



ISSN 0188-7297



---

---

# **EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA EN CONCRETOS ASFÁLTICOS POR CONTACTO DE SUSTANCIAS AGRESIVAS**

Paul Garnica Anguas  
Alfonso Alvarez Manilla Aceves  
Francisco Javier Báez Andrade

**Publicación Técnica No. 171  
Sanfandila, Qro, 2001**

---

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Evaluación de la pérdida de  
resistencia en concretos  
asfálticos por contactos de  
sustancias agresivas**

Paul Garnica Anguas  
Alfonso Alvarez Manilla Aceves  
Francisco Javier Báez Andrade

**Publicación Técnica No. 171  
Sanfandila, Qro, 2001**

---

---

---

El presente trabajo ha sido elaborado en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte por los investigadores Paul Garnica Anguas, Alfonso Alvarez Manilla Aceves y Francisco Javier Báez Andrade, tesista de la Maestría en Vías Terrestres de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Se agradecen los valiosos comentarios del Ing. Rodolfo Téllez Gutiérrez.

Los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo con el auxilio del Técnico Laboratorista Luis Alberto Pérez Cortes.

## Resumen

---

El desarrollo en el ámbito industrial en que se encuentra el país, exige un importante flujo de materias primas esenciales para la elaboración de productos que generan y desarrollan la economía.

Las materias primas a que se hace mención son de muy diversos tipos, que van desde productos de manejo y trabajabilidad de muy bajo a alto riesgo y exigen un especial cuidado de manipulación, gran parte de estos productos son distribuidos a través de la infraestructura de transporte terrestre del país; factor de peso que hace necesario estudiar el comportamiento y desarrollo de esta actividad.

Uno de los principales puntos que deben observarse es precisamente el daño que estos productos causan a los pavimentos asfálticos en caso de derrame, ya que su traslado en el territorio nacional por modos de transporte terrestre es esencialmente en estado "líquido"; lo cual facilita el contacto directo con la superficie de rodamiento.

Durante la operación de las diferentes instalaciones de infraestructura de transporte siempre existen riesgos, ya sea por fallas humanas o por averías de los mismos medios de transporte carretero, que representan alteraciones a los pavimentos, ajenas a los trabajos de construcción de las obras, tales como derrames de sustancias agresivas, que se pueden presentar durante las diferentes etapas del proceso de transporte.

- Carga.
- Descarga.
- Recorrido (donde se producen accidentes en los medios de transporte como pipas, autotanques, etc y que por su volumen e impacto son los de mayor trascendencia).

En este trabajo se presentan resultados de una investigación experimental para cuantificar el efecto en la resistencia a tensión indirecta en mezclas asfálticas por el contacto de sustancias químicas agresivas como los ácidos sulfúrico, acético, clorhídrico, sosa cáustica, así como los derivados del petróleo que son utilizados principalmente como combustibles diesel y gasolina, además se incluye el agua, por ser un elemento cuya presencia es de fácil ocurrencia y que se ha visto es también un agresor a las propiedades de los pavimentos asfálticos.

Se ha considerado la resistencia de los pavimentos como punto básico de análisis ya que es la característica más importante que define el funcionamiento y calidad estructural de los mismos.

## Abstract

---

The development in the industrial environment in that is the country, demands an important flow of matters essential cousins for the elaboration of products that you/they generate and they develop the economy.

The matters cousins to that one makes mention are of very diverse types that you/they go from handling products and handling of very low to high risk and they demand a special care of manipulation, great part of these products is distributed through the infrastructure of terrestrial transport of the country; factor of weight that makes necessary to study the behavior and development of this activity.

One of the main points that should be observed is in fact the damage that these products cause to the asphaltic pavements in the event of spill, since its transfer in the national territory for ways of terrestrial transport is essentially in liquid state; that which facilitates the direct contact with the surface.

During the operation of the different facilities of infrastructure of transport risks always exist, either for human flaws or for mishaps of the same means of transport cartwright that represent alterations to the pavements, unaware to the works of construction of the works, such as spills of aggressive substances that can be presented during the different stages of the process of transport.

- Loads.
- Discharges.
- Traveled (where accidents take place in the means of transport as pipes, autotanks, etc and that for their volume and impact they are those of more transcendancy).

In this work results of an experimental investigation are presented to quantify the effect in the resistance to indirect tension in asphaltic mixtures for the contact of aggressive chemical substances as the caustic sulfuric, acetic, hydrochloric, flat acids, as well as those derived of the petroleum that you/they are used mainly as diesel fuels and gasoline, the water is also included, to be an element whose presence is of easy occurrence and that it has been seen she/he is also an aggressor to the properties of the asphaltic pavements.

It has been considered the resistance of the pavements like basic point of analysis since is the most important characteristic that defines the operation and structural quality of the same ones.

## Resumen Ejecutivo

---

La ingeniería de vías terrestres en estos momentos en que se han suscitado recortes en la economía nacional, siendo no ajeno a estos el sector de comunicaciones y transportes, debe poner más interés y cuidado a la infraestructura carretera con que se cuenta, además de estar al tanto y conocer los daños a los que puede estar expuesta por el contacto de sustancias agresivas.

La Secretaría de Gobernación a través de la Dirección de Protección Civil a clasificado como riesgos químicos a aquellos producto de derrames de sustancias peligrosas, ya que representan un riesgo a la integridad de la sociedad, esto es un factor más para cuidar y determinar los efectos provocados a la red carretera nacional, ya que casi invariablemente es en ésta donde se inicia el problema.

El deterioro que como resultado de un derrame de las sustancias que dentro del manual de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos y que están dentro de la clase ocho ( corrosivos ), puede representar un problema significativo principalmente si se enfoca al factor resistencia como indicador de la calidad, seguridad y funcionalidad de un pavimento.

Para evaluar la pérdida de resistencia en concretos asfálticos por contacto de sustancias agresivas, se elaboraron probetas de concreto asfáltico mismas que por lotes de tres fueron expuestas en: ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido acético, sosa cáustica, diesel, gasolina y agua.

Posteriormente las probetas fueron sometidas al ensaye de “tensión indirecta” para evaluar la variación de la resistencia de las mezclas asfálticas al contacto con sustancias químicamente agresivas, este método ha sido utilizado de manera confiable por la “Strategic Highway Research Program” (S.H.R.P), de los Estados Unidos de América.

En función a las normas para la construcción de carpetas asfálticas en el país, así como del conocimiento estadístico de resultados de pruebas índice en tramos de diferentes carreteras del país, se obtuvieron los parámetros para elaborar las probetas de concreto asfáltico.

De lo que se ha observado en campo, no siempre son atendidos con prontitud los eventos donde se originan derrames de sustancias que por accidente ocurren en las carreteras del país.

Las probetas y el experimento se diseñaron asumiendo las siguientes consideraciones:

- El contenido del material pétreo se basa en su granulometría, según el Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros (Documento Técnico 1 del Instituto Mexicano del Transporte), que para este caso fue de 1,166 gr.
- El contenido del cemento asfáltico es en (%) del peso del material pétreo, siendo de 6% ó 70 gr de cemento asfáltico.
- La temperatura para mezclar el cemento asfáltico (AC-20) es de 135°C.
- La temperatura para mezclar el material pétreo es de 145°C.
- La temperatura para compactar la mezcla es de 132.5°C.
- El valor de la carga estática de compactación fue de 14 toneladas.
- El tiempo de aplicación de la Carga fue de 3 minutos.
- Según el tiempo de atención para la remediación de los derrames, se consideraron cuatro edades para el ensaye de las probetas: (1día, 7días, 14días y 28 días).
- Se establecieron probetas “*testigo*” las cuales sirvieron de parámetro de comparación para cada edad de exposición, evaluando para cada sustancia su influencia sobre los pavimentos asfálticos.
- El método de ensaye fue el de “tensión indirecta o ensaye Brasileño”.

Finalmente se concluye con la siguiente idea: Con la elaboración de este trabajo se cuenta con información, respaldada en comprobación experimental, donde se exponen los daños y efectos que se tienen en el concreto asfáltico, cuando se existe contacto con sustancias agresivas, para demostrar, precisamente estos efectos

# Índice

---

Resumen	I
Abstract	III
Resumen ejecutivo	V
Índice	VII
Introducción	1
<b>CAPITULO 1</b>	<b>Movimiento de sustancias agresivas en las carreteras y causas de los derrames</b>
1.1	Transporte de sustancias agresivas 3
1.2	Causas de los derrames 7
<b>CAPITULO 2</b>	<b>Propiedades físicas y químicas del concreto asfáltico</b>
2.1	Generalidades acerca de las características químicas del concreto asfáltico 9
2.2	Composición química del asfalto, elemental y molecular 13
2.3	Generalidades acerca de las características físicas del concreto asfáltico 18
2.4	Generalidades acerca del material pétreo empleado en la elaboración de probetas de concreto asfáltico 20
2.5	Composición mineralógica y análisis químico del material pétreo empleado en la elaboración de probetas de concreto asfáltico 22

**CAPITULO 3      Sustancias agresivas que se transportan a lo largo de las carreteras del país**

3.1	Química de hidrocarburos	31
3.2	Gasolina	33
3.3	Diesel	35
3.4	Ácido sulfúrico	38
3.5	Ácido clorhídrico	41
3.6	Ácido acético	46
3.7	Sosa cáustica	48

**CAPITULO 4      Diseño del experimento**

4.1	Datos de obtención del material pétreo para la elaboración de las probetas	55
4.2	Pruebas índice de calidad realizadas al material pétreo	59
4.3	Elaboración de las probetas	76
4.4	Razones de selección de las sustancias y de los periodos de inmersión	104
4.5	Método de ensaye a tensión indirecta (Ensaye Brasileño)	107

**CAPITULO 5      Discusión de resultados de ensaye a tensión indirecta a las probetas expuestas en las sustancias agresivas**

5.1	Auscultación y diagnóstico por contacto con gasolina	120
5.2	Auscultación y diagnóstico por contacto con diesel	128
5.3	Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido sulfúrico	135
5.4	Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido clorhídrico	142
5.5	Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido acético	147

5.6	Auscultación y diagnóstico por contacto con sosa cáustica	155
5.7	Auscultación y diagnóstico por contacto con agua	163
	Conclusiones	169
	Recomendaciones	173
Anexo 1	Tablas de resultados de los ensayos a tensión indirecta de las probetas expuestas en las sustancias agresivas	175
Anexo 2	Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos	179
	Bibliografía	181



## Introducción

---

La importancia de conocer la intensidad en que las sustancias agresivas son transportadas por la red carretera nacional, estriba en que de esta forma es posible cuantificar el número de vehículos que son empleados para la transportación de este tipo de carga, así como identificar el tamaño de los mismos lo que evidentemente repercute en la magnitud e impacto que este cause al concreto asfáltico en caso de ocurrir contacto de sustancias agresivas derivado de un derrame.

Con el objeto de identificar, así como el de prevenir el derrame de una sustancia agresiva se describen las causas más frecuentes por las que se suscitan estos eventos, ya que en la mayoría de los casos es factible que no aparezcan siempre y cuando se sigan las recomendaciones que se mencionan para identificar la posible causa de un derrame y de esta forma no permitir su aparición.

Más adelante se tocan puntos como lo son el conocer las características físicas y químicas del asfalto, así como la composición mineralógica del agregado pétreo empleado en la elaboración de las probetas de concreto asfáltico con el fin de conocer la interacción entre ambos componentes, dentro de la mezcla.

Para lograr el propósito mencionado anteriormente, se analiza el origen y la naturaleza del asfalto y de los agregados, el tipo de proceso de destilación empleado para la obtención de un asfalto es determinante para conocer su clasificación y de esta forma aplicarlo para fines específicos de acuerdo a sus características.

