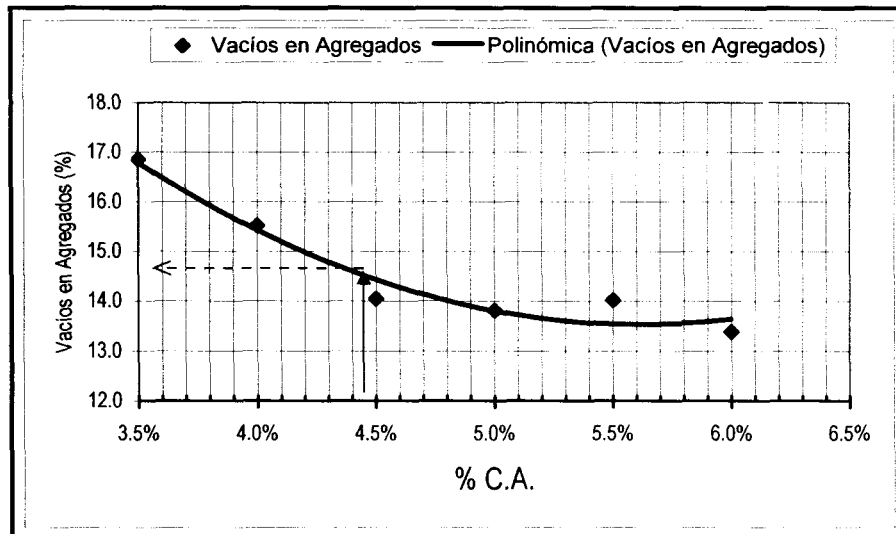


Figura 7.13: % Vacíos en los Agregados de la mezcla.

A partir del contenido optimo de asfalto de 4.4 % el VAM = 14.6%

Resumen de resultados para la mezcla con 100% de material contaminado

Contenido optimo de Asfalto =	4.4%
Densidad Aparente =	2.35 g/cm³
Vacios en la mezcla =	5%
Estabilidad =	845 kg.
Flujo Marshall =	2.65 mm.
VAM =	14.6%

Mezcla con 50% Material Contaminado 50% Asfalto Normal

Asfalto 50%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 50% contaminado y 50 % normal es el siguiente:

Tabla 7.11: Contenido de material en las mezclas asfálticas elaboradas a partir de 50% suelo contaminado y 50% suelo normal.

Marshall (g) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 50%		
	Asfalto AC-20 =50%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por Mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	76.30	21
4%	48	87.20	24
4.50%	54	98.11	27
5%	60	109.01	30
5.50%	66	119.91	33
6%	72	130.81	36

Densidad Aparente (g/cm³).

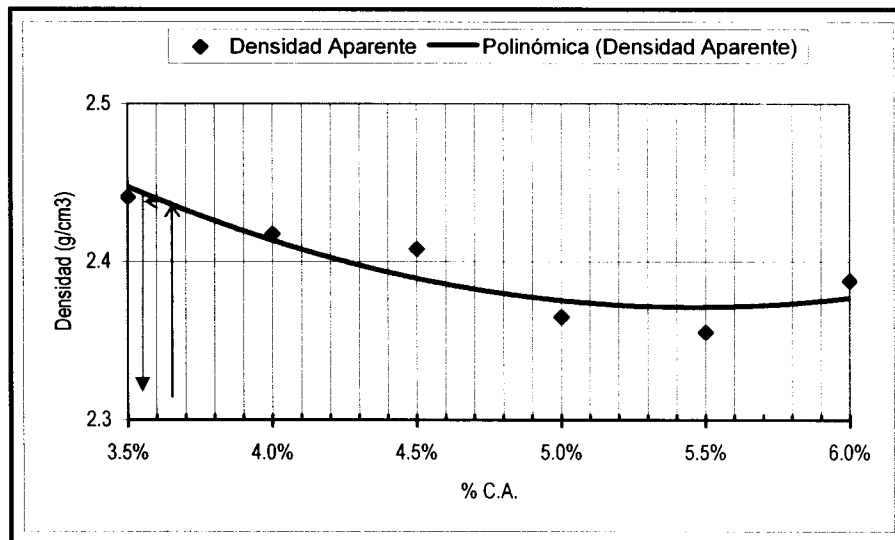


Figura 7.14: Comportamiento de la densidad Aparente de la mezcla

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Densidad Máxima Aparente:

3.5%

Vacios en la Mezcla %:

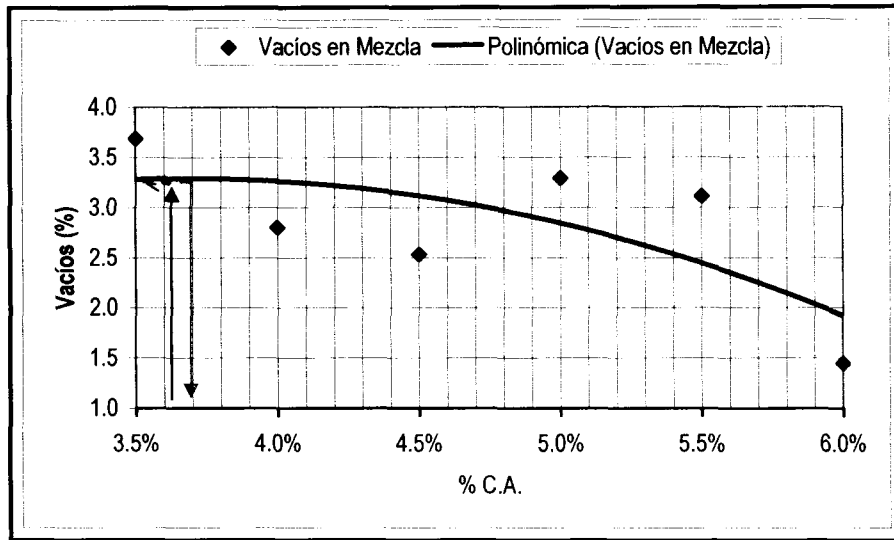


Figura 7.15: Porcentaje de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo al % Vacíos en la mezcla para mezclas densas: 3.67%

Estabilidad Marshall (kg):

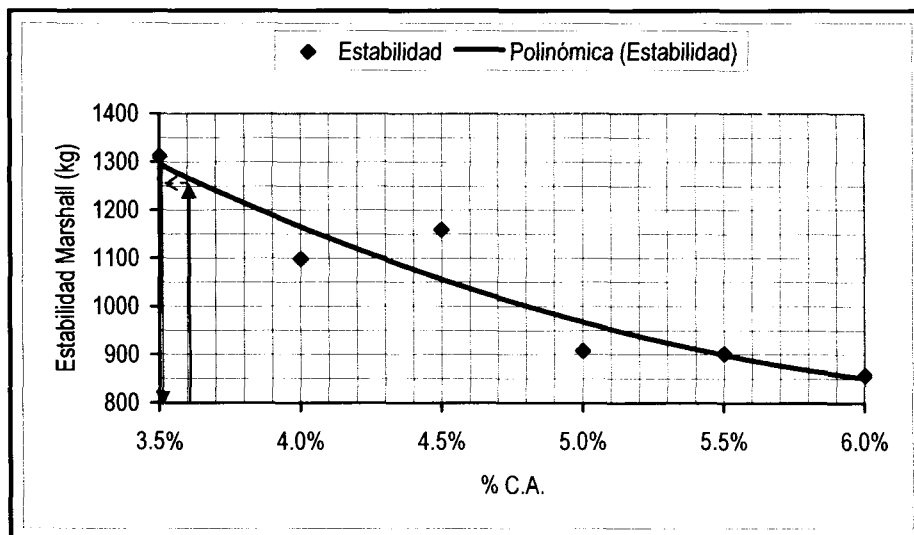


Figura 7.16: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Estabilidad Máxima alcanzada (kg): 3.5%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	3.5	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.67	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje Promedio de los anteriores =	3.6	%

Flujo Marshall

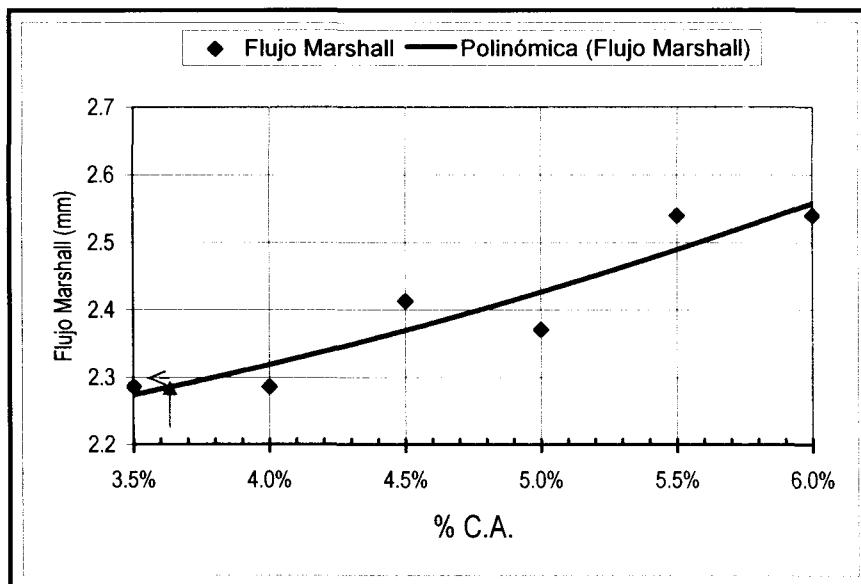


Figura 7.17: Flujo Marshall para la mezcla.