Además dependiendo del origen y naturaleza de un asfalto, la composición química tanto elemental como molecular, será variada, para lo que existen procesos para separarlo en sus componentes, de esta forma se identifica la composición del mismo, lo anterior define características físicas importantísimas como lo son: la durabilidad, adhesión y cohesión, etc, ya que el elemento que más predomine en un asfalto será el que defina sus propiedades principales.

El conocer la composición mineralógica del agregado pétreo empleado en la elaboración de las probetas de concreto asfáltico, define un aspecto muy importante como lo es la afinidad que este tenga con un asfalto determinado por lo que es muy deseable que antes de que se mezcle un asfalto con un material pétreo conocer la afinidad que exista entre ambos por ejemplo con ferró magnesianos, calcio, cuarzo, magnesio, que son minerales presentes en las rocas que son explotadas para la obtención del agregado pétreo utilizado en la elaboración de concreto asfáltico.

Con el objeto de apreciar la atención y el cuidado que exigen la transportación y manipulación de las sustancias que han sido consideradas como agresivas en este trabajo de tesis, se describen aspectos como su composición, los daños que provocan por diversos mecanismos de contacto, el impacto que estas sustancias causan en el medio ambiente, además se mencionan algunos procedimientos recomendables para la mitigación de los efectos de las sustancias y el control de derrames que se tengan de las mismas.

Se proporcionan números de identificación asignados por organismos internacionales como la O.N.U, además se mencionan sus principales propiedades físicas y termodinámicas, así como requisitos de transporte y empaque exigidos por normativas emitidas tanto por la S.C.T, como reglamentaciones de tipo ecológicas.

En lo que se refiere ya propiamente al diseño del experimento que se desarrollo para evaluar la pérdida de resistencia de concretos asfálticos por contacto de sustancias agresivas, inicialmente se muestran los datos de obtención del material pétreo empleado en la elaboración de las probetas de concreto asfáltico empleadas para la realización de este trabajo de tesis, también se muestran los resultados de pruebas índice de calidad realizados al material pétreo y al asfalto que definen parámetros para el mezclado y la compactación de la mezcla, se definen también aspectos importantes como lo son: La velocidad de aplicación de la carga, así como la intensidad de la misma, el equipo capaz de suministrar la carga y los periodos de exposición de las probetas en los contaminantes, posteriormente se detalla el método de ensaye a tensión indirecta (Ensaye Brasileño), es decir los aparatos y material necesarios para llevar a cabo dicho ensaye, el procedimiento a seguir para la obtención de resultados veraces y confiables, se mencionan también características adicionales que se deben tomar de las probetas, esenciales para la ejecución del ensaye y por ultimo la forma en que los resultados son manipulados e interpretados para observar el efecto que provoca el contacto de sustancias agresivas al concreto asfáltico.

Finalmente se discuten los resultados de los ensayos de las probetas expuestas en las diferentes sustancias al finalizar cada proceso de exposición, donde principalmente se describe el efecto en cuanto a la pérdida de resistencia a compresión diametral que sufren las probetas expuestas, otro aspecto que se detalla es el grado en que las probetas expuestas se deforman por la acción de los contaminantes, además se describe la variación del peso inicial de las probetas antes de iniciar el proceso de exposición, contra el peso final que se obtiene de las mismas al finalizar cada proceso de exposición, lo que nos lleva a descubrir que la variación del peso inicial depende esencialmente de la naturaleza de la sustancia ya que mientras algunas sustancias, hacen que el peso de las probetas disminuya otras lo incrementan al finalizar el proceso de exposición.

## ***Movimiento de sustancias agresivas en las carreteras y causas de los derrames***

El objetivo de este capítulo es mostrar la importancia que tiene el Autotransporte de Sustancias Agresivas, analizando la cantidad de unidades que se destinan para este fin para lo cual es necesario identificar los puntos de mayor demanda.

Por otra parte, debido a que la flota vehicular destinada al Transporte de Sustancias Agresivas está expuesta a una diversidad de factores que pueden provocar su derrame, se analizan estos factores describiendo las causas que pueden propiciar su aparición, se mencionan también algunas acciones que se han aplicado para verificar que los transportistas cumplan con parámetros de seguridad mínimos imputables al transporte de sustancias agresivas.

### **1.1 Transporte de sustancias agresivas.**

En el Plan Nacional de Desarrollo 1994 – 2000 se realizó el estudio y la elaboración del “Acuerdo por el que se fijan las modalidades conforme a las cuales los permisionarios del servicio de autotransporte federal de carga, podrán construir un fondo de garantía para responder por daños a terceros en sus bienes y personas, vías generales de comunicación y cualquier otro daño que pudiera ocasionar el vehículo o la carga en caso de accidente”.

Asimismo, se crea el Comité Nacional de Prevención de Accidentes en Carreteras Federales (CONAPREA); cuya función y objetivos básicos son establecer, crear y reforzar las medidas necesarias que permitan disminuir los accidentes en las carreteras federales, así como realizar las acciones tendientes a la prevención de los mismos.

La transportación de sustancias agresivas y de productos derivados del petróleo principalmente los que se emplean como combustibles y lubricantes, ocupan los niveles más altos de circulación dentro del tipo de carga al que pertenecen, razón que los hace más susceptibles a estar involucrados en accidentes que por la naturaleza de estos productos, derivan en derrames que entran en contacto directo con la superficie de rodamiento de las carreteras donde se registran dichos acontecimientos.

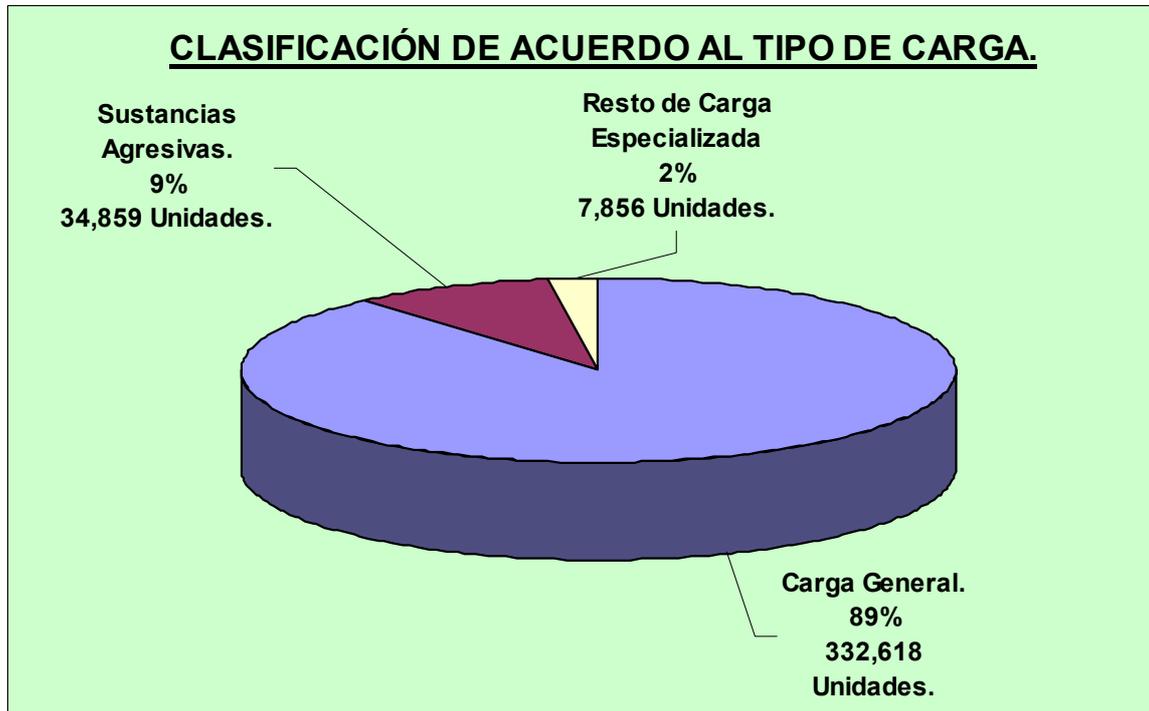
En la Tabla 1.1-I y En la Gráfica 1.1-A se muestra la clasificación de acuerdo al tipo de carga en que se encuentran las sustancias, objeto de análisis en este trabajo, así como el número de vehículos que son empleados para la movilización de las mismas.

Al mismo tiempo puede observarse que un 89% de las unidades que constituyen el autotransporte federal, se destinan al flujo de carga en general es decir, frutas, legumbres, etc, y un 11% corresponde a carga especializada donde un 2% se refiere a aquellos vehículos que transportan valores, carga con exceso de dimensiones entre otros, y un 9% lo constituyen los vehículos que transportan sustancias agresivas, y que representa una mucho mayor peligrosidad además de exigir un especial cuidado que el restante 91%, del total de la carga que se transporta en el país.

<b>CLASE DE SERVICIO</b>	<b>No. DE UNIDADES.</b>
<b>CARGA GENERAL</b>	332,618
<b>CARGA ESPECIALIZADA</b>	42,715
<b>Materiales peligrosos</b>	<b>19,935</b>
Automóviles sin rodar	1,875
<b>Petróleo y derivados</b>	<b>14,924</b>
Fondos y valores	1.622
Grúas para arrastre	1,827
Grúas , arrastre y salvamento	2,240
Vehículos voluminosos	292
<b>TOTAL</b>	<b>375,333</b>

**Tabla 1.1- I Clasificación de acuerdo al tipo de carga que se transporta.**

[D.G.A.F. y Dptos. De Autotransporte Federal (S.C.T); 2000]



**Gráfica 1.1-A Clasificación de acuerdo al tipo de carga que se transporta.**

[D.G.A.F. y Dptos. De Autotransporte Federal (S.C.T); 2000]

A continuación en las Tablas 1.1- II y 1.1- III se señalan las unidades motrices y de arrastre que se utilizan en la transportación de carga especializada, en base a cantidades de utilización de las mismas.

En la tabla 1.1-II aparecen las unidades de arrastre es decir aquellas que proporciona la fuerza de tracción para la movilización de las cargas, y en la tabla 1.1-III aparecen las unidades de arrastre es decir aquellas sobre las que se coloca la carga para su transportación, como se puede observar las que más se utilizan son las combinaciones del T3-S2 y T3-S3 en lo que se refiere a vehículos articulados, y el C-2, y C-3 en lo que respecta a vehículos rígidos.

CLASE DE SERVICIO.	UNIDADES MOTRICES						TOTAL DE UNIDADES MOTRICES.
	C-2	C-3	C-4	T-2	T-3	OTROS	
<b>TOTAL NACIONAL DE CARGA ESPECIALIZADA</b>	7,658	2,156	16	150	13,065	21	23,066

**Tabla 1.1- II Unidades motrices empleadas en la Transportación de Carga Especializada.**

[D.G.A.F. y Dptos. De Autotransporte Federal (S.C.T); 2000]

CLASE DE SERVICIO.	UNIDADES DE ARRASTRE											TOTAL DE UNIDADES DE ARRASTRE.
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	
<b>TOTAL NACIONAL CARGA ESPECIALIZADA</b>	161	11,238	7,484	10	0	2	350	249	10	0	4	<b>19,508</b>

**Tabla 1.1- III Unidades de arrastre empleadas en la Transportación de Carga Especializada.**

[D.G.A.F. y Dptos. De Autotransporte Federal (S.C.T); 2000]

Es conveniente señalar que las toneladas, son cifras estimadas en función a la flota vehicular registrada, en lo que respecta a la productividad del autotransporte de carga especializada para el año 2000, se estima que movilizó 40,060 toneladas mostrando un incremento del 9.5 % con respecto a 1999.

En la Tabla 1.1- IV se muestra esquemáticamente, el tipo de vehículos con que se movilizó la carga, así como las distancias recorridas por los mismos.