A partir del Contenido Optimo de Asfalto de 4.2 % el flujo = 2.28mm:

Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

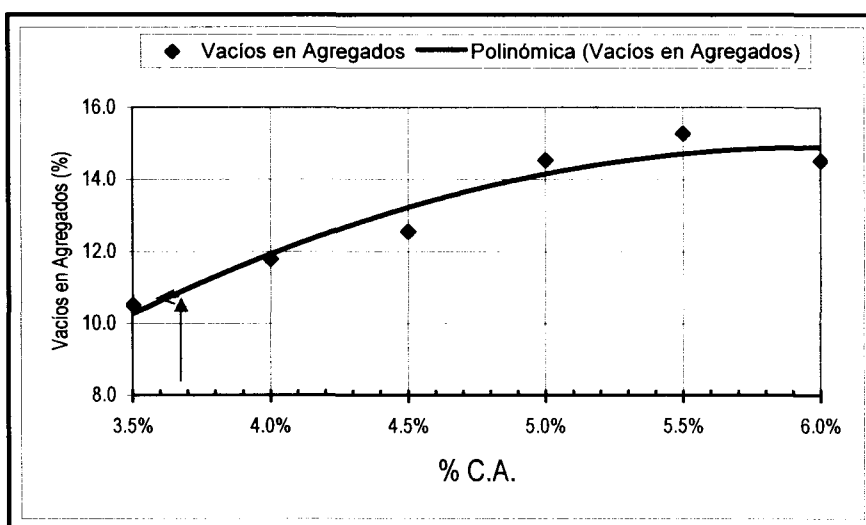


Figura 7.18: % Vacíos en los Agregados de la mezcla

A partir del contenido optimo de asfalto de 4.2 % el VAM = 10.5%

Resumen de resultados para la mezcla con 50% material contaminado y 50% asfalto normal:

Contenido optimo de Asfalto =	3.6%
Densidad Aparente =	2.44 g/cm³
Vacios en la mezcla =	3.3%
Estabilidad Máxima =	1260 kg.
Flujo Marshall =	2.29 mm.
VAM =	10.7%

25% Material Contaminado 75% Asfalto Normal

Asfalto 75%

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 25% contaminado y 75 % normal es el siguiente:

Tabla 7.11: Contenido de material en las mezclas asfálticas para 25% suelo contaminado y 75% asfalto normal.

Marshall (g) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 25%		
	Asfalto AC-20 = 75%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	38.15	31.5
4%	48	43.60	36
4.50%	54	49.05	40.5
5%	60	54.50	45
5.50%	66	59.95	49.5
6%	72	65.40	54

Densidad Aparente (g/cm³).

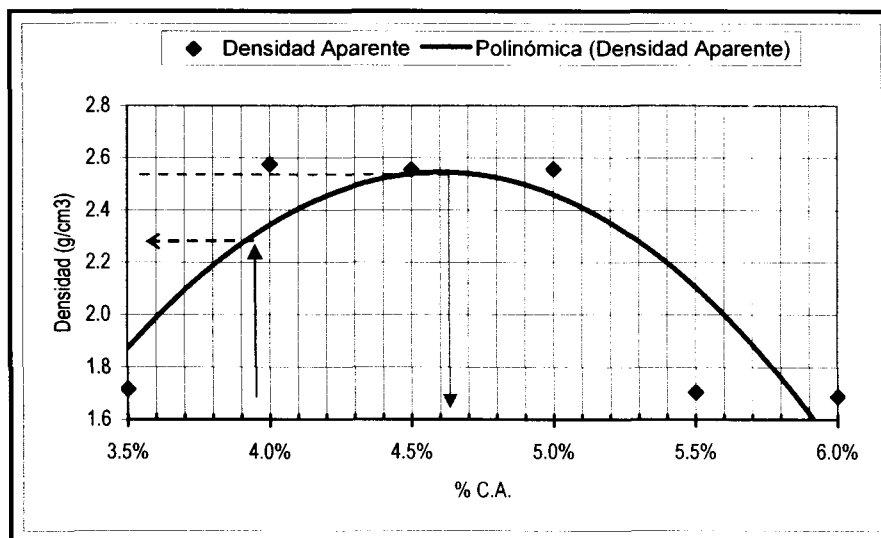


Figura 7.19: Comportamiento de la densidad Aparente de la mezcla

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Densidad Máxima Aparente:

4.6%

Vacios en la Mezcla %:

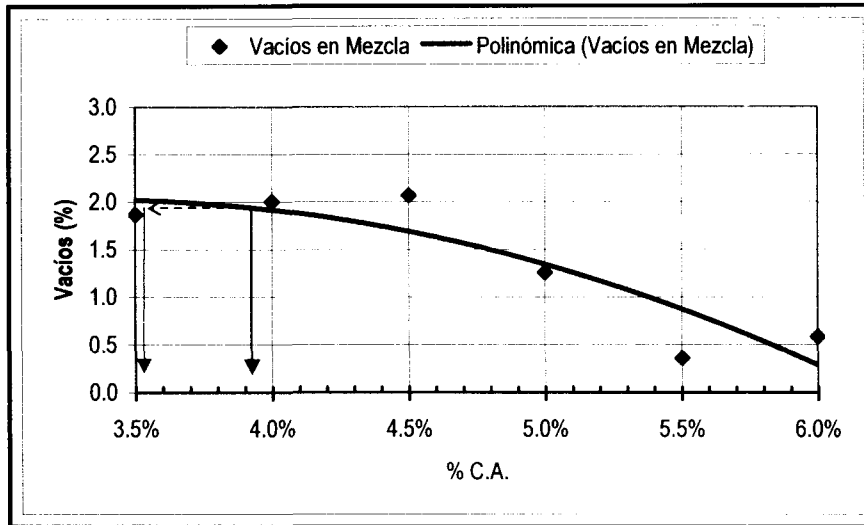


Figura 7.20: Porcentaje de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo al % Vacíos en la mezcla para mezclas densas: 3.5%

Estabilidad Marshall (kg):

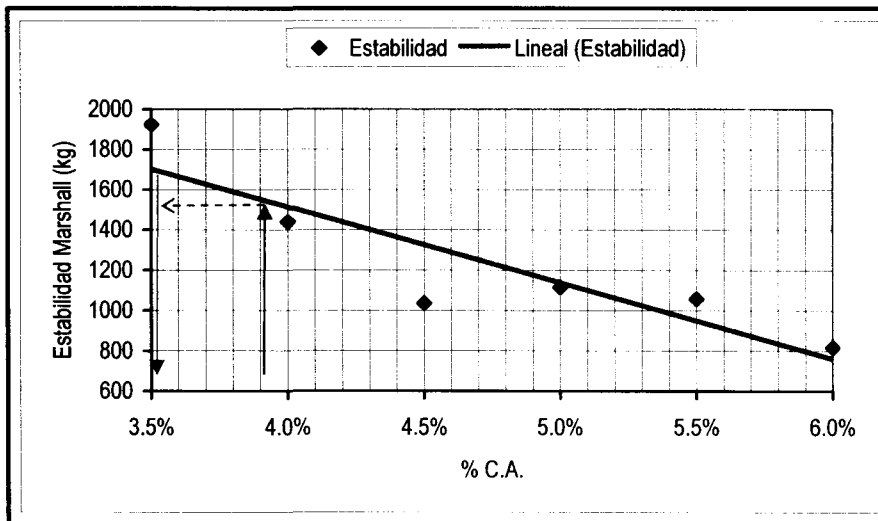


Figura 7.21: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Estabilidad Máxima alcanzada (kg): 3.5%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	4.6	%
Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla =	3.5	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje Promedio de los anteriores =	3.9	%

Flujo Marshall

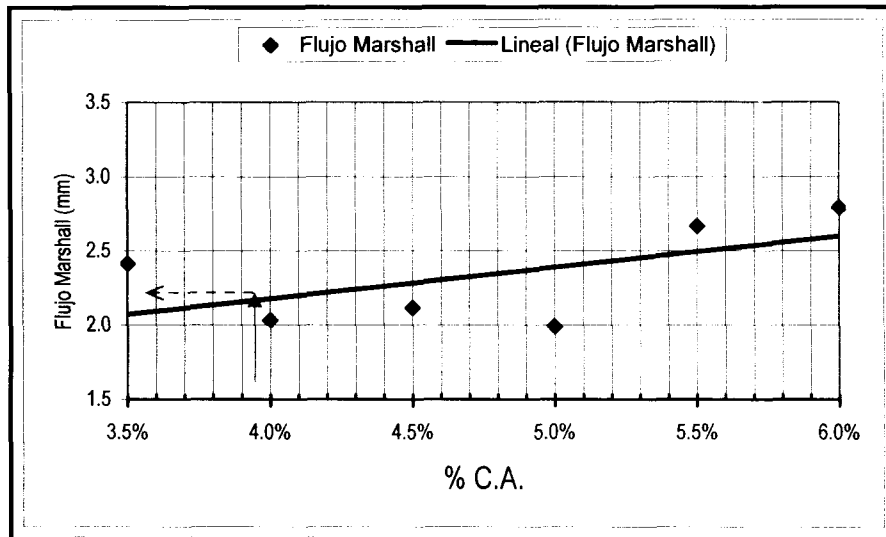


Figura 7.22: Flujo Marshall para la mezcla.

A partir del Contenido Optimo de Asfalto de 4.2 % el flujo = 2.37mm:

Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

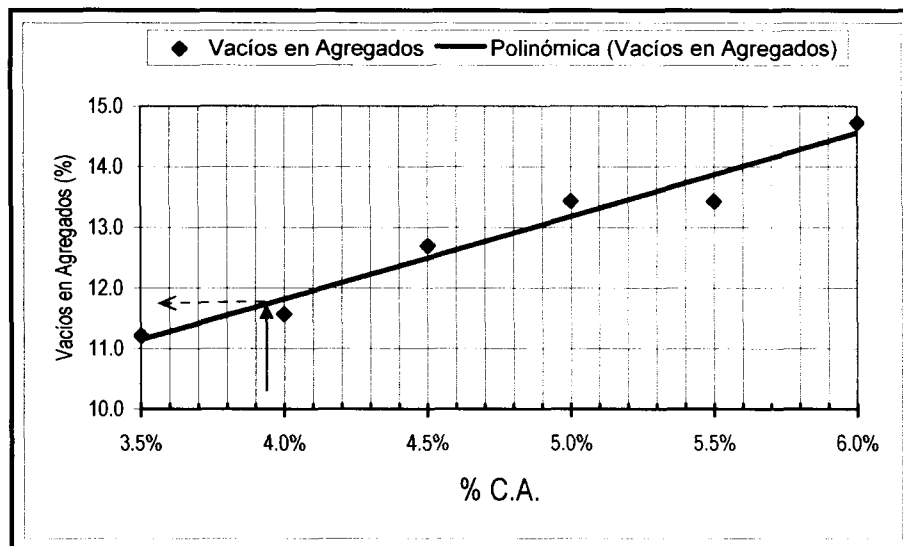


Figura 7.23: % Vacíos en los Agregados de la mezcla

A partir del contenido optimo de asfalto de 4.2 % el VAM = 8.5%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico para le mezcla de 25% Suelo contaminado y 75% Asfalto normal.

Contenido optimo de Asfalto =	3.9%
Densidad Aparente =	2.65 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	1.9%
Estabilidad Maxima=	1520 kg.
Flujo Marshall =	2.19 mm.
VAM =	11.6%

100% Asfalto Normal
Asfalto AC-20

El porcentaje de material utilizado para realizar la mezcla con material 100 % normal es el siguiente:

Tabla 7.12: Contenido de material en las mezclas asfálticas para 25% suelo contaminado y 75% asfalto normal.

Marshall (g) = 1200			
% Hidrocarburos en el suelo = 27.52			
Contenido de Material.	Material Contaminado = 25%		
	Asfalto AC-20 = 75%		
Porcentaje de Asfalto	Contenido de Asfalto por mezcla (g)	Material Contaminado (g)	Asfalto AC-20 (g)
3.50%	42	0	42
4%	48	0	48
4.50%	54	0	54
5%	60	0	60
5.50%	66	0	66
6%	72	0	72

Densidad Aparente (g/cm³).

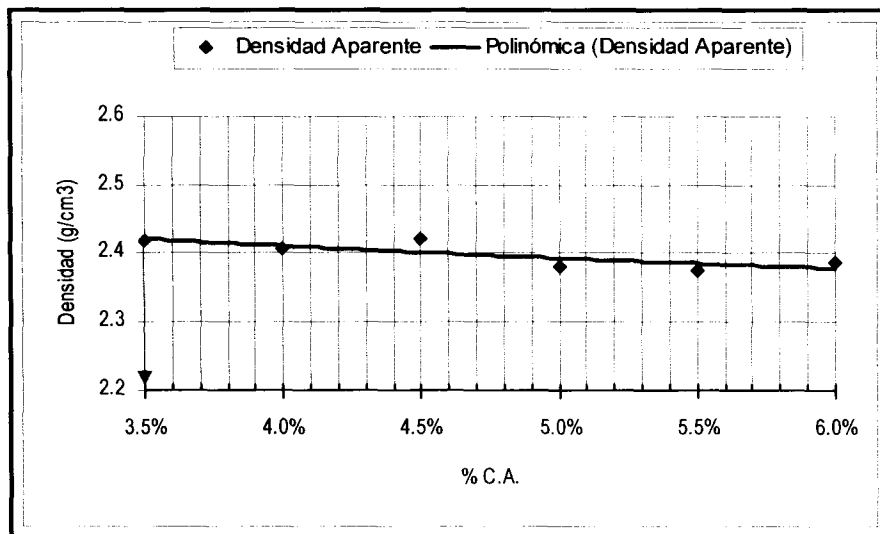


Figura 7.24: Comportamiento de la densidad Aparente de la mezcla

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Densidad Máxima Aparente:

3.5%

Vacios en la Mezcla %:

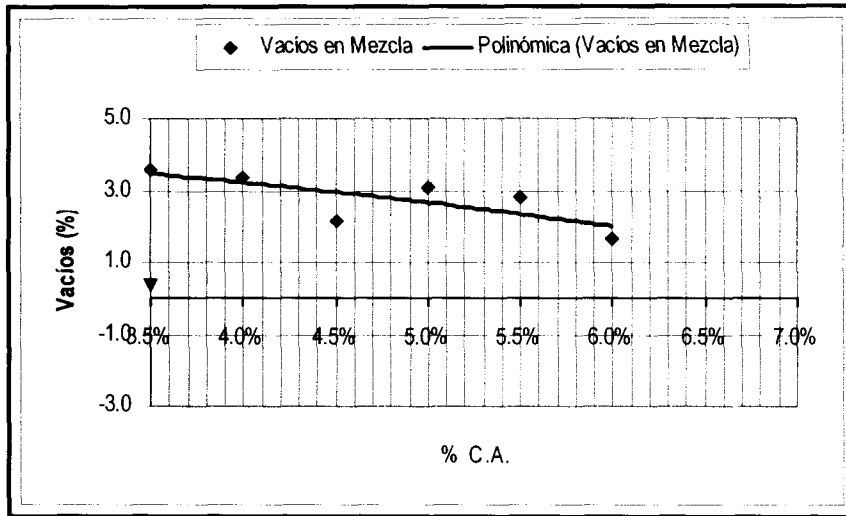


Figura 7.25: Porcentaje de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo al % Vacíos en la mezcla para mezclas densas: 3.5%

Estabilidad Marshall (kg):

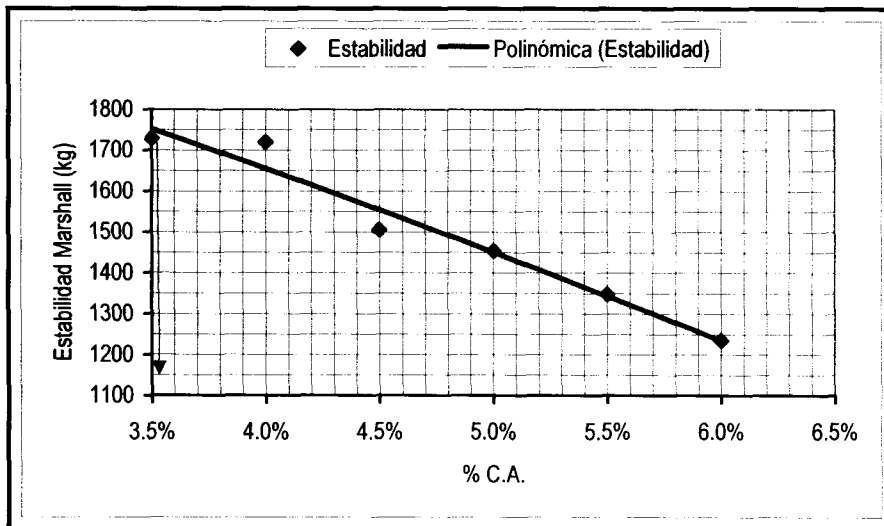


Figura 7.21: Comportamiento de la Estabilidad Marshall.

Contenido Optimo de Asfalto de acuerdo a la Estabilidad Máxima alcanzada (kg): 3.5%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico:

Porcentaje de CA por Densidad Aparente =	4.6	%
Porcentaje de CA por Vacios en Mezcla =	3.5	%
Porcentaje de CA por Estabilidad =	3.5	%
Porcentaje Promedio de los anteriores =	3.9	%

Flujo Marshall

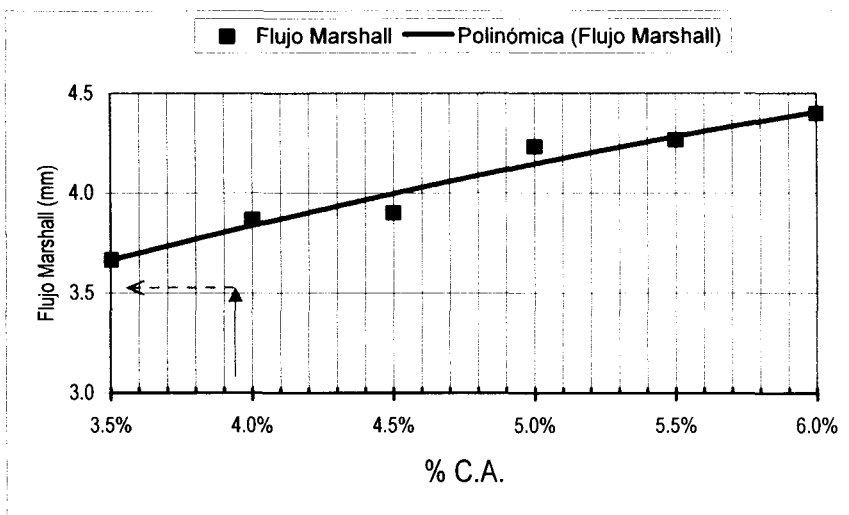


Figura 7.22: Flujo Marshall para la mezcla.

A partir del Contenido Optimo de Asfalto de 3.5 % el flujo = 3.7mm:

Porcentaje de Vacios en el Agregado Mineral (VAM)

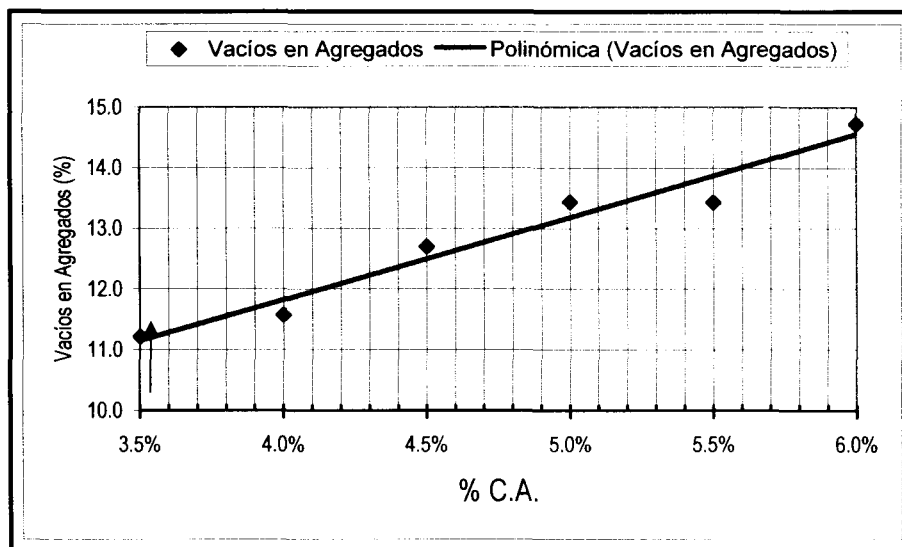


Figura 7.23: % Vacios en los Agregados de la mezcla

A partir del contenido optimo de asfalto de 4.2 % el VAM = 11.2%

Resumen de resultados de contenido optimo de cemento asfáltico para le mezcla con 100% Asfalto Normal AC-20

Contenido optimo de Asfalto =	3.5%
Densidad Aparente =	2.42 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	3.5%
Estabilidad Máxima=	1750 kg.
Flujo Marshall =	3.7 mm.
VAM =	11.3%

Con los resultados obtenidos de los ensayos y de un análisis de los mismos se obtendrán las conclusiones y recomendaciones de las cuales se podrá hacer un cuadro de decisiones a partir del cual se podrá realizar trabajos futuros en cuanto al uso de un suelo contaminado con hidrocarburos intemperizados para la realización de mezclas asfálticas.