Nuevamente en esta tabla se aprecia como el T3-S2 y el T3-S3, así como el C-2 y el C-3 son los vehículos más empleados en la transportación de carga especializada por lo que son también los que más kilómetros recorren por la red Carretera Nacional, y de los que más se tienen ingresos por concepto de fletes, con destinos tanto nacionales como internacionales.

CLASE DE VEHÍCULO.	CARGA ESPECIALIZADA.	
	TONELADAS (MILES)	TONELADAS-KM (MILES)
C-2	7,141	1,285,435
C-3	2,984	671,321
C-4	54	13,457
EN COMBINACIÓN CON T-2	299	119,439
EN COMBINACIÓN CON T-3	29,582	17,749,472
<b>TOTAL</b>	<b>40,060</b>	<b>19,839,124</b>

**Tabla 1.1- IV Total de toneladas y toneladas - Kilómetro de carga Especializada.**

[D.G.A.F. y Dptos. De Autotransporte Federal (S.C.T); 2000]

## 1.2 Causas de los derrames.

Los derrames de sustancias agresivas, sobre la red carretera nacional pueden atribuirse a muy diversas causas dentro de las que destacan las siguientes: Provocados por factores humanos, un mal diseño geométrico, señalización deficiente, estado mecánico de los vehículos, condiciones atmosféricas predominantes, calidad de la superficie de rodamiento y violación a los reglamentos y normas que se aplican para el transporte de sustancias agresivas.

A continuación se detallan los aspectos que hacen que los factores descritos anteriormente sean considerados como una causa para un derrame.

El cansancio, el insomnio, y el aburrimiento son principalmente estados de ánimo que adquiere un operador después de conducir un vehículo por periodos prolongados, esto además provoca falta de concentración, distracción, reduce la agudeza visual y la capacidad para resolver un problema de tránsito, estos son pues factores humanos que pueden provocar un accidente y al tratarse de vehículos que transportan sustancias agresivas derivar en un derrame.

Una sobre elevación mal distribuida, bombeos invertidos, tramos en tangente demasiado largos, anchos de corona muy angostos, radios de curvatura mal empleados, son características no deseables en una carretera, ya que provocan una operación riesgosa de la infraestructura carretera además de provocar inseguridad a los usuarios, siendo por consecuencia causa de accidentes, que en el caso del autotransporte de sustancias agresivas causa derrames, estas características no deseables deben ser atendidas y corregidas durante el Proyecto Geométrico del Camino, para que la construcción del mismo sea bajo condiciones de operación sin riesgos.

El señalamiento tanto horizontal como vertical, han resultado ser también en algunas ocasiones causa de accidentes en la red carretera nacional, ya que por ejemplo un deficiente señalamiento vertical en curvas verticales, donde hay poca visibilidad para realizar un rebase, puede ser causa de un percance, por otro lado el inadecuado señalamiento de límites de velocidad principalmente en curvas horizontales puede provocar que un vehículo salga de equilibrio entre su masa y las fuerzas que actúan sobre él, provocando con esto volcaduras.

El estado mecánico en que se encuentre un vehículo destinado al transporte de sustancias agresivas, es determinante para que su operación sobre una carretera se desarrolle en condiciones normales, ya que una falla dentro de cualquiera de los sistemas que forman parte del funcionamiento de un vehículo es en potencia un factor para la ocurrencia de un accidente.

El clima y las condiciones meteorológicas predominantes en un determinado momento son causa de accidentes, ya que las tormentas, huracanes, nevadas y condiciones extremas de temperatura modifican aspectos funcionales en un pavimento como lo es la rugosidad, la visibilidad y en el peor de los casos la integridad en su sección estructural, un caso muy común que se presenta como consecuencia de una elevada temperatura, es el calentamiento que sufre la carpeta asfáltica que corresponde a un 40% más que la temperatura ambiente, lo que provoca que la presión de inflado de los neumáticos se incremente considerablemente derivando en muchas ocasiones en estallamiento de los mismos, y que representa también una causa de derrame, al perder el vehículo estabilidad como consecuencia del acontecimiento antes mencionado, por lo que se deben tomar medidas preventivas o definitivamente suspender el flujo vehicular en caso de que existan fenómenos como los mencionados anteriormente.

La calidad tanto estructural y de la superficie de rodamiento de un camino son condiciones que determinan que un vehículo sufra o no accidentes durante su recorrido y operación en un tramo, ya que no es el mismo efecto circular por un tramo con grandes ondulaciones y depresiones, pero que además presente fallas en la superficie de rodamiento, a circular por un tramo con características de operación adecuadas que minimizan el riesgo de accidentes.

La negligencia de autotransportistas dedicados al flujo de sustancias agresivas, de no atender como es debido y sujetarse a disposiciones establecidas en reglamentos y normas como los son aquellos vehículos que salen del marco que rige el reglamento de pesos y dimensiones, el no cumplir con el señalamiento adecuado para la carga que transportan, además de no hacerlo en los medios más adecuados es decir que reúnan parámetros de calidad como lo son calibres del acero en los autotanques, respetar las concentraciones máximas que debe tener una sustancia al ser transportada por vía terrestre y la debida atención y cuidado que deben prestar a la carga bajo su responsabilidad son algunos factores que intervienen para la ocurrencia de derrame de sustancias agresivas en la red carretera nacional.

### ***Propiedades físicas y químicas del concreto asfáltico***

#### **2.1 Generalidades acerca de las características químicas del Concreto Asfáltico.**

##### **Asfalto.**

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en México es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente.

*El Cemento Asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.*

El asfalto cambia cuando es calentado y /o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento. [Asphalt Institute; 1992]

### **Origen y naturaleza del asfalto.**

A veces hay confusión acerca del origen del asfalto, de cómo es refinado, y como se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es usado para muchos propósitos. Existe una confusión similar respecto a ciertos términos relacionados con las propiedades del asfalto.

### **Refinación del petróleo.**

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480° C (900° F). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se este refinando, o del grado de asfalto que se este produciendo. [Asphalt Institute; 1992]

### **Refinación de asfalto.**

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudo de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. En el proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre si, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes. [Asphalt Institute; 1992]

## **Clasificación y grados del asfalto.**

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido ( o cortado); y
- Asfalto emulsificado.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después de envejecimiento, y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados cada uno con diferentes rangos de consistencia.

En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. El AC – 2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60° C o 140° F) es conocido como un asfalto “blando”. El AC – 40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60° C o 140° F) es conocido como un asfalto “duro”. Por lo que el AC – 20 (cemento asfáltico con una viscosidad de 2000 poises a 60° C o 140° F) es conocido como un asfalto “medio”, y que es el tipo de Cemento Asfáltico que se usa en la elaboración de las probetas en este trabajo.

Otro sistema para clasificar el asfalto es por viscosidad después de envejecimiento. La idea es identificar cuales serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez mas, la unidad normal de medida es el poise.

Se le ha asignado la nomenclatura “AR” que corresponde a “Residuo Envejecido”, por lo tanto el AR – 10 (con una viscosidad de 1000 poises) es conocido como un asfalto “blando”. El AR – 160 (con una viscosidad de 16000 poises) es conocido como un asfalto “duro”. Por lo que el AR – 20 (con una viscosidad de 2000 poises ) es conocido como un asfalto “medio”, y que es el tipo de Cemento Asfáltico que se usa en la elaboración de las probetas en este trabajo.

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada (100 gramos). La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado ( 5 segundos) es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200 – 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas, de 200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicador de un asfalto blando. Un grado 40 – 50, por otro lado, es indicador de un asfalto “duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro, por lo que el tipo de cemento asfáltico que se esta empleando en este trabajo,

corresponde a un asfalto de grado “medio”, ya que la penetración de la aguja en este caso es de 85 - 100 décimas de milímetro, que corresponde a un grado “medio” de acuerdo a esta clasificación. [Asphalt Institute; 1992]

### **Propiedades químicas del asfalto.**

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma más ventajosa posible.

Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

- En la actualidad no hay una prueba normal para composición química de asfaltos que sea aceptada mutuamente por los vendedores, los comparadores y los usuarios del material.
- Los ensayos existentes para analizar composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.
- La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos ( combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten

gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. [Asphalt Institute; 1992]

## 2.2 Composición química del asfalto, elemental y molecular.

Antes de intentar discutir las relaciones entre la composición química y las propiedades del asfalto que afectan la durabilidad, la composición química del asfalto será revisada. El asfalto no está compuesto de elementos químicos simples, pero es una mezcla bastante compleja de moléculas orgánicas ósea amplia variación en la composición de un asfalto, hidrocarburos saturados, sistemas de alta condensación llamados aromáticos.

Un análisis elemental de varios asfaltos se muestran en la Tabla 2.2- I. Aunque las moléculas de asfalto están compuestas predominantemente de carbono e hidrógeno, la mayoría de las moléculas contienen una o más de los llamados *heteroatomos* de nitrógeno, azufre y oxígeno junto con algo de metales, principalmente vanadio y níquel.

<b>Código<sup>2</sup></b>	<b>B-2959</b>	<b>B-3036</b>	<b>B-3051</b>	<b>B-3602</b>
Origen	Mezcla Mexicana.	Arkansas Lousiana	Boscan.	California.
Porcentaje de Carbono.	83.77	85.78	82.90	86.77
Porcentaje de Hidrogeno.	9.91	10.19	10.45	10.94
Porcentaje de Nitrógeno.	0.28	0.26	0.78	1.10
Porcentaje de Azufre.	5.25	3.41	5.43	0.99
Porcentaje de Oxigeno <sup>3</sup> .	0.77	0.36	0.29	0.20
Vanadio, ppm.	180.00	7.00	1380.00	4.00
Níquel, ppm.	22.00	0.40	109.00	6.00

Tabla 2.2 – I Análisis elemental de la representación de un asfalto<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> [ H. Plancher, E.L. Green, and J.C. Petersen; 1976]

<sup>2</sup> [ J. Y. Welborn, F.R. Oglío, and J.A. Zenewitz; 1966]

<sup>3</sup> Otra diferente.

Como se observa en la tabla, los heteroatomos, aunque en menor composición comparado con las moléculas de hidrocarburo, pueden variar en concentraciones por arriba de los rangos que dependen del origen del asfalto, porque los heteroatomos a menudo se comunican de manera funcional con la polaridad de

sus moléculas, su presencia puede generar una gran desproporción de las diferencias en las propiedades físicas entre asfaltos de diferente origen.

Un análisis elemental con valores promedio revelan poca información acerca de los átomos que se incorporan a las moléculas o saber que tipo de estructura molecular esta presente. El tipo de estructura molecular es una información necesaria para entender fundamentalmente los efectos de la composición, las propiedades físicas y la actividad química.

El asfalto es indudablemente producto de organismos vivos, por ello la estructura molecular del compuesto presenta una gran diversidad. Carbonos en sistemas llamados aromáticos son estimados por correlación basados en análisis *Carbono – Hidrogeno*, [H.E. Schweyer and E.L. Chipley; 1967], [L.W. Corbett; 1967] sus densidades determinadas directamente por *resonancia magnética molecular (NMR)* . [J.W Ramsey, F.R. Mc Donald, and J.C. Petersen; 1967]

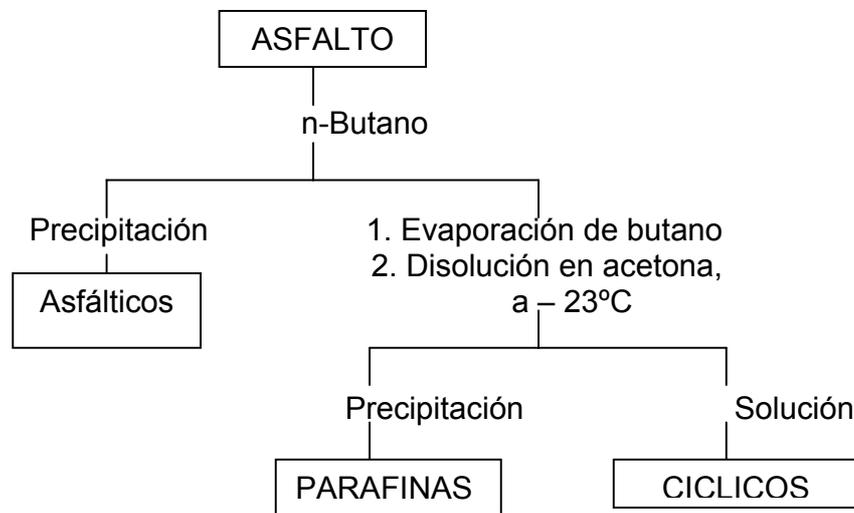
Las concentraciones de Carbono aromático determinadas por NMR presentan un contenido típico de 25 a 35 por ciento de asfalto.