A continuación se presenta el resumen de resultados de acuerdo a las diferentes proporciones de las mezclas asfálticas:

Tabla 7.12.- Resumen de resultados de acuerdo a diferentes mezclas asfálticas.

	Asfalto AC-20	Asfalto 75%	Asfalto 50%	Hidrocarburo 100%
Contenido Optimo de Asfalto =	3.5%	3.90%	3.6%	4.40%
Densidad Aparente =	2.42 g/cm³	2.65 g/cm³	2.44 g/cm³	2.35 g/cm³
Vacíos en la mezcla =	3.5%	1.90%	3.3%	5%
Estabilidad Máxima	1750 Kg.	1520 Kg.	1260 Kg.	845 Kg.
Flujo Marshall =	3.7 mm.	2.19 mm.	2.29 mm.	2.65 mm.
VAM =	11.3%	11.60%	10.7%	14.60%



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto AC-20

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 3.5%			C.A. = 4.0%			C.A. = 4.5%			C.A. = 5.0%			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ALTURA I	cm.	6.218	6.398	6.450	6.368	6.282	6.420	6.386	6.396	6.350	6.524	6.518	6.430	
ALTURA II	cm.	6.222	6.348	6.420	6.322	6.250	6.430	6.328	6.308	6.360	6.518	6.444	6.380	
ALTURA III	cm.	6.270	6.332	6.410	6.308	6.252	6.420	6.362	6.374	6.360	6.531	6.532	6.530	
ALTURA MEDIA	cm.	6.237	6.359	6.427	6.333	6.261	6.423	6.359	6.359	6.357	6.524	6.498	6.447	
PESO	grs.	1225.3	1244.1	1260.2	1235.1	1220.2	1258.1	1249.1	1248.1	1248.1	1256.7	1253.5	1250.2	
VOLUMEN	cm ³ .	505.63	515.57	521.03	513.41	507.63	520.76	515.52	515.57	515.35	528.95	526.81	522.65	
DENSIDAD	gr/cm ³	2.423	2.413	2.419	2.406	2.404	2.416	2.423	2.421	2.422	2.376	2.379	2.392	
Arido Tipo: 100% Calizo				%Peso de la Mezcla				DENSIDADES					Vol	% Vacíos
P.E. Agregado: 2.64 gr/cm ³		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla		
Asfalto Tipo: 100% Asfalto AC-20				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto: 1.036 gr/cm ³		1		3.382	96.618	2.4233	36.598	3.264	39.862	2.509	96.6	3.4		
GRANULOMETRIA				2	3.382	96.618	2.4131	36.598	3.264	39.862	2.509	96.2	3.8	
Mallas ASTM	% Pasa	%Ret.	%Ret.Par	3	3.382	96.618	2.4187	36.598	3.264	39.862	2.509	96.4	3.6	
1/2"	100	0	0	4	3.846	96.154	2.4057	36.422	3.713	40.134	2.492	96.6	3.4	
3/8"	89.3	10.7	10.7	5	3.846	96.154	2.4037	36.422	3.713	40.134	2.492	96.5	3.5	
#4	35.8	64.2	53.5	6	3.846	96.154	2.4159	36.422	3.713	40.134	2.492	97.0	3.0	
#8	28.8	71.2	7	7	4.306	95.694	2.4230	36.248	4.157	40.404	2.475	97.9	2.1	
#30	13.6	86.4	15.2	8	4.306	95.694	2.4208	36.248	4.157	40.404	2.475	97.8	2.2	
#50	9.1	90.9	4.5	9	4.306	95.694	2.4218	36.248	4.157	40.404	2.475	97.9	2.1	
#100	7.0	93	2.1	10	4.762	95.238	2.3758	36.075	4.596	40.671	2.459	96.6	3.4	
#200	6.4	93.6	0.6	11	4.762	95.238	2.3794	36.075	4.596	40.671	2.459	96.8	3.2	
Filler	6.4	Suma	93.6	12	4.762	95.238	2.3920	36.075	4.596	40.671	2.459	97.3	2.7	

Observaciones: Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto AC-20

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 5.5%			C.A. = 6.0%									
		13	14	15	16	17	18							
ALTURA I	cm.	6.518	6.500	6.510	6.480	6.498	6.480							
ALTURA II	cm.	6.522	6.500	6.510	6.500	6.490	6.490							
ALTURA III	cm.	6.570	6.500	6.490	6.490	6.420	6.480							
ALTURA MEDIA	cm.	6.537	6.500	6.503	6.490	6.469	6.483							
PESO	grs.	1254.0	1254.0	1254.0	1254.0	1254.0	1254.0							
VOLUMEN	cm3.	529.95	526.98	527.25	526.16	524.49	525.62							
DENSIDAD	gr/cm3	2.366	2.380	2.378	2.383	2.391	2.386							
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla			DENSIDADES					Vol	% Vacios	
P.E. Agregado : 2.8 gr/cm3		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla		
Asfalto Tipo : 100% Asfalto AC-20				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto : 1.036 gr/cm3		13		5.213	94.787	2.3663	35.904	5.032	40.936	2.443	96.9	3.1		
GRANULOMETRIA				14	5.213	94.787	2.3796	35.904	5.032	40.936	2.443	97.4	2.6	
Mallas ASTM	% Pasa	%Ret.	%Ret.Par	15	5.213	94.787	2.3784	35.904	5.032	40.936	2.443	97.4	2.6	
1/2"	100	0	0	16	5.660	94.340	2.3833	35.735	5.464	41.198	2.427	98.2	1.8	
3/8"	89.3	10.7	10.7	17	5.660	94.340	2.3909	35.735	5.464	41.198	2.427	98.5	1.5	
#4	35.8	64.2	53.5	18	5.660	94.340	2.3857	35.735	5.464	41.198	2.427	98.3	1.7	
#8	28.8	71.2	7											
#30	13.6	86.4	15.2											
#50	9.1	90.9	4.5											
#100	7	93	2.1											
#200	6.4	93.6	0.6											
Filler	6.4	Suma	93.6											

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto AC-20

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

Contenido de C. Asfáltico	Probeta No.	Estabilidad (Kg)			Flujo (mm)		% Vacío en Agregado		hp (cm)	
		Medida	F.C.	Corregida	Promedio	Medido	Promedio	Calculado		Promedio
3.5%	1	1400	1.22	1708	1728	3.7	3.7	11.3	11.5	6.237
	2	1420	1.22	1732		3.7		11.7		6.359
	3	1430	1.22	1745		3.6		11.5		6.427
4.0%	4	1440	1.25	1800	1720	3.9	3.9	12.4	12.3	6.333
	5	1220	1.32	1610		3.6		12.5		6.261
	6	1400	1.25	1750		4.1		12.0		6.423
4.5%	7	1220	1.22	1488	1505	3.8	3.9	12.2	12.2	6.359
	8	1250	1.25	1563		3.8		12.3		6.359
	9	1200	1.22	1464		4.1		12.2		6.357
5.0%	10	1150	1.24	1426	1455	4.1	4.2	14.3	14.1	6.524
	11	1150	1.25	1438		4.4		14.2		6.498
	12	1200	1.25	1500		4.2		13.7		6.447
5.5%	13	1100	1.25	1375	1349	4.4	4.3	15.0	14.7	6.537
	14	1120	1.22	1366		4.1		14.6		6.500
	15	1070	1.22	1305		4.3		14.6		6.503
6.0%	16	1000	1.22	1220	1236	4.4	4.4	14.8	14.7	6.490
	17	990	1.19	1178.1		4.1		14.6		6.469
	18	1100	1.19	1309		4.7		14.7		6.483

Observaciones:

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

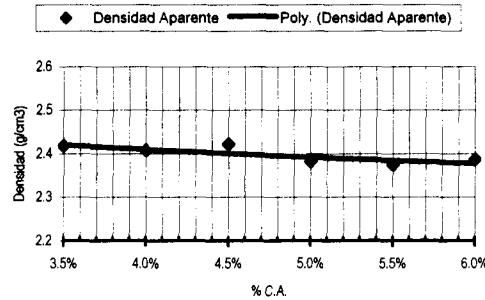
ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto AC-20

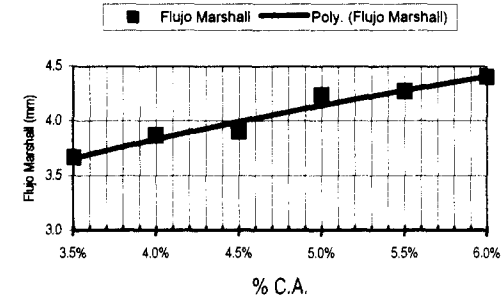
MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

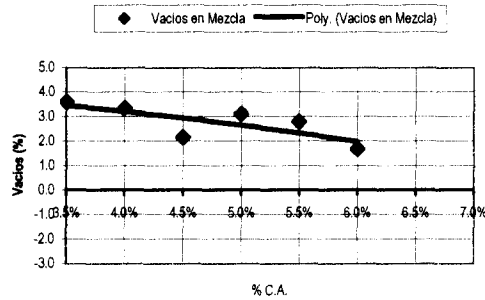
Contenido de C.A.	Dens. Ap.
3.5%	2.418
4.0%	2.408
4.5%	2.422
5.0%	2.382
5.5%	2.375
6.0%	2.387



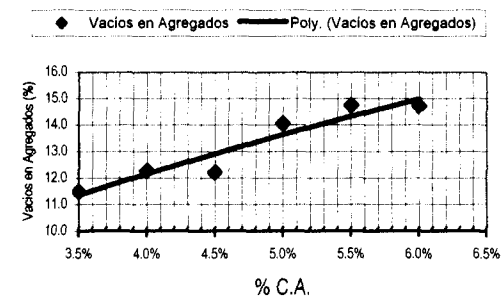
Contenido de C.A.	Flujo (mm)
3.5%	3.7
4.0%	3.9
4.5%	3.9
5.0%	4.2
5.5%	4.3
6.0%	4.4



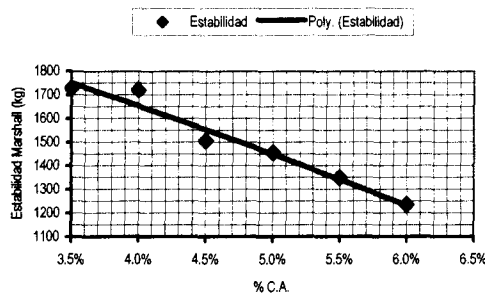
Contenido de C. Asfáltico	Vacios %
3.5%	3.6
4.0%	3.3
4.5%	2.1
5.0%	3.1
5.5%	2.8
6.0%	1.7



Contenido de C.A.	Vacios Ag (%)
3.5%	11.5
4.0%	12.3
4.5%	12.2
5.0%	14.1
5.5%	14.7
6.0%	14.7



Contenido de C. Asfáltico	Estab. (kg)
3.5%	1728
4.0%	1720
4.5%	1505
5.0%	1455
5.5%	1349
6.0%	1236



Porcentaje de CA por Densidad Apparente 3.5 %
 Porcentaje de CA por Vacios en Mezcla 3.5 %
 Porcentaje de CA por Estabilidad 3.5 %
 Porcentaje Promedio de los anteriores = 3.5 %

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Hidrocarburos 100%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 3.5%			C.A. = 4.0%			C.A. = 4.5%			C.A. = 5.0%			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ALTURA I	cm.	7.016	7.059	7.022	6.990	6.048	6.900	7.016	6.820	7.070	7.038	7.040	7.013	
ALTURA II	cm.	7.015	7.057	7.019	6.920	6.034	6.990	7.014	6.780	7.070	7.040	7.028	7.010	
ALTURA III	cm.	7.014	7.057	7.024	6.954	6.056	6.904	7.017	6.850	7.069	7.040	7.040	7.012	
ALTURA MEDIA	cm.	7.015	7.058	7.022	6.955	6.046	6.931	7.016	6.817	7.070	7.039	7.036	7.012	
PESO	grs.	1281.6	1297.8	1298.5	1320.2	1105.4	1319.8	1348.0	1310.8	1351.9	1345.0	1385.7	1346.1	
VOLUMEN	cm ³ .	568.73	572.19	569.27	563.84	490.17	561.94	568.78	552.65	573.15	570.71	570.45	568.46	
DENSIDAD	gr/cm ³	2.253	2.268	2.281	2.341	2.255	2.349	2.370	2.372	2.359	2.357	2.429	2.368	
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla				DENSIDADES					Vol	% Vacíos
P.E. Agregado : 2.635 gr/cm ³		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla		
Asfalto Tipo : Suelo Contaminado 100%				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto : 1.036 gr/cm ³		1		3.382	96.618	2.2534	36.667	3.264	39.931	2.504	90.0	10.0		
GRANULOMETRIA				2	3.382	96.618	2.2681	36.667	3.264	39.931	2.504	90.6	9.4	
Mallas ASTM	% Pasa	% Ret.	% Ret.Par	3	3.382	96.618	2.2810	36.667	3.264	39.931	2.504	91.1	8.9	
1/2"	100	0	0	4	3.846	96.154	2.3415	36.491	3.713	40.204	2.487	94.1	5.9	
3/8"	89.3	10.7	10.7	5	3.846	96.154	2.2551	36.491	3.713	40.204	2.487	90.7	9.3	
#4	35.8	64.2	53.5	6	3.846	96.154	2.3486	36.491	3.713	40.204	2.487	94.4	5.6	
#8	28.8	71.2	7	7	4.306	95.694	2.3700	36.316	4.157	40.473	2.471	95.9	4.1	
#30	13.6	86.4	15.2	8	4.306	95.694	2.3719	36.316	4.157	40.473	2.471	96.0	4.0	
#50	9.1	90.9	4.5	9	4.306	95.694	2.3587	36.316	4.157	40.473	2.471	95.5	4.5	
#100	7.0	93	2.1	10	4.762	95.238	2.3567	36.143	4.596	40.740	2.455	96.0	4.0	
#200	6.4	93.6	0.6	11	4.762	95.238	2.4291	36.143	4.596	40.740	2.455	99.0	1.0	
Filler	6.4	Suma	93.6	12	4.762	95.238	2.3680	36.143	4.596	40.740	2.455	96.5	3.5	

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
 INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
 RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
 Y VACÍOS

Hidrocarburos 100%
 MEZCLA TIPO:
 FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 5.5%			C.A. = 6.0%									
		13	14	15	16	17	18							
ALTURA I	cm.	7.099	7.022	7.014	6.050	7.080	7.270							
ALTURA II	cm.	7.014	7.014	7.013	6.047	7.080	7.240							
ALTURA III	cm.	7.011	7.022	7.015	6.048	7.040	7.300							
ALTURA MEDIA	cm.	7.041	7.019	7.014	6.048	7.067	7.270							
PESO	grs.	1357.7	1377.0	1349.1	1231.1	1363.8	1394.8							
VOLUMEN	cm3.	570.86	569.08	568.65	490.36	572.92	589.40							
DENSIDAD	gr/cm3	2.378	2.420	2.372	2.511	2.380	2.366							
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla		DENSIDADES						Vol	% Vacios	
P.E. Agregado : 2.8 gr/cm3		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla		
Asfalto Tipo : Suelo Contaminado 100%				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto : 1.036 gr/cm3		13		5.213	94.787	2.3783	35.972	5.032	41.004	2.439	97.5	2.5		
GRANULOMETRIA				14	5.213	94.787	2.4197	35.972	5.032	41.004	2.439	99.2	0.8	
Mallas ASTM	% Pasa	%Ret.	%Ret.Par	15	5.213	94.787	2.3725	35.972	5.032	41.004	2.439	97.3	2.7	
1/2"	100	0	0	16	5.660	94.340	2.5106	35.803	5.464	41.266	2.423	103.6	-3.6	
3/8"	89.3	10.7	10.7	17	5.660	94.340	2.3805	35.803	5.464	41.266	2.423	98.2	1.8	
#4	35.8	64.2	53.5	18	5.660	94.340	2.3665	35.803	5.464	41.266	2.423	97.7	2.3	
#8	28.8	71.2	7											
#30	13.6	86.4	15.2											
#50	9.1	90.9	4.5											
#100	7	93	2.1											
#200	6.4	93.6	0.6											
Filler	6.4	Suma	93.6											

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Hidrocarburos 100%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

Contenido de C. Asfáltico	Probeta No.	Estabilidad (Kg)				Flujo (mm)		% Vacío en Agregado		hp (cm)
		Medida	F.C.	Corregida	Promedio	Medido	Promedio	Calculado	Promedio	
3.5%	1	1220	0.83	1013	855	2.5	2.1	17.4	16.9	7.015
	2	1060	0.76	806		1.5		16.8		7.058
	3	900	0.83	747		2.3		16.4		7.022
4.0%	4	1260	0.86	1084	908	2.3	2.5	14.6	15.5	6.955
	5	980	0.78	764		3.0		17.7		6.046
	6	1020	0.86	877		2.3		14.3		6.931
4.5%	7	1180	0.83	979	763	2.5	2.8	13.9	14.0	7.016
	8	720	0.89	641		3.3		13.9		6.817
	9	880	0.76	669		2.5		14.3		7.070
5.0%	10	1360	0.78	1061	829	2.5	2.5	14.8	13.8	7.039
	11	860	0.81	697		2.4		12.2		7.036
	12	880	0.83	730		2.4		14.4		7.012
5.5%	13	940	0.78	733	770	2.8	2.4	14.4	14.0	7.041
	14	920	0.83	764		2.4		13.0		7.019
	15	980	0.83	813		2.0		14.7		7.014
6.0%	16	620	0.96	595.2	649	2.0	2.0	10.1	13.4	6.048
	17	780	0.86	670.8		1.8		14.8		7.067
	18	840	0.81	680.4		2.3		15.3		7.270

Observaciones:

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

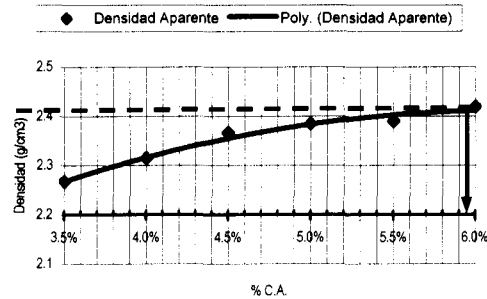
ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Hidrocarburos 100%

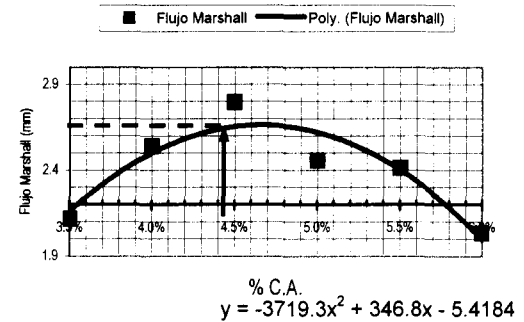
MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

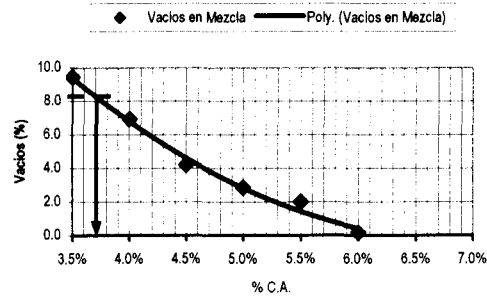
Contenido de C.A.	Dens. Ap.
3.5%	2.268
4.0%	2.315
4.5%	2.367
5.0%	2.385
5.5%	2.390
6.0%	2.419



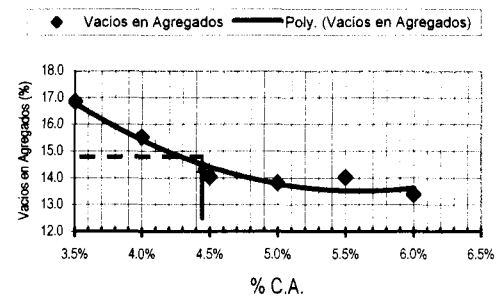
Contenido de C.A.	Flujo (mm)
3.5%	2.1
4.0%	2.5
4.5%	2.8
5.0%	2.5
5.5%	2.4
6.0%	2.0