La estructura molecular del hidrocarburo es muy compleja por los heteroatomos de azufre, nitrógeno, y oxígeno que están presentes en una combinación suficiente, uno o más heteroatomos por molécula pueden estar presentes. Estos pueden estar incorporados dentro de los componentes, o en un grupo químico funcional más discreto junto a estos componentes.

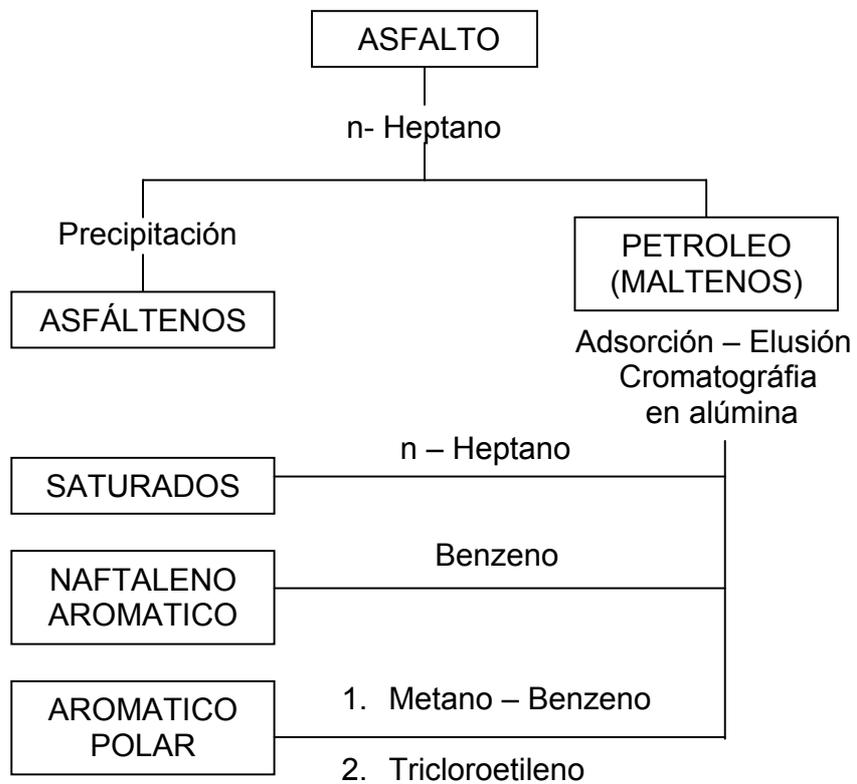
Los heteroatomos, particularmente nitrógeno y oxígeno, y el denominado sistema aromático contribuye considerablemente a la polarización de las moléculas que provocan las principales fuerzas de las propiedades físicas. [J.W Ramsey, F.R. Mc Donald, and J.C. Petersen; 1967]

**Esquemas diagramáticos que ilustran tres métodos usados para separar el asfalto en sus componentes.**

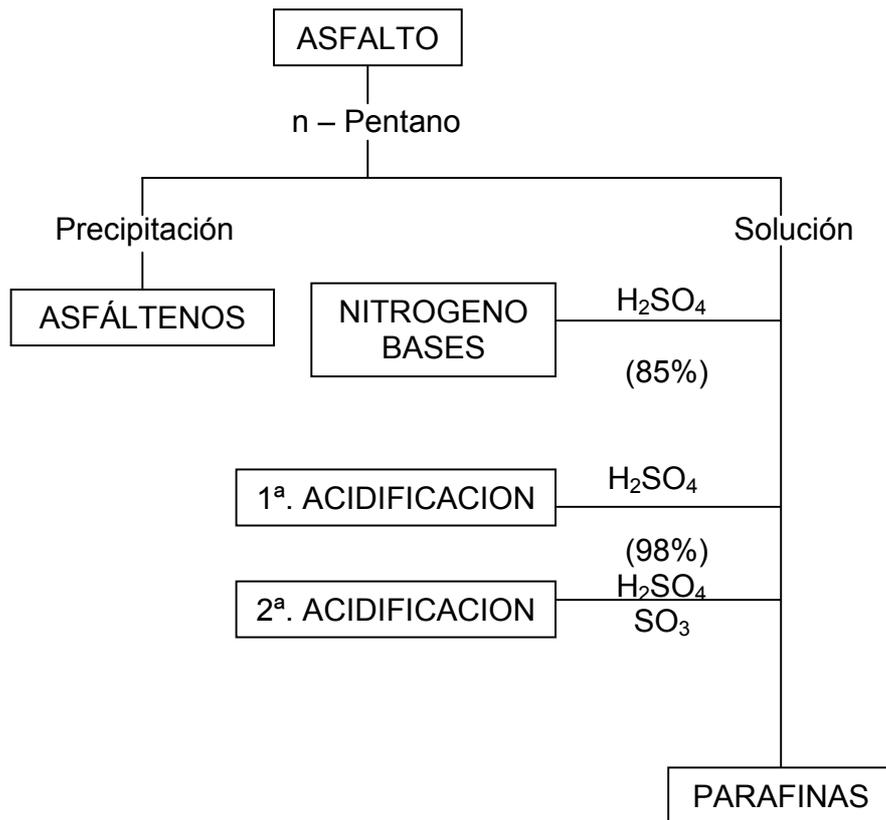
**Esquema 2.2- a. Separación parcial empleando solventes.**  
(Schweyer y Traxler, [ H.E Schweyer and R.N Traxler; 1953 ])



**Esquema 2.2-b. Selección Adsorción – Des adsorción  
(Corbett, [ L.W. Corbett; 1969 ])**



**Esquema 2.2- c. Precipitación Química.**  
(Rostler y Stenberg, [ F.S. Rostler and R.M White; 1962 ])



### **2.3 Generalidades acerca de las características físicas del concreto asfáltico.**

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

#### **Durabilidad.**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). [Asphalt Institute; 1992]

#### **Adhesión y cohesión.**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica”, y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos. [Asphalt Institute; 1992]

#### **Susceptibilidad a la temperatura.**

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado. [Asphalt Institute; 1992]

### **Endurecimiento y envejecimiento.**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación ( el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas ( como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto ( como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continua en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado. [Asphalt Institute; 1992]

## 2.4 Generalidades acerca del material pétreo empleado en la elaboración de probetas de concreto asfáltico.

### Ubicación del banco de explotación del material pétreo.

El material pétreo empleado para la elaboración de las probetas de concreto asfáltico, que posteriormente serán expuestas a las diferentes sustancias agresivas que han sido consideradas para la realización de este trabajo, y cuyo proceso se describe detenidamente en el Capítulo IV de este trabajo correspondiente al diseño del experimento, fue suministrado de la planta de trituración Abraham González “La Cañada”, ubicada en el kilómetro 8.3 de la Carretera: Querétaro – La Cañada.

La planta de trituración Abraham González “La Cañada”, pertenece al municipio de El Marques, Querétaro, a una altitud de 1,850 metros sobre el nivel del mar, con una latitud norte de  $20^{\circ} 36'$ , y una longitud oeste de  $100^{\circ} 20'$ .  
<http://ineqi.gob.mx>

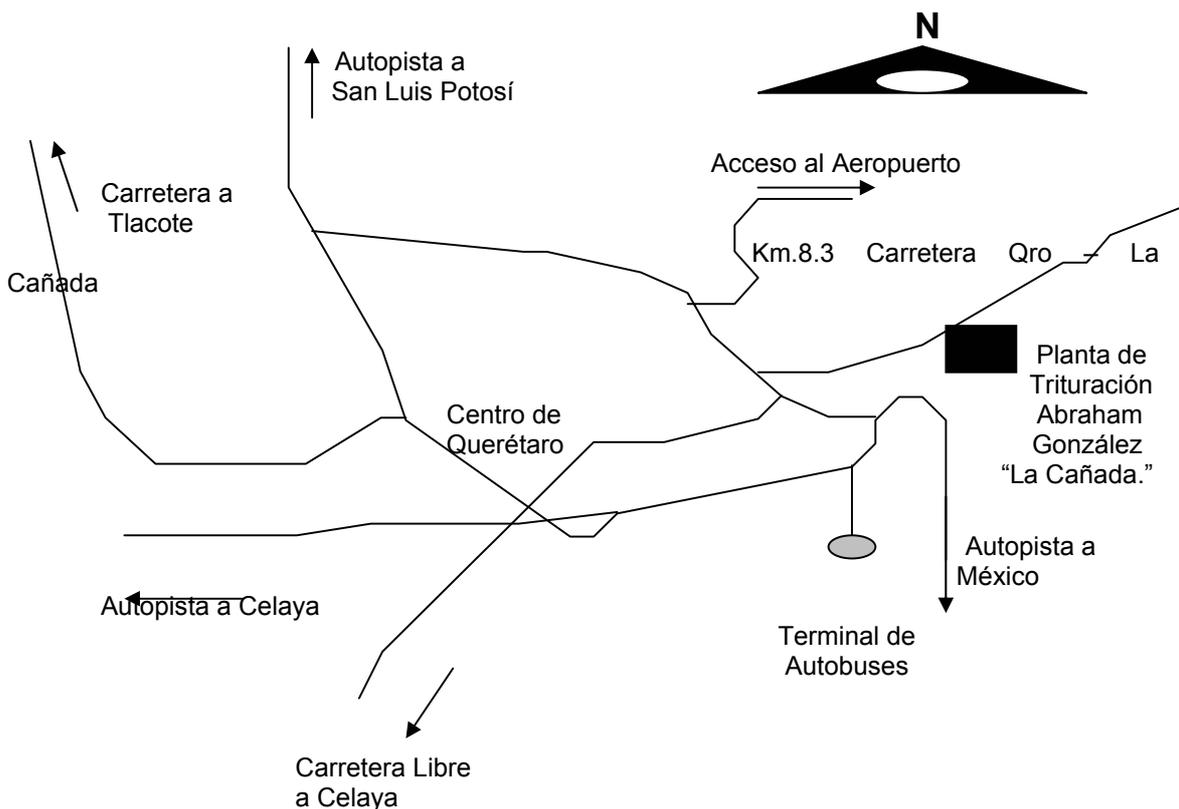


Figura 2.4-1 Croquis de localización de la Planta de trituración Abraham González “La Cañada”.

### **Geología del material pétreo.**

El macizo rocoso que se explota para la obtención del material pétreo en cuestión pertenece a la faja volcánica transmexicana, que abarca gran porción del centro y sur de Querétaro, cuya morfología esta representada por diversos tipos de estructuras volcánicas, como son conos cineríticos, volcanes compuestos, flujos piroclásticos y extensos derrames lávicos de basalto con formas de mesetas y planicies.

Se trata de una roca ígnea extrusiva, que se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del cenozoico terciario (unos 35 millones de años atrás ) hasta el presente.