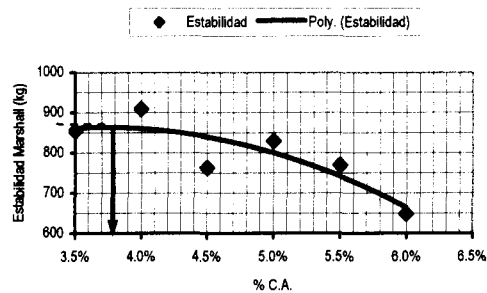
Contenido de C. Asfáltico	Vacios %
3.5%	9.5
4.0%	6.9
4.5%	4.2
5.0%	2.9
5.5%	2.0
6.0%	0.2



Contenido de C.A.	Vacios Ag (%)
3.5%	16.9
4.0%	15.5
4.5%	14.0
5.0%	13.8
5.5%	14.0
6.0%	13.4



Contenido de C. Asfáltico	Estab. (kg)
3.5%	855
4.0%	908
4.5%	763
5.0%	829
5.5%	770
6.0%	649



Porcentaje de CA por Densidad Aparente 5.85 %
 Porcentaje de CA por Vacíos en Mezcla 3.58 %
 Porcentaje de CA por Estabilidad 3.72 %

Porcentaje Promedio de los anteriores = 4.4 %

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 50%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 3.5%			C.A. = 4.0%			C.A. = 4.5%			C.A. = 5.0%			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ALTURA I	cm.	6.586	6.448	6.390	6.698	6.562	6.582	6.588	6.687	6.692	6.896	6.920	6.890	
ALTURA II	cm.	6.584	6.458	6.388	6.606	6.561	6.584	6.593	6.692	6.698	6.860	6.980	6.870	
ALTURA III	cm.	6.585	6.467	6.388	6.672	6.564	6.582	6.598	6.690	6.695	6.900	6.912	6.890	
ALTURA MEDIA	cm.	6.585	6.458	6.389	6.659	6.562	6.583	6.593	6.690	6.695	6.885	6.937	6.883	
PESO	grs.	1287.9	1262.2	1294.3	1307.3	1278.5	1295.5	1309.4	1293.1	1297.0	1323.5	1320.4	1325.8	
VOLUMEN	cm ³ .	533.87	523.54	517.95	539.84	532.03	533.68	534.52	542.35	542.78	558.22	562.43	558.05	
DENSIDAD	gr/cm ³	2.412	2.411	2.499	2.422	2.403	2.427	2.450	2.384	2.390	2.371	2.348	2.376	
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla				DENSIDADES				Vol	% Vacíos	
P.E. Agregado : 2.635 gr/cm ³		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla		
Asfalto Tipo : Modificado 3% SBS				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto : 1.035 gr/cm ³		1		3.382	96.618	2.4124	36.667	3.269	39.936	2.504	96.3	3.7		
GRANULOMETRIA				2	3.382	96.618	2.4109	36.667	3.269	39.936	2.504	96.3	3.7	
Mallas ASTM	% Pasa	% Ret.	% Ret.Par	3	3.382	96.618	2.4989	36.667	3.269	39.936	2.504	99.8	0.2	
1/2"	100	0	0	4	3.846	96.154	2.4216	36.491	3.718	40.209	2.487	97.4	2.6	
3/8"	89.3	10.7	10.7	5	3.846	96.154	2.4031	36.491	3.718	40.209	2.487	96.6	3.4	
#4	35.8	64.2	53.5	6	3.846	96.154	2.4275	36.491	3.718	40.209	2.487	97.6	2.4	
#8	28.8	71.2	7	7	4.306	95.694	2.4497	36.316	4.163	40.479	2.470	99.2	0.8	
#30	13.6	86.4	15.2	8	4.306	95.694	2.3842	36.316	4.163	40.479	2.470	96.5	3.5	
#50	9.1	90.9	4.5	9	4.306	95.694	2.3895	36.316	4.163	40.479	2.470	96.7	3.3	
#100	7.0	93	2.1	10	4.762	95.238	2.3709	36.143	4.603	40.747	2.454	96.6	3.4	
#200	6.4	93.6	0.6	11	4.762	95.238	2.3477	36.143	4.603	40.747	2.454	95.7	4.3	
Filler	6.4	Suma	93	12	4.762	95.238	2.3758	36.143	4.603	40.747	2.454	96.8	3.2	

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 50%
MEZCLA TIPO:
FECHA: Noviembre/2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 5.5%			C.A. = 6.0%								
		13	14	15	16	17	18						
ALTURA I	cm.	6.880	6.900	6.880	6.870	6.865	6.960						
ALTURA II	cm.	6.900	6.900	6.900	6.870	6.900	6.860						
ALTURA III	cm.	6.936	6.896	6.870	6.870	6.892	6.900						
ALTURA MEDIA	cm.	6.905	6.899	6.883	6.870	6.886	6.907						
PESO	grs.	1325.8	1309.4	1315.2	1333.9	1330.6	1335.4						
VOLUMEN	cm3.	559.84	559.30	558.05	556.97	558.24	559.95						
DENSIDAD	gr/cm3	2.368	2.341	2.357	2.395	2.384	2.385						
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla		DENSIDADES					Vol	% Vacíos	
P.E. Agregado : 2.8 gr/cm3		Probeta		Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	% Vacíos	
Asfalto Tipo : Modificado 3% SBS				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z
P.E. Asfalto : 1.036 gr/cm3		13		5.213	94.787	2.3682	35.972	5.039	41.012	2.438	97.1	2.9	
GRANULOMETRIA				14	5.213	94.787	2.3412	35.972	5.039	41.012	2.438	96.0	4.0
Mallas ASTM	% Pasa	%Ret.	%Ret.Par	15	5.213	94.787	2.3568	35.972	5.039	41.012	2.438	96.7	3.3
1/2"	100	0	0	16	5.660	94.340	2.3949	35.803	5.472	41.274	2.423	98.8	1.2
3/8"	89.3	10.7	10.7	17	5.660	94.340	2.3836	35.803	5.472	41.274	2.423	98.4	1.6
#4	35.8	64.2	53.5	18	5.660	94.340	2.3849	35.803	5.472	41.274	2.423	98.4	1.6
#8	28.8	71.2	7										
#30	13.6	86.4	15.2										
#50	9.1	90.9	4.5										
#100	7	93	2.1										
#200	6.4	93.6	0.6										
Filler	6.4	Suma	93										

Observaciones : **Peso del Pétreo = 1200 gramos**



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
 INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
 RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
 Y VACÍOS

Asfalto 50%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

Contenido de C. Asfáltico	Probeta No.	Estabilidad (Kg)			Promedio	Flujo (mm)		% Vacío en Agregado		hp (cm)
		Medida	F.C.	Corregida		Medido	Promedio	Calculado	Promedio	
3.5%	1	960	1.09	1046	1312	2.3	2.3	11.5	10.5	6.585
	2	1310	1.09	1428		2.3		11.6		6.458
	3	1340	1.09	1461		2.3		8.4		6.389
4.0%	4	1140	0.93	1060	1098	2.0	2.3	11.6	11.8	6.659
	5	920	1.09	1003		2.3		12.3		6.562
	6	1130	1.09	1232		2.5		11.4		6.583
4.5%	7	1140	1.09	1243	1159	2.3	2.4	11.0	12.6	6.593
	8	1120	1.09	1221		2.5		13.4		6.690
	9	1180	0.86	1015		2.4		13.2		6.695
5.0%	10	1000	0.89	890	908	2.3	2.4	14.3	14.5	6.885
	11	1160	0.86	998		2.5		15.1		6.937
	12	940	0.89	837		2.3		14.1		6.883
5.5%	13	1060	0.89	943	902	2.5	2.5	14.8	15.3	6.905
	14	980	0.89	872		2.5		15.8		6.899
	15	1000	0.89	890		2.5		15.2		6.883
6.0%	16	980	0.89	872.2	857	2.5	2.5	14.3	14.5	6.870
	17	950	0.89	845.5		2.5		14.7		6.886
	18	960	0.89	854.4		2.5		14.6		6.907

Observaciones:

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

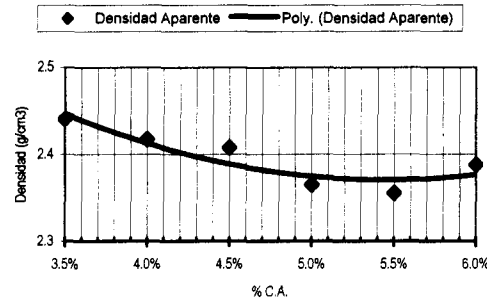
ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE Y VACÍOS

Asfalto 50%

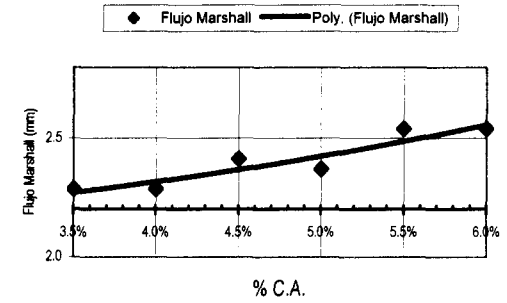
MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre/2004

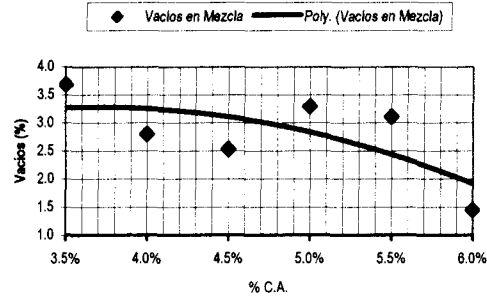
Contenido de C.A.	Dens. Ap.
3.5%	2.441
4.0%	2.417
4.5%	2.408
5.0%	2.365
5.5%	2.355
6.0%	2.388