La integran grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo – volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

En lo que se refiere a la geología económica, se extraen minerales metálicos y no metálicos, también se extraen rocas volcánicas como el basalto, que son utilizadas en la obtención de materiales para la construcción de obras de vías terrestres, como lo son la estructuración de capas de base, subbase, cuerpos de terraplén, incluso se extraen materiales empleados para balasto y subbalasto, además de producir material para concreto asfáltico, para la construcción de carpetas ( superficies de rodamiento), en pavimentos flexibles. <http://inegi.gob.mx>

Por las características de la formación rocosa, para la obtención de los materiales de construcción mencionados, se requiere someterla a un proceso de trituración total.

A fin de disponer del material necesario para realizar los trabajos experimentales de la presente investigación, se procedió a tomar una muestra representativa del material producto del banco y transportarla a los laboratorios de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte. Dicho material es triturado en el banco a un tamaño máximo de 38.1mm (1 ½”) y con las características granulométricas correspondientes a materiales para carpeta de pavimento.

A dicho material se le practicaron las pruebas de calidad indicadas en el punto 4.2 del Capítulo IV de este trabajo, y que se establecen en las Normas de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como las recomendadas por el Instituto Mexicano del Transporte.

## 2.5 Composición mineralógica y análisis químico del material pétreo empleado en la elaboración de probetas de concreto asfáltico.

El macizo rocoso basáltico, del cual se empleo material pétreo, producto de su explotación para la elaboración de las probetas de concreto asfáltico, esta compuesto principalmente de los siguientes minerales: Feldespatos, calcita, olivino y anfíboles, los que definen sus propiedades principales como lo son: dureza, tenacidad, afinidad con otros materiales como el asfalto , su color, entre otras características y que por tanto analizaremos cada uno de estos minerales a continuación:

### Feldespatos.

**Clase:** Silicatos.

**Subclase:** Tectosilicatos.

### Breve caracterización del grupo:

Los silicatos están formados por una red tetraédrica de grupos  $\text{SiO}_2$  con incorporación de Al y presencia, en los huecos disponibles, de cationes  $\text{Na}^+$   $\text{K}^+$  o  $\text{Ca}^{2+}$  de manera que neutralizan las cargas.

Generalmente los feldespatos se originan a alta temperatura con estructuras más desordenadas pasando, por enfriamiento, a un estado más ordenado de menor temperatura. Tal es el caso de los polimorfos **sanidina** ( de alta temperatura), **ortoclasa** ( intermedia), **microclina** (de baja temperatura).

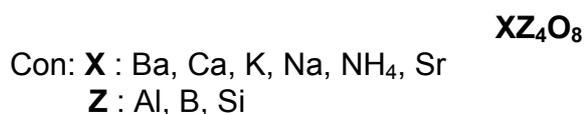
La primera presenta iones Si y Al distribuidos aleatoriamente entre las posiciones con los  $\text{K}^+$  ocupando grandes intersticios en planos de simetría perpendiculares al eje.

En el caso de la **microclina** la estructura es menos simétrica con los iones  $\text{K}^+$ . Por el contrario la distribución de Al – Si está completamente ordenada.

La **ortoclasa** presenta una estructura intermedia.

Los feldespatos suelen presentar una buena exfoliación en dos direcciones forman ángulos de  $90^\circ$ . La dureza de los minerales de este grupo es aproximadamente 6.

Los minerales de este grupo responden a la formula general:



La composición de los feldespatos más comunes puede expresarse en función de la ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) – albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) – anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ).

Donde se distinguen las dos series de las **plagioclasas** y de los **feldespatos alcalinopotásicos**.

**Minerales principales:**

Subgrupo	Mineral	Fórmula
<b>Feldespatos potásicos</b>	Microclina	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
	Ortoclasa	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
	Sanidina	$(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
<b>Plagioclasas</b>	Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
<b>Otros feldespatos</b>	Banalsite	$\text{BaNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$
	Buddingtonita	$(\text{NH}_4)\text{AlSi}_3\text{O}_8$
	Celsian	$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Dmisteinbergita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Hialofana	$(\text{K,Ba})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$
	Paracelsian	$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Reedmergnerita	$\text{NaBSi}_3\text{O}_8$
	Slawsonita	$(\text{Sr,Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Stronalsita	$\text{SrNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$
	Svyatoslavita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Tabla 2.5- I Principales minerales componentes de los Feldespatos.

[http://www.uned.es/cristamine/min\\_descr/grupos/feldespatos\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamine/min_descr/grupos/feldespatos_gr.htm)

**Calcita.**

**Formula química:**  $\text{CaCO}_3$

**Clase:** Carbonatos.

**Grupo:** de la calcita.

**Etimología:** Nombre derivado del griego y alusivo al hecho de que cuando se calienta se convierte en polvo.

**Cristalografía:**

**Sistema y clase:** Hexagonal; 32/m

**Grupo espacial:** R3c

Celda hexagonal:  $a = 4.99 \text{ \AA}$ ,  $c = 17.06 \text{ \AA}$ ,  $\gamma = 120^\circ$ ;  $Z = 4$ .

Celda romboédrica:  $a = 6.37 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 46^\circ 05'$ ;  $Z = 2$ .

**Líneas de DRX (intensidades) d's:** 3.04 (10) – 2.29(2) – 2.10 (2) – 1.913(2) – 1.875(2)

**Propiedades físicas:**

**Color:**

Incolora transparente (Espato de Islandia) o blancas, si bien algunas impurezas le dan coloraciones rojas, amarillentas, verdes, moradas, etc.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 3.

**Densidad:**  $2.710 \text{ g/cm}^3$ .

**Óptica:** Uniáxica negativa. Muy birrefringente.

**Química:**

Contiene el 56.03% de CaO y el 43.97% de CO<sub>2</sub>. El Ca puede estar sustituido por Mn, Fe y en menor medida Sr, Co, Zn, Ba, y Pb.

**Forma de presentarse:**

En cristales de buen tamaño, en dos hábitos principalmente:

En escalenoedros muy agudos (*dientes de perro*).

En escalenoedros muy obtusos coronando las bases de los prismas trigonales (*calclavo*).

También romboedros muy típicos como productos de exfoliación; en formas más espáticas, fibrosas, columnares, estalactínicas, granulares y pulverulentas. Maclas frecuentes.

**Génesis:**

Sedimento en cuencas marinas y continentales.  
Ortomagmático asociado con rocas alcalinas.  
Hidrotermal con fluorita.  
Metamórfico formando mármoles.

**Empleo:**

Para cementos, materiales cerámicos, obtención de la cal, para la fabricación de cemento Pórtland, en industria química, como fundente en menas el **Espato de Islandia** en industria óptica etc. Los mármoles como roca ornamental.  
<http://www.uned.es/cristamine/fichas/calcita.htm>

**Olivino.**

**Clase:** Silicatos.

**Subclase:** Nesosilicatos.

**Breve caracterización del grupo:**

A este grupo pertenecen los silicatos del tipo



Donde **A**= Mg, Fe, Mn, Ni, Co, Zn, Ca, Pb.

Todos ellos con excepción del Ca y Pb, se sustituyen por vía isomorfa los unos a otros. Estos dos últimos elementos, dadas las grandes dimensiones de sus radios iónicos, condicionan la formación de compuestos dobles.

Las propiedades físicas y ópticas de los minerales del grupo varían en función del contenido químico, así por ejemplo las variedades de olivino pobres en FeO (<13%) biáxicas positivas y las ricas por el contrario negativas.

**Minerales principales:**

Existen abundantes minerales dentro de este grupo existiendo una serie continua miscibilidad entre la **fayalita** (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) y la **Forsterita** (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) con los siguientes intermedios en función del contenido en porcentaje molecular en **fayalita** (Fe):

0-10: **Forsterita**.  
 10-30: **Crisolito**.  
 30-50: **Hyalosiderita**.  
 50-70: **Hortonolita**.  
 70-90: **Ferrohortolita**.  
 90-100: **Fayalita**.

Igualmente existe otra entre la **Fayalita** ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) y la **Tefrorita** ( $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ ), (según betejtin, 1977).

Se denomina **Talasskita** al olivino con hasta un 10% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Por su parte la **Knebelita** posee hasta un 10% de ZnO. Es propio de zonas de metamorfismo de contacto en inclusiones en yacimientos con hierro.

El Ti a veces sustituye en parte al Si dando lugar al **Titanolivino**.

Son bastante raros los términos cálcicos **Monticelita** ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) y **Kirschsteinita** ( $\text{CaFe}^{2+}\text{SiO}_4$ ).

Es de común uso el término **peridoto**, del griego “peri” alrededor y “dona” abundante por las múltiples caras que presentan los cristales.

Mineral	Fórmula
Fayalita	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$
Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$
Tefroita	$\text{Mn}^{2+}_2\text{SiO}_4$
Liebenbergita	$(\text{Ni},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$

Tabla 2.5- II Principales minerales componentes del Olivino.

[http://www.uned.es/cristamine/min\\_descr/grupos/olivino\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamine/min_descr/grupos/olivino_gr.htm)

### Anfíboles.

**Clase:** Silicatos.

**Subclase:** Inosilicatos.

#### Breve caracterización del grupo:

La estructura en doble cadena de los anfíboles respecto a los piroxenos da lugar a ángulos de exfoliación típicos de este grupo de  $56^\circ$  y  $124^\circ$ .

Por otra parte la presencia de grupos OH ocasiona una disminución de sus estabildades térmicas respecto a los piroxenos, más refractarios.

Los anfíboles más comunes pueden representarse por su composición en el sistema químico **antofilita** ( $\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) – **grunerita** ( $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) – **Ca<sub>7</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>**, de una manera análoga a los piroxenos. Se define una serie completa en **tremolita** ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) y la **ferroactinolita** ( $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) de anfíbola monoclinicos denominándose los términos intermedios **actinolita**.

La serie **antofilita** comprende los términos entre **Mg<sub>7</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>** y **Fe<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>** correspondiente a anfíboles ortorrómbicos. La serie **cummingtonita** ( $\text{Fe}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), **grunerita** ( $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) por el contrario comprende anfíboles monoclinicos y separada de la anterior por un hueco de miscibilidad que se refleja en la aparición de **antofilita – tremolita**.

Igualmente un hueco de miscibilidad existe entre los anfíboles cálcicos y la serie **cummingtonita** ( $\text{Fe}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) – **grunerita** ( $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ).

Los anfíboles que contienen sodio se agrupan en la serie **glaucofana** ( $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_2$ ) – **riebeckita** ( $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ).

La fórmula general de los minerales de este grupo corresponde a:



Con **A** = Ca, Na, K, Pb

**B** = Ca, Fe<sup>2+</sup>, Li, Mg, Mn<sup>2+</sup>, Na

**Y** = Al, Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg, Mn<sup>2+</sup>, Ti

**Z** = Al, Be, Si, Ti

[http://www.uned.es/cristamine/min\\_desc/grupos/anfib\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamine/min_desc/grupos/anfib_gr.htm)

**Minerales principales:**

<b>Subgrupo</b>	<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>
<b>Anfíboles monoclinicos</b>	Tremolita	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferroactinolita	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Cummingtonita	$(\text{Mg}, \text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrohornblenda	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Glaucofana	$\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Arfvedsonita	$\text{Na}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Aluminokatoforita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{AlSi}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Barroisita	$\text{NaCa}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Clinoholmquistita	$\text{Li}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Crossita	$\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Dannemorita	$\text{Mn}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Eckermannita	$\text{Na}_3(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{AlSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Edenita	$\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrikatoforita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{mg})_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferri – winchita	$\text{CaNaMg}_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferro – actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrobarroisita	$\text{NaCa}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_2(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrocclinoholmquistita	$\text{Li}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferro – eckermakita	$\text{Na}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{AlSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferro – edenita	$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferro – ferri – tschermakita	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferroglaucofana	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrokaersutita	$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Ti}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferropargasita	$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrorrichterita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrotschermakita	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_2(\text{Si}_8\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrowinchita	$\text{NaCa}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{AlSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Fluororrichterita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{F}, \text{OH})$
	Hastingsita	$\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Fe}^{3+}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Joesmitita	$\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{Ti}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Kornita	$(\text{K}, \text{Na})(\text{Na}, \text{Li})_2(\text{Mg}, \text{Mn}^{3+}, \text{Li}, \text{Fe}^{3+})_5(\text{OH})_2$	
Kozulita	$\text{Na}_3\text{Mn}^{2+}_4(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_{22}$	

**Tabla 2.5- III Principales minerales componentes de los Anfíboles.**

**Minerales principales:**

Subgrupo	Mineral	Fórmula
Anfiboles monoclinicos	Leakeita	$\text{NaNa}_2(\text{Mg,Fe}^{2+}_2\text{Li})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioaluminokatoforita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{AlSi}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioarfvedsonita	$\text{Na}_3(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioclinoholmquistita	$\text{Li}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesiocummingtonita	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioferrikatoforita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesiohastingsita	$\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Fe}^3(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})$
	Magnesiohornblenda	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioriebeckita	$\text{Na}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesiosadanagaita	$(\text{K,Na})\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Al,Fe}^{3+},\text{Ti})_5(\text{Si,Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnasiotaramita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Nyboita	$\text{NaNa}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Pargasita	$\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Al}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Potasiofluorrichterita	$(\text{K,Na})(\text{Ca,Na})_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{F,OH})_2$
	Richterita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Sadanagaita	$(\text{K,Na})\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg,Al,Fe}^{3+},\text{Ti})_5(\text{Si,Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Taramita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Tirodita	$\text{Mn}^{2+}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Tschemakita	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Winchita	$\text{NaCa}(\text{Mg,Fe}^{2+})_4\text{AlSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Anfiboles rómbicos	Riebeckita	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Antofilita	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferroantofilita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferrogedrita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_5\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferroholmquistita	$\text{Li}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Gedrita	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Holmquistita	$\text{Li}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesio – antofilita	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesiogedrita	$(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Magnesioholmquistita	$\text{Li}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Sodioantofilita	$\text{Na}(\text{Mg,Fe}^{2+})_7(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	sodiogedrita	$\text{Na}(\text{Mg,Fe}^{2+})_6\text{Al}(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

**Tabla 2.5- III Principales minerales componentes de los Anfíboles.**



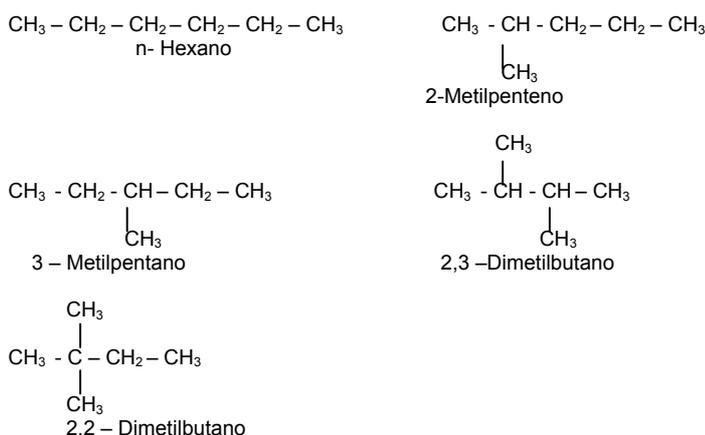
### ***Sustancias agresivas que se transportan a lo largo de las carreteras del país.***

Se han considerado siete sustancias para desempeñar la función de contaminantes, ya que en el caso de los derivados del petróleo, son utilizados principalmente como combustibles tanto en la industria como en el funcionamiento de una gran diversidad de máquinas y automotores, otras sustancias han sido tomadas en cuenta ya que la magnitud en que son utilizadas como materia prima para la elaboración de una gran diversidad de productos es muy importante, razón por la cual la circulación de estas por la red carretera nacional es intensa. Además de las sustancias mencionadas anteriormente se incluye el agua, por ser un elemento cuya presencia es de fácil ocurrencia y por cuestiones naturales, que se ha visto es también un agresor a las propiedades de los Pavimentos Asfálticos.

A continuación se describen algunas de las características más relevantes de las sustancias mencionadas anteriormente, con el objeto de visualizar y entender la magnitud de importancia y cuidado que requieren.

#### **3.1 Química de hidrocarburos.**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno principalmente, y en menor medida por otros elementos entre los que destacan el azufre, nitrógeno y oxígeno. Debido a las posibilidades de combinación del carbono se presenta en este tipo de compuestos lo que se denomina como *isomería*, la cual puede definirse brevemente como la propiedad que tienen los compuestos de presentar la misma fórmula condensada, pero diferente estructura molecular. [James G. Speight; 1991]



**Esquema 3.1- a Isómeros del Hexano. Alcano de Fórmula  $C_n H_{2n+2}$**

A medida que se introduce una insaturación, las posibilidades de isomería aumentan considerablemente, por la posibilidad de expresar ésta como un doble enlace o bien un anillo; como se podrá imaginar cuando hay un número muy grande de átomos de carbono el número de isómeros se incrementa de una manera muy importante.

La fuente más importante de hidrocarburos la constituye, el petróleo el cual es una mezcla muy compleja de hidrocarburos de diferente peso molecular, que van desde los gases utilizados como combustibles, hasta los residuos formados por compuestos con intervalo de ebullición arriba de 600°C. El petróleo sin embargo debe someterse a procesos de refinación, para la obtención de productos más valiosos desde el punto de vista comercial. [Harold A. Wittcoff, Bryan G. Reuben; 1985]

<b>Forma del petróleo</b>	<b>Valor del petróleo</b>
Como petróleo crudo	X
Como combustible	2X
Como producto petroquímico (promedio)	13X
Como producto de consumo (promedio)	55X

**Tabla 3.1- I Valor comercial de los productos y derivados del petróleo.**

Los procesos de refinación pueden dividirse en tres tipos principales:

- 1.- *Separación*. Es la división del crudo en varias corrientes o fracciones, dependiendo de la naturaleza del crudo.
- 2.- *Conversión*. Es la producción de materiales comerciales a partir del petróleo crudo, normalmente esto se logra por modificación en la estructura (isomerización) o por alteración en la composición química de, los constituyentes del petróleo crudo.

3.- *Terminado*. Se refiere a la purificación de varias corrientes de producto por medio de una variedad de procesos que remueven esencialmente impurezas del producto. [Maury Schlossman, Wesley, a Parker, Lewis C. Yen; 1994]

### 3.2 Gasolina.

La gasolina ha evolucionado desde inicios del siglo pasado, donde de representar un problema de disposición, pasó a ser uno de los combustibles más importantes en la actualidad.

Los combustibles derivados del petróleo, se obtienen a partir de la destilación del crudo, y de un tratamiento en procesos posteriores.

***Al igual que todos los combustibles provenientes del petróleo, la gasolina no es un compuesto puro, sino una mezcla determinada por el corte que se lleva a cabo en la destilación que se realiza, la cual esta formada por una gran cantidad de compuestos, muchos de los cuales se encuentran emparentados entre sí estructuralmente, lo que químicamente se conoce como isomería. [ Ronald F. Probst, R. Edwin Hicks; 1982]***

De un proceso de destilación por método de (TIEMPO DE RETENCIÓN), el cual consiste en medir el tiempo en que tardan en evaporarse los compuestos de una gasolina para su identificación se encontraron los siguientes:

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1.- Isobutano.           | 14.- Tolueno.               |
| 2.- n – Butano.          | 15.- Ethylbenzeno.          |
| 3.- Isopentano.          | 16.- m – Xyleno.            |
| 4.- Pentano.             | 17.- p – Xyleno.            |
| 5.- 2-3 Dimethylbutano.  | 18.- o – Xyleno.            |
| 6.- 2 - Methypentano.    | 19.- 1 – Methyl – 3 ethylo  |
| 7.- 3 - Methypentano.    | 20.- 1,3,5 – Trimethylo.    |
| 8.- Hexano.              | 21.- 1,2,4 – Trimethylo.    |
| 9.- 2,4 Dimethylpentano. | 22.- 1,2,3 – Trimethylo.    |
| 10.- Benzeno.            | 23.- Naphthaleno.           |
| 11.- 2 – Methylhexano.   | 24.- 2 – Methylnaphthaleno. |
| 12.- 3 - Methylhexano.   | 25.- 1 – Methylnaphthaleno. |
| 13.- n – Heptano.        |                             |

**Tabla 3.2- I Obtención de los componentes de la Gasolina por el Método de Tiempo de Retención. [Milton L. Lee, Bob, W. Wright; 1980]**

Si se analiza la gasolina desde diversos puntos, iniciando por la combustión, para ello conocemos que la estructura de un hidrocarburo tiene una fuerte influencia sobre sus características como combustible, por ejemplo tenemos que los hidrocarburos de cadena lineal dan origen a un proceso de combustión insatisfactorio, por la tendencia que tienen a detonar bajo las condiciones de presión de los motores de combustión interna, produciendo un “golpeteo”, mismo que puede dañar al motor de un automóvil de forma permanente ; como en el petróleo se encuentran éste tipo de hidrocarburos para evitar este inconveniente

se somete a los destilados a procesos químicos que modifican la estructura original de los hidrocarburos, dando como resultado una gasolina de mejor calidad y que cumple además con normas establecidas, como por ejemplo la calidad de ignición y las emisiones.

La calidad de ignición de una Gasolina o la capacidad de quemarse de manera uniforme sin detonar ni producir el golpeteo es una de sus características más importantes y para poder determinarla, se estableció una escala denominada "Índice de Octano" o "Número de Octano", basada en dos sustancias de referencia: Una que es el isooctano (2,2,4 – Trimetilpentano) y que tiene una baja tendencia a detonar, asignándosele arbitrariamente un índice de octano de 100; la otra sustancia es el  $n$  – Heptano con propiedades fuertemente detonantes y a la cual se le atribuye un índice de octano igual a cero. El combustible que se está probando se compara con una serie de mezclas de isooctano y de heptano, hasta que se encuentra una que tiene el mismo grado de detonación que el combustible y entonces el % de isooctano en esta mezcla da el número de octano del combustible probado, así si la gasolina tiene un poder de detonación igual al de una mezcla de 80% de isooctano y 20% de Heptano, entonces se dice que la gasolina tiene un índice de octano de 80.

Generalmente las  $n$  – Parafinas tienen números de octano más bajos que las ramificadas, esto es mayor poder detonante, en tanto que las olefinas (alquenos) y los hidrocarburos aromáticos presentan números de octano altos o menor capacidad de detonación.

La gasolina no solo debe tener un número de octano alto como ya se indicó, sino que además debe de presentar otras características como un bajo contenido de azufre y ciertas propiedades fisicoquímicas, que se alcanzan con la incorporación de aditivos. En lo que se refiere al contenido de azufre, se tienen dos problemas principales, el de la **corrosión y el del impacto ambiental**.