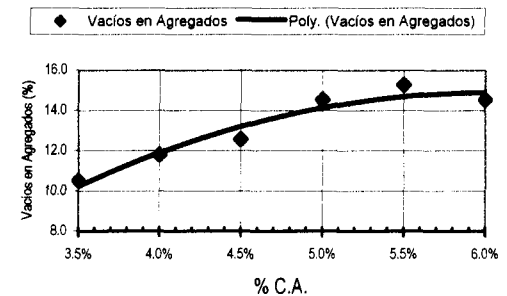
Contenido de C.A.	Flujo (mm)
3.5%	2.3
4.0%	2.3
4.5%	2.4
5.0%	2.4
5.5%	2.5
6.0%	2.5



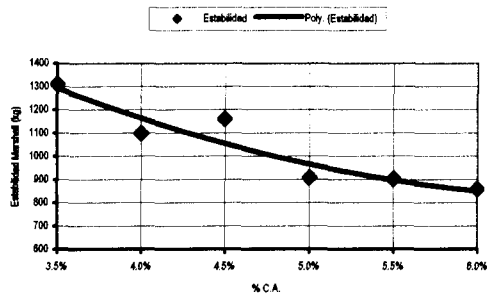
Contenido de C. Asfáltico	Vacios %
3.5%	3.7
4.0%	2.8
4.5%	2.5
5.0%	3.3
5.5%	3.1
6.0%	1.4



Contenido de C.A.	Vacios Ag (%)
3.5%	10.5
4.0%	11.8
4.5%	12.6
5.0%	14.5
5.5%	15.3
6.0%	14.5



Contenido de C. Asfáltico	Estab. (kg)
3.5%	1312
4.0%	1098
4.5%	1159
5.0%	908
5.5%	902
6.0%	857



Porcentaje de CA por Densidad Aparente 3.5 %
 Porcentaje de CA por Vacios en Mezcla 3.67 %
 Porcentaje de CA por Estabilidad 3.5 %

 Porcentaje Promedio de los anteriores = 3.6 %

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 75%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre 2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 3.5%			C.A. = 4.0%			C.A. = 4.5%			C.A. = 5.0%			
		1	2	-	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
ALTURA I	cm.	6.062	6.071		6.059	6.075	6.064	6.075	6.082	6.046	6.049	6.420	6.159	
ALTURA II	cm.	6.063	6.076		6.060	6.073	6.068	6.072	6.084	6.050	6.052	6.428	6.162	
ALTURA III	cm.	6.065	6.071		6.056	6.073	6.065	6.075	6.088	6.048	6.052	6.424	6.164	
ALTURA MEDIA	cm.	6.063	6.073	0.000	6.058	6.074	6.066	6.074	6.085	6.048	6.051	6.424	6.162	
PESO	grs.	1270.2	1261.5		1239.1	1284.8	1275.2	1271.2	1256.2	1243.2	1243.1	1344.3	1276.8	
VOLUMEN	cm ³ .	491.57	492.33		491.17	492.41	491.76	492.44	493.30	490.33	490.57	520.81	499.54	
DENSIDAD	gr/cm ³	2.584	2.562	0.000	2.523	2.609	2.593	2.581	2.547	2.535	2.534	2.581	2.556	
Arido Tipo: 100% Calizo					%Peso de la Mezcla			DENSIDADES					Vol	% Vacíos
P.E. Agregado:	2.8 gr/cm ³	Probeta			Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla	
Asfalto Tipo: Modificado 3% SBS		Nº			b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z	
P.E. Asfalto:	1.035 gr/cm ³	1			3.382	96.618	2.5839	34.507	3.269	37.775	2.647	97.6	2.4	
GRANULOMETRIA		2			3.382	96.618	2.5623	34.507	3.269	37.775	2.647	96.8	3.2	
Mallas ASTM	% Pasa	% Ret.	% Ret. Par	3	3.382	96.618	0.0000	34.507	3.269	37.775	2.647	0.0	100.0	
1/2"	100	0	0	4	3.846	96.154	2.5227	34.341	3.718	38.059	2.628	96.0	4.0	
3/8"	89.3	10.7	10.7	5	3.846	96.154	2.6092	34.341	3.718	38.059	2.628	99.3	0.7	
#4	35.8	64.2	53.5	6	3.846	96.154	2.5931	34.341	3.718	38.059	2.628	98.7	1.3	
#8	28.8	71.2	7	7	4.306	95.694	2.5814	34.176	4.163	38.339	2.608	99.0	1.0	
#30	13.6	86.4	15.2	8	4.306	95.694	2.5465	34.176	4.163	38.339	2.608	97.6	2.4	
#50	9.1	90.9	4.5	9	4.306	95.694	2.5354	34.176	4.163	38.339	2.608	97.2	2.8	
#100	7.0	93	2.1	10	4.762	95.238	2.5340	34.014	4.603	38.617	2.590	97.9	2.1	
#200	6.4	93.6	0.6	11	4.762	95.238	2.5812	34.014	4.603	38.617	2.590	99.7	0.3	
Filler	6.4	Suma	93	12	4.762	95.238	2.5560	34.014	4.603	38.617	2.590	98.7	1.3	

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL

RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 75%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre 2004

PARAMETROS DE PROBETAS	Unidad	C.A. = 5.5%			C.A. = 6.0%								
		12	13	-	14	15	-						
ALTURA I	cm.	6.001	6.352		6.041	6.034							
ALTURA II	cm.	6.012	6.354		6.050	6.030							
ALTURA III	cm.	6.005	6.353		6.055	6.031							
ALTURA MEDIA	cm.	6.006	6.353		6.049	6.032							
PESO	grs.	1244.9	1317.5		1254.4	1224.4							
VOLUMEN	cm3.	486.93	515.06		490.38	489.01							
DENSIDAD	gr/cm3	2.557	2.558		2.558	2.504							
Arido Tipo : 100% Calizo				%Peso de la Mezcla			DENSIDADES					Vol	% Vacíos
P.E. Agregado :	2.8	gr/cm3		Probeta	Asfalto	Agregado	Aparente	r/PEagreg.	b/PE asf.	v + q	100/s	100x f/g	en Mezcla
Asfalto Tipo :				Nº	b	r=100-b	f	v	q	s	g	z	100 - z
P.E. Asfalto :	1.036	gr/cm3		12	5.213	94.787	2.5567	33.852	5.039	38.892	2.571	99.4	0.6
GRANULOMETRIA				13	5.213	94.787	2.5580	33.852	5.039	38.892	2.571	99.5	0.5
Mallas ASTM	% Pasa	%Ret.	%Ret.Par	-	5.213	94.787	0.0000	33.852	5.039	38.892	2.571	0.0	
1/2"	100	0	0	14	5.660	94.340	2.5580	33.693	5.472	39.164	2.553	100.2	-0.2
3/8"	89.3	10.7	10.7	15	5.660	94.340	2.5039	33.693	5.472	39.164	2.553	98.1	1.9
#4	35.8	64.2	53.5	-	5.213	94.787	0.0000	33.852	5.039	38.892	2.571	0.0	
#8	28.8	71.2	7										
#30	13.6	86.4	15.2										
#50	9.1	90.9	4.5										
#100	7	93	2.1										
#200	6.4	93.6	0.6										
Filler	6.4	Suma	93										

Observaciones : Peso del Pétreo = 1200 gramos



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 75%

MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre 2004

Contenido de C. Asfáltico	Probeta No.	Estabilidad (Kg)				Flujo (mm)		% Vacío en Agregado		hp (cm)
		Medida	F.C.	Corregida	Promedio	Medido	Promedio	Calculado	Promedio	
3.5%	1	1330	1.09	1450	1924	2.3	2.4	10.8	11.2	6.063
	2	1100	1.09	1199		2.5		11.6		6.073
	3	1100	1.09	1199		0.0		100.0		0.000
4.0%	4	1220	1.09	1330	1439	2.0	2.0	13.4	11.6	6.058
	5	1400	1.09	1526		2.0		10.4		6.074
	6	1340	1.09	1461		2.0		11.0		6.066
4.5%	7	1040	1.09	1134	1036	2.0	2.1	11.8	12.7	6.074
	8	820	1.09	894		2.0		13.0		6.085
	9	860	1.09	937		2.3		13.3		6.048
5.0%	10	980	1.09	1068	1115	2.0	2.0	13.8	13.4	6.051
	11	1100	1.09	1199		2.0		12.2		6.424
	12	990	1.09	1079		1.9		13.1		6.162
5.5%	13	920	1.09	1003	1057	2.5	2.7	13.5	13.4	6.006
	14	1020	1.09	1112		2.8		13.4		6.353
	15		1.09	0		0.0		100.0		0.000
6.0%	16	720	1.09	784.8	818	3.0	2.8	13.8	14.7	6.049
	17	780	1.09	850.2		2.5		15.6		6.032
	18		1.09	0		0.0		100.0		0.000

Observaciones:

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS
INFORME DE ENSAYO MARSHALL

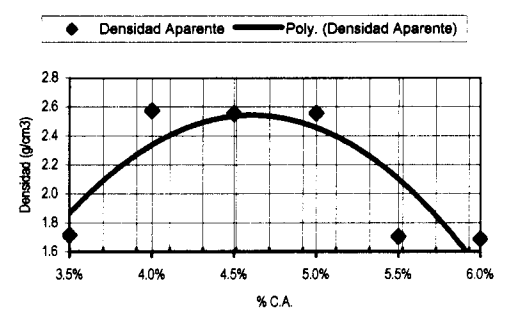
ENSAYO MARSHALL
RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE
Y VACÍOS

Asfalto 75%

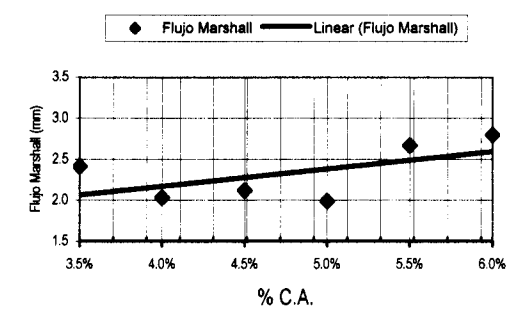
MEZCLA TIPO:

FECHA: Noviembre 2004

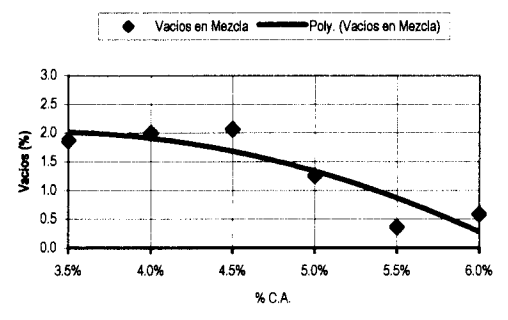
Contenido de C.A.	Dens. Ap.
3.5%	1.715
4.0%	2.575
4.5%	2.554
5.0%	2.557
5.5%	1.705
6.0%	1.687



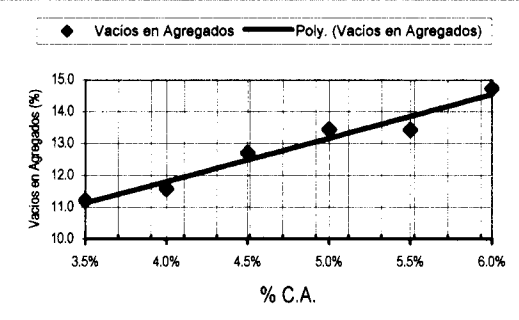
Contenido de C.A.	Flujo (mm)
3.5%	2.4
4.0%	2.0
4.5%	2.1
5.0%	2.0
5.5%	2.7
6.0%	2.8



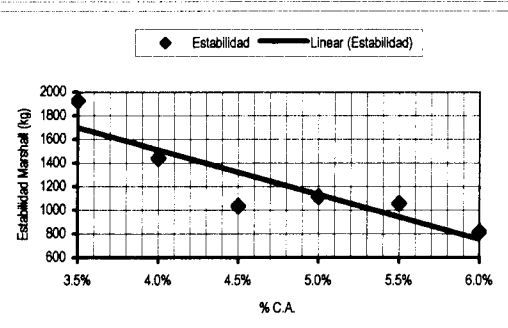
Contenido de C. Asfáltico	Vacios %
3.5%	1.9
4.0%	2.0
4.5%	2.1
5.0%	1.3
5.5%	0.4
6.0%	0.6



Contenido de C.A.	Vacios Ag (%)
3.5%	11.2
4.0%	11.6
4.5%	12.7
5.0%	13.4
5.5%	13.4
6.0%	14.7



Contenido de C. Asfáltico	Estab. (kg)
3.5%	1924
4.0%	1439
4.5%	1036
5.0%	1115
5.5%	1057
6.0%	818



Porcentaje de CA por Densidad Apparente 4.6 %
 Porcentaje de CA por Vacios en Mezcla 3.5 %
 Porcentaje de CA por Estabilidad 3.5 %
 Porcentaje Promedio de los anteriores = 3.9 %

Laboratorista: Alfredo Compean

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



Laboratorio del Centro de Calidad Ambiental

No. ORDEN: 200411-026

Página: 1

Total de páginas: 3

Ing. Alfredo Compeán Martínez
Texcoco 374 Col. Mitras Centro
Monterrey, Nuevo León, México.
Attn: Ing. Alfredo Compeán Martínez
La muestra fue tomada por: Ing. Alfredo Compeán

Fecha de impresión: 2004/11/25

Fecha de recepción: 2004/11/18

A continuación encontrará el informe de análisis correspondiente a las muestras:

ID Muestra	Identificación
200411-026-01	SUELO 100 %
200411-026-02	SUELO 75 %
200411-026-03	SUELO 50 %
200411-026-04	MEZCLA 100 %
200411-026-05	MEZCLA 75 %
200411-026-06	MEZCLA 50 %

y consta de:

- Portada
- Reporte de Análisis
- Cadena de custodia
- Reporte de control de calidad

Quedo a sus órdenes para cualquier aclaración:


M.C. Luz Ma. Gutiérrez Maldonado.
Centro de Calidad Ambiental

**ESTE LABORATORIO DE PRUEBAS HA SIDO ACREDITADO POR LA ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACION, A.C. (ema)
LAS PRUEBAS AQUÍ REPORTADAS SE HAN EJECUTADO DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS IMPUESTOS POR ESTE SISTEMA**

El presente informe es representativo y/o corresponde al volumen de muestra tomada y no del total representado en situ.
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización previa del laboratorio.



**Laboratorio de Residuos
Informe de Análisis**

No. ORDEN: 200411-026

Página 2

Ing. Alfredo Compeán Martínez
Texcoco 374 Col. Mitras Centro
Monterrey, Nuevo León, México.
Attn: Ing. Alfredo Compeán Martínez
La muestra fue tomada por: Ing. Alfredo Compeán

Fecha de impresión: 2004/11/25
Fecha de recepción: 2004/11/18

ID Muestra	Identificación	Fecha de muestreo: 2004/11/03 16:30					
200411-026-01	SUELO 100 %						
Características y Observaciones: Compuesta /							
		Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H							
Lixiviado SV, P, H.				JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua)							
Hidrocarburos totales de petroleo		< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22
ID Muestra	Identificación	Fecha de muestreo: 2004/11/03 16:10					
200411-026-02	SUELO 75 %						
Características y Observaciones: Compuesta /							
		Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H							
Lixiviado SV, P, H.				JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua)							
Hidrocarburos totales de petroleo		< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22
ID Muestra	Identificación	Fecha de muestreo: 2004/11/03 16:15					
200411-026-03	SUELO 50 %						
Características y Observaciones: Compuesta /							
		Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H							
Lixiviado SV, P, H.				JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua)							
Hidrocarburos totales de petroleo		< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22
ID Muestra	Identificación	Fecha de muestreo: 2004/11/11 18:20					
200411-026-04	MEZCLA 100 %						
Características y Observaciones: Compuesta /							
		Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H							
Lixiviado SV, P, H.				JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua)							
Hidrocarburos totales de petroleo		< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22

El presente informe es representativo y/o corresponde al volumen de muestra tomada y no del total representado en situ.
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización previa del laboratorio.



**Laboratorio de Residuos
Informe de Análisis**

No. ORDEN: 200411-026

Página 3

Ing. Alfredo Compeán Martínez
Texcoco 374 Col. Mitras Centro
Monterrey, Nuevo León, México.
Attn: Ing. Alfredo Compeán Martínez
La muestra fue tomada por: Ing. Alfredo Compeán

Fecha de impresión: 2004/11/25
Fecha de recepción: 2004/11/18

ID Muestra 200411-026-05 **Identificación** MEZCLA 75 % **Fecha de muestreo:** 2004/11/11 17:20

Características y Observaciones: Compuesta /

	Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H Lixiviado SV, P, H.			JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua) Hidrocarburos totales de petroleo	< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22

ID Muestra 200411-026-06 **Identificación** MEZCLA 50 % **Fecha de muestreo:** 2004/11/11 17:40

Características y Observaciones: Compuesta /

	Resultado	Unidades	Analista	Método	Lote	Fecha de análisis
Lixiviado SV, P, H Lixiviado SV, P, H.			JRR	NOM	23315	2004/11/19-20
TPH (agua) Hidrocarburos totales de petroleo	< 1.0	mg/L	JRR	EPA 418.1	23315	2004/11/19-22

Los resultados cuantitativos son representativos de las muestras tal y como éstas se recibieron en el laboratorio del CCA.

QBP José Rodríguez Rodríguez
Supervisor
Laboratorio de Residuos

ESTE LABORATORIO DE PRUEBAS HA SIDO ACREDITADO POR LA ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACION, A.C. (ema)
LAS PRUEBAS AQUÍ REPORTADAS SE HAN EJECUTADO DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS IMPUESTOS POR ESTE SISTEMA



entidad mexicana
de acreditación, a.c.

Laboratorio del Centro de Calidad Ambiental. ITESM
FRA-119-021/03

El presente informe es representativo y/o corresponde al volumen de muestra tomada y no del total representado en situ.
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización previa del laboratorio.

CAMPUS MONTERREY



Informe de Control de Calidad

200411-026

Ing. Alfredo Compeán Martínez
Texcoco 374 Col. Mitras Centro
Monterrey, Nuevo León, México.
Attn: Ing. Alfredo Compeán Martínez
La muestra fue tomada por: Ing. Alfredo Compeán

Fecha de impresión: 2004/11/25

Fecha de recepción: 2004/11/18

ID muestra	Identificación											
200411-026-01	SUELO 100 %	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
		23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632

ID muestra	Identificación											
200411-026-02	SUELO 75 %	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
		23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632

ID muestra	Identificación											
200411-026-03	SUELO 50 %	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
		23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632

ID muestra	Identificación											
200411-026-04	MEZCLA 100 %	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
		23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632

ID muestra	Identificación											
200411-026-05	MEZCLA 75 %	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
		23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632



Informe de Control de Calidad

200411-026

Ing. Alfredo Compeán Martínez
Texcoco 374 Col. Mitras Centro
Monterrey, Nuevo León, México.
Attn: Ing. Alfredo Compeán Martínez
La muestra fue tomada por: Ing. Alfredo Compeán

Fecha de impresión: 2004/11/25
Fecha de recepción: 2004/11/18

ID muestra **Identificación**
200411-026-06 MEZCLA 50 %

	Lote	Muestra de referencia	Criterio %RMC	%RMC	Criterio %RMF	%RMF	Criterio %DRD	%DRD	Criterio %DRDMF	%DRDMF	BLANCO
Hidrocarburos totales de petroleo	23315	200411-015-08	122 / 65	99			20	20.9			0.0632

% RMC.- Por ciento de recuperación de la muestra control.

% RMF.- Por ciento de recuperación de la muestra fortificada.

% DRD.- Por ciento de desviación relativa del duplicado.

% DRDMF.- Por ciento de desviación relativa del duplicado de muestra fortificada.

CRITERIO.- Intervalo o valor máximo para aceptar un resultado.

BLANCO.- Muestra de agua reactivo que sigue el proceso de análisis, se reporta como menor al límite de detección.

LOTE.- Grupo de muestras que se analizan en un evento.

MUESTRA DE REFERENCIA.- Muestra sobre la que se llevo a cabo el duplicado y la fortificación.

NR: No Representativo: La muestra utilizada resultó menor al límite de cuantificación.

NC: No se tiene criterio en este momento.

NA: No Analizado.

*: Interferencia de Matriz.

E: Externo: Los criterios del laboratorio subcontratado pueden ser diferentes a los nuestros por lo que si algún dato no cumple con ellos, no significa que este fuera del Intervalo de aceptación.