Los compuestos de azufre se encuentran principalmente como tioéteres, heterociclos aromáticos y azufre elemental en el petróleo crudo, son compuestos agresivos puesto que favorecen la corrosión en una gran diversidad de materiales, en la que el **concreto asfáltico** no está exento de este ataque, llegando a causar un deterioro serio tanto a la superficie de rodamiento, como a la estructura interna del mismo, es por ello que la cantidad de azufre contenido en una gasolina se reduce cada vez más porque las normas ecológicas son cada día más estrictas, este azufre se encuentra en forma de compuestos químicos que al quemarse producen la corrosión o como compuestos de azufre desactivan el poder ligante del asfalto y son antagonistas de los agregados pétreos que constituyen al **concreto asfáltico** por lo cual la tendencia actual es a su eliminación hacia porcentajes cada vez más pequeños como se ha mencionado. [Oil and Gas Journal; 1992]

### 3.3 Diesel.

El diesel es también como la gasolina una mezcla compleja de hidrocarburos, pero con un rango de ebullición mayor, que se sitúa entre los 290 y 360 °C, esto debido a que los compuestos son de un peso molecular mayor al de las gasolinas. Como combustible en las máquinas de combustión interna, éste compite cada vez más con la gasolina, ocupando un segundo lugar muy cercano respecto a este combustible, incrementando su consumo año con año. A diferencia de los motores de gasolina, los de diesel emplean un sistema de ignición diferente, que consiste en la compresión de aire, mediante el presurizado del aire por parte de los pistones y la inyección de combustible atomizado casi al final de la compresión, el cual se quema por el calor de la compresión.

Un tiempo de ignición largo causa pérdida de la potencia y emisión de humo y gases contaminantes, por tanto el diesel al igual que en el caso de la gasolina debe presentar algunas características. El procedimiento usado para medir el número de octano en la gasolina, solo que en este caso se determina el “Índice o Número de Cetano” para este fin. Aquí al cetano (*n* – hexadecano), el cual presenta una calidad de ignición alta, se le asigna un número de cetano de 100 en la escala; por otra parte, originalmente se empleo el 1 – Metilnaftaleno para representar el cero en la escala, pero más recientemente se ha utilizado el 2,2,4,4,6,8,8 – Heptametilnonano (HMN) el cual tiene un número de cetano de 15 como referencia para combustible de bajo poder de ignición. La determinación del Número de Cetano del combustible diesel que se estudia en particular, se realiza al igual que en el caso de la gasolina comparando mezclas de los dos compuestos de referencia y asignando el número de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Número de Cetano} = \% \text{ Cetano} + 0.15 * (\% \text{HMN}).$$

Por ejemplo si tenemos un combustible con igual poder de ignición que el de una mezcla de 35% de cetano y 65 % de HMN, su Número de Cetano será de 45.

Como se había dicho anteriormente el número de cetano de un combustible, depende principalmente del tipo de hidrocarburos que contenga, en general, las parafinas tienen números de cetano altos, los aromáticos números de cetano bajos y las olefinas y cicloparafinas números de cetano intermedios. Los números de cetano regularmente se encuentran entre 35 y 65, para poder tener un combustible que de una potencia máxima y menos emisiones, puesto que números de cetano mayores conducirían a una combustión rápida e incompleta, lo cual se traduciría en pérdida de potencia y emisión alta de partículas y gases contaminantes.

El diesel se obtiene de un corte del petróleo crudo, y a diferencia de la gasolina el mejor diesel, es aquel que contiene un alto contenido de parafinas lineales y cicloparafinas y un bajo contenido de aromáticos y parafinas ramificadas, por lo cual los procesos de desintegración que dan lugar a un combustible con alto

porcentaje de aromáticos, olefinas y cíclicos no es muy adecuado como combustible diesel. De hecho el Diesel SIN utilizado en nuestro país proviene directamente de la destilación del petróleo crudo, específicamente de la fracción denominada gasóleo ligero primario, al que se le somete a un proceso de hidrogenación catalítica denominado hidrotreamiento o hidrodesulfuración, como en el caso de las gasolinas, entonces se logra también la reducción de una parte importante de los hidrocarburos aromáticos, por lo cual el diesel SIN que utilizamos en la actualidad, presenta un contenido de azufre tan bajo como el 0.05% y esta formado principalmente por parafinas, entre un 65 y un 70%, cumpliendo así con las normas de calidad más altas en el mundo, por último para salir al mercado, al gasóleo se le adicionan algunos aditivos como antioxidantes y estabilizantes, entre otros, y a esta mezcla es a lo que se le conoce como Diesel.

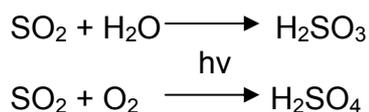
Anteriormente se utilizaba a gran escala como combustible diesel también el gasóleo pesado y el aceite cíclico ligero y pesado, este último de origen sintético, obtenido de procesos de desintegración, sin embargo por la calidad de la ignición para estos cortes se han reducido paulatinamente su consumo, puesto que su contenido de parafinas era bajo y además de estas una parte importante eran ramificadas y cicloparafinas; el contenido de aromáticos era también muy alto y dentro de estos había una fracción importante de hidrocarburos poliaromáticos; por último el contenido de azufre llegó a representar porcentajes tan altos como del 0.5% al 1%, es decir de 10 a 20 veces más alto que el actual, lo cual significa que un Kg de combustible con estas características producía una contaminación tan solo por azufre equivalente a la que producen 10 a 20 kg del combustible diesel SIN actual. [ Oil and Gas Journal; 1992 ] [ J. W. Cook; 1950 ]

### **Impacto ambiental.**

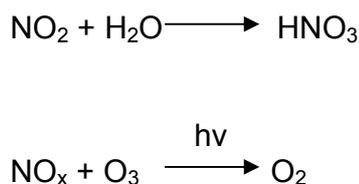
Durante muchos años se hizo uso masivo de los combustibles, buscando únicamente procesos que permitieran cubrir la demanda cada vez más creciente que se tenía de ellos, de una forma económica, por lo cual los combustibles contenían muchas veces porcentajes altos de compuestos de azufre, nitrógeno, plomo, benceno e hidrocarburos poliaromáticos (HPA).

Los residuos de diesel, tienen una gran cantidad de hidrocarburos, parcialmente quemados y por tanto químicamente modificados; además de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), partículas de carbón y óxido de azufre SO<sub>2</sub>. Sin embargo desde la década de los setentas se empezó a legislar en varios países para la reducción gradual de emisiones, ya que empezaron a representar problemas serios en varios aspectos, siendo uno de los más importantes el que se refiere a la infraestructura, esto es a la red vial dentro de las grandes ciudades, o a la red carretera de un país viéndose mayor afectados aquellos construidos de **concreto asfáltico**, ya que debido al poder abrasivo de los componentes del diesel, este tiene un alto grado de vulnerabilidad.

Para iniciar el contenido de azufre en los combustibles se limitó severamente, puesto que el SO<sub>2</sub> generado durante la combustión de los compuestos de azufre, al entrar en contacto con la humedad daba origen a la formación de ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) y peor aún en las condiciones atmosféricas era susceptible a oxidarse para dar trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), el cual en contacto con el agua del medio daba origen al corrosivo ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); esto lo podemos expresar de manera muy simplificada, mediante ecuaciones químicas:



Los óxidos de nitrógeno se producen por la combustión de compuestos que tienen este elemento, sin embargo provienen principalmente de la oxidación del nitrógeno atmosférico en la cámara de combustión de los motores y dan lugar con la humedad al ácido nítrico y al mismo tiempo mediante reacciones foto químicas catalizan la destrucción de la capa de ozono en la alta atmósfera:



Los óxidos de nitrógeno y azufre como se observa en las ecuaciones anteriores originaban ácidos, que al disolverse en la humedad de la atmósfera, daban origen a la lluvia ácida, siendo responsables del deterioro de pavimentos, la acidificación de las aguas de ríos y lagos, con la consiguiente muerte en algunos casos de flora y fauna, por el cambio de PH y el daño a los bosques.

*Cuando los combustibles por alguna razón se derraman en el pavimento, representan un problema de contaminación muy difícil de resolver, pues los hidrocarburos del petróleo permanecieron millones de años en las profundidades del subsuelo en contacto con la biosfera y por tanto pocos organismos han desarrollado la capacidad de degradarlos fácilmente. De los hidrocarburos los HPA son los más difíciles de degradar, por sus propiedades químicas. Sin embargo en la actualidad se buscan diversas soluciones encaminadas a la remediación de suelos, algunas de tipo químico, que en ocasiones tienen un alto costo económico y ecológico y las biológicas mas económicas y amigables con el medio ambiente. Sin embargo aun falta mucho por hacer. [ W. R West, Philip A. Smith, Gary M. Booth, Stephen A. Wise, Milton Lee; 1985 ] [ Ronald L. Williams, Joseph M. Perez, Margaret E. Griffing; 1985 ]*

### **3.4 Ácido sulfúrico.**

El ácido sulfúrico es un líquido oleoso, incoloro o marrón oscuro, inodoro cuando está frío. El producto es completamente soluble en agua. No es inflamable, pero es un oxidante fuerte y altamente reactivo, que puede carbonizar la madera e incendiar materiales combustibles por contacto. El contacto con la mayoría de los metales genera gas hidrógeno inflamable y potencialmente explosivo. El producto pesa de 1.5 a 1.8 kilos por litro, dependiendo de la concentración. El ácido sulfúrico concentrado reacciona violentamente con agua con desprendimiento de calor. Puede haber salpicaduras si se añade agua al ácido en vez de lo contrario. El producto es altamente corrosivo para muchos metales y los tejidos corporales. Los humos y vapores son más pesados que el aire.

La concentración del ácido sulfúrico que se utilizó en la realización de este trabajo fue del 98% en estado líquido, de apariencia transparente.

En caso de fuego o explosión se debe usar equipo de respiración autónomo, ropa protectora para ácidos y contra incendio, no permitir que el agua se introduzca en los contenedores, los contenedores se deben mantener a una baja temperatura. En caso de incendio cerca de las áreas de manejo y almacenamiento de ácido, utilice polvo químico seco o bióxido de azufre.

Reacciona con la mayoría de los metales para producir gas hidrógeno, que puede formar una mezcla explosiva con el aire, una reacción violenta exotérmica puede ocurrir si entra en contacto directo con agua. Se puede producir suficiente calor para encender materiales combustibles.

Más que presentarse una combustión ocurriría la descomposición obteniéndose como productos dióxido de azufre e hidrógeno. Sustancias que sufren con facilidad un cambio químico violento a temperatura y presiones elevadas. Sustancias que reaccionan violentamente con el agua o forman mezclas potencialmente explosivas con el agua.

El ácido sulfúrico es incompatible con: ácidos minerales no oxidantes, ácido nítrico, ácidos orgánicos cáusticos, amoníaco, aminas alifáticas y aromáticas, alcanos aminas, amidas, anhídridos orgánicos, acetato de vinilo, óxido de alquilenos, cetonas.

En caso de ingestión accidental, produce náusea, vómito, dolor estomacal, severas quemaduras en boca, garganta y estómago, disfunción en riñones, cefalea, somnolencia, dolor muscular, convulsiones y coma. En estos casos se debe administrar o dar a beber de 125 a 250 ml de agua. El paciente debe estar conciente y con el reflejo del vómito. No utilizar medicamentos eméticos, ni provocar vómito.

En caso de contacto con los ojos provoca conjuntivitis química y quemaduras severas, las medidas de mitigación de estos daños consisten en retirar a la víctima del área contaminada y enjuagar manteniendo los párpados levantados con abundante agua si el globo ocular está íntegro, de lo contrario cubrir con un vendaje suelto y transportar al paciente inmediatamente.

Si existe contacto con la piel y absorción de este producto, provoca quemaduras severas además de resequedad y agrietamiento, para combatir estos efectos se debe retirar a la víctima del área contaminada, con mucho cuidado se debe absorber el exceso de líquidos que se encuentren presentes. Enjuagar al paciente con agua y quitar vestimenta, herramienta, joyas y zapatos.

Cuando este producto es inhalado provoca, insuficiencia respiratoria, edema pulmonar agudo, hiperpnea y taquipnea, irritación severa del sistema respiratorio e inflamación pulmonar. Los primeros auxilios que se deben dar es retirar a la víctima del área contaminada, y ponerlo en un lugar fresco y bien ventilado, colocarlo acostado, si no respira asistirlo con respiración si es necesario administrar oxígeno de 10 a 15 lpm. Esta sustancia no es cancerígena, aunque si mutagénica y teratogénica.

**Para combatir fugas o derrames es necesario tener una fórmula rápida, estandarizada y efectiva para eliminar el derrame. El material derramado debe contenerse con diques o barrera evitando que entre a los drenajes o fuentes de agua, neutralizar el derrame con ceniza, sosa o cal. Absorber el líquido con material absorbente apropiado. Con pala limpia, colocar el material en envase limpio y seco para posteriormente taparlo.**

**Disponer el contenedor para confinamiento, tratamiento o desperdicio corrosivo. El personal deberá utilizar el equipo de protección personal y protección respiratoria, según sea el caso.**

**Para su manejo se deben utilizar guantes para ácidos (Ej. Guante de hule butilo o su equivalente), goggles con protección lateral no usar lentes de contacto, utilizar mascarilla contra vapores si la concentración en el aire es muy característica.**

**Fórmula:**  $H_2SO_4$ .

**Peso molecular:** 98.08 g/mol.

**Composición:** 98.1 % de ácido sulfúrico.

### Números de identificación:

CAS: 7446 – 09 – 5
ONU: 1830.
Límite permisible de concentración: 1 mg / m <sup>3</sup> .
Familia química: Acidos inorgánicos.

### Propiedades físicas y termodinámicas:

Temperatura de ebullición: 340° C.
Temperatura de fusión: 10.49° C.
Densidad relativa: 1.834.
Densidad de vapor de aire: 3.40.
Peso Molecular: 98.08.
Estado físico, color y olor: Líquido, de claro amarillo con olor etéreo.
Solubilidad en agua: 100%.
Presión de vapor mm Hg 20° C: < 0.3
Otros datos: Soluble en alcohol en 100 partes.
Productos peligrosos de la descomposición: Dióxido de azufre e hidrógeno.
Polimerización espontánea: No puede ocurrir.

### Requisitos de transporte y empaque.

Debe estar de acuerdo con el reglamento para el Transporte Terrestre de materiales y residuos peligrosos y con las normas que para tal efecto se expiden.

El vehículo donde se transporte tendrá que ir identificado señalando las características tales como:

Líquido corrosivo.

ONU: 1830.

Teléfono de emergencia.

Debe estar de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas:

Considerar lo señalado en cuanto a compatibilidad y acciones a seguir en caso de fuga, derrame, etc.

Conténgase el material derramado mediante dique y neutralice inmediatamente. La niebla ácida debe evitarse por ser corrosiva.

Algunas precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento:

Identificar mediante código de colores así como con el rombo de identificación de riesgos.

Mantener cerrados los contenedores, siendo estos a prueba de corrosión y mantener bien ventilada el área.

Aislar de materiales incompatibles, asegurándose de que los contenedores no presenten fugas.

Lavarse las manos y equipo empleado con agua y jabón después de la utilización de este producto.

No se debe ingerir alimentos cuando se esté manipulando el producto.

[ Productos Tóxicos Corrosivos Gases Tóxicos, Clase 26 Ácido Sulfúrico; 2001]

### **3.5 Ácido clorhídrico.**

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa de cloruro de hidrógeno. El nombre de ácido muriático, con el que también se le conoce, le fue dado por Lavoisier, basado en el hecho de que “muriato” indicaba la presencia de cloro en los compuestos inorgánicos. Es un líquido de color amarillo ( por presencia de trazas de fierro, cloro o materia orgánica) o incoloro con un olor penetrante. Está presente en el sistema digestivo de muchos mamíferos y una deficiencia de éste, provoca problemas en la digestión, especialmente, de carbohidratos y proteínas; un exceso provoca úlceras gástricas.

La concentración del ácido clorhídrico que se utilizo en la realización de este trabajo fué del 32% en estado líquido, de coloración amarillenta y al contacto con materiales calizos eférvese considerablemente.

La disolución acuosa grado reactivo contiene aproximadamente 38% de HCl. Es utilizado en la refinación de minerales, en la extracción de estaño y tántalo, para limpiar metales, como reactivo químico, en la hidrólisis de almidón y proteínas para obtener otros productos alimenticios y como catalizador y disolvente en síntesis orgánica.

Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas mucosas. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Es corrosivo de metales y tejidos. Para su obtención se tienen diferentes procesos industriales, entre los cuales se encuentran: la reacción entre cloruro de sodio o potasio con ácido sulfúrico; la reacción de bisulfuro de sodio con cloruro de sodio, conocido como proceso Meyer, el proceso Hargreaves, en el cual se usa óxido de azufre, sal y vapor.

Los productos de la descomposición de este compuesto son los siguientes: Cloruro de hidrógeno. Reacciona con la mayoría de metales desprendiendo hidrógeno.

Con agentes oxidantes como peróxido de hidrógeno, ácido selénico y pentóxido de vanadio, genera cloro, el cual es muy peligroso. Se ha informado de reacciones violentas entre este ácido y los siguientes compuestos: permanganato de potasio o sodio y en contacto con tetranitrato de tetraselenio, 1,1 – difluoroetileno, aleaciones de aluminio – titanio y ácido sulfúrico.

Para su manejo es necesario utilizar lentes de seguridad y, si es necesario, guantes de neopreno, viton o hule butílico, nunca de PVA o polietileno en lugares bien ventilados. No deben usarse lentes de contacto cuando se utilice este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, siempre utilizar pro pipetas, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA. Si se manejan cantidades grandes de este producto, es necesario utilizar un equipo de respiración autónoma sin partes de aluminio.

No es inflamable, se produce gas inflamable cuando se encuentra en contacto con metales. Se generan vapores tóxicos e irritantes de cloruro de hidrógeno cuando se calienta.

El ácido clorhídrico y concentraciones altas de gas, son altamente corrosivas a la piel y membranas mucosas.

En el caso de exposiciones agudas, los mayores efectos se limitan al tracto respiratorio superior. El gas causa dificultad para respirar, tos e inflamación y ulceración de nariz, tráquea y laringe. Exposiciones severas causan espasmo de la laringe y edema en los pulmones y cuerdas vocales. Una exposición prolongada y repetida puede causar decoloración y corrosión dental. En algunos casos, se han presentado problemas de gastritis y bronquitis crónica.

En humanos, la exposición a una concentración de 50 a 100 ppm por una hora fué muy poco tolerada; de 35 ppm por un momento, causó irritación de la tráquea y de 10 ppm fue tolerada. Por otra parte, estudios con animales han demostrado que una exposición a concentraciones altas del gas provoca daños en otros órganos. Las exposiciones constantes a bajas concentraciones del gas no tienen efectos inmediatos y no producen cambios morfológicos.

Este ácido es un irritante severo de los ojos y su contacto con ellos puede causar quemaduras, reducir la visión o, incluso, la pérdida total de ésta. En forma de vapor o disoluciones concentradas causa quemaduras serias, dermatitis y foto sensibilización. Las quemaduras pueden dejar cicatrices, que incluso pueden desfigurar las regiones que han sido dañadas.

Produce corrosión de las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago. Los síntomas que se presentan son: disfagia, náuseas, vómito, sed intensa y diarrea. Puede presentarse, incluso, colapso respiratorio y muerte por necrosis del esófago y estómago. No se han observado estos efectos en estudios con ratas, sin embargo se ha observado una alta mortalidad por cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a neblinas de ácido clorhídrico y sulfúrico.

En caso de inhalación se debe mover al afectado al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial y mantenerlo caliente y en reposo, no dar a ingerir nada. Si está conciente, suministrar oxígeno, si es posible, y mantenerlo sentado, pues puede presentarse dificultad para respirar.

En caso de contacto con los ojos lavar inmediatamente con agua corriente, asegurándose de abrir bien los párpados. En caso de contacto con la piel lavar inmediatamente la zona dañada con agua en abundancia. Si ha penetrado a la ropa, quitarla inmediatamente y lavar la piel con agua abundante.

En caso de ingestión no provocar vómito, en caso de que la víctima este inconsciente, dar respiración artificial y mantenerla en reposo y caliente. Si está consiente dar a beber un poco de agua continuamente, por ejemplo una cucharada cada 10 minutos.

En todos los casos de exposición, el paciente debe ser transportado al hospital tan pronto como sea posible.

Para el control de fuego, los extinguidores de fuego se eligen dependiendo de los alrededores, ya que este compuesto no arde. Usar agua como neblina para enfriar todos los contenedores afectados. Aplicarla tan lejos como sea posible.

**Para el control de fugas y derrames, ventilar el área y protegerse con el equipo de seguridad necesario. Cubrir el derrame con bicarbonato de sodio o una mezcla 50:50 de hidróxido de calcio y cal sodada y mezclar cuidadosamente. Se genera calor por la neutralización. Por lo que si el ácido derramado es concentrado, primero debe construirse un dique que lo contenga y diluir con agua en forma de spray para disminuir los vapores generados durante la neutralización. Barrer y asegurarse que los residuos se han neutralizado antes de desechar el drenaje. Esto último se hace con ayuda de agua en abundancia.**

**Si el derrame es mayor, mantenga el material alejado de fuentes de agua y drenajes. Construir diques para contenerlo. Use neblina de agua para bajar los vapores, esta disolución es corrosiva, por lo que debe almacenarse para ser neutralizada antes de verterse al drenaje. Para neutralizar el material derramado, se utiliza cal, carbonato de calcio o cal sodada. El derrame puede contenerse cavando un pozo o haciendo un dique con tierra, sacos de arena o espuma de poliuretano. El líquido puede absorberse con cemento en polvo y neutralizarse posteriormente como en el caso ya mencionado.**

**Los desechos deben diluirse cuidadosamente con agua, neutralizar con carbonato de calcio o cal. La disolución resultante puede verterse al drenaje, con abundante agua. Debe almacenarse en lugares secos, bien ventilados, alejado de materiales oxidantes y protegido de daños físicos.**

**Fórmula:** HCl.

**Peso molecular:** 36.46 g/mol.

**Composición:** Cl: 97.23% y H: 2.76%.

**Números de identificación:**

CAS: 7647 – 01 – 0 RTECS: MW 4025000
ONU: 1789 NFPA: Salud: 2 Reactividad:0 Fuego: 0
NIOSH: MW 4025000 HAZCHEM CODE: 2R
NOAA: 5020 El producto está incluido en: CERCLA, 313 STCC: 4960228 MARCAJE: LIQUIDO CORROSIVO.

**Propiedades físicas y termodinámicas:**

Presión de vapor (A 17.8° C): 4 atm.
Densidad del vapor : 1.27.
Densidad del gas (a 0° C): 1.639 g/l.
Índice de refracción de disolución 1.0 N (a 18° C): 1.34168.
Densidad de disoluciones acuosas peso /peso (15° C): 1.05 (10.17%); 1.1(20%); 1.15(29.57%); 1.2 (39.11%).
Puntos de congelación de disoluciones acuosas: -17.14° C (10.81%); -62.25° C (20.69%); -46.2° C (31.24%); -25.4° C(39.17%).
Puntos de ebullición de disoluciones acuosas: 48.72° C (50.25 mm de Hg y 23.42% en peso); 81.21° C (247.5 mm de Hg y 21.88% en peso); 97.58° C (495 mm de Hg y 20.92% en peso); 106.42° C (697.5 mm de Hg y 20.36% en peso) y 108.58° C (757.5 mm de Hg y 20.22% en peso).
Punto de ebullición del azeótropo con agua conteniendo 20.22 % de HCl (760 mm de Hg): 108.58° C.
PH de disoluciones acuosas: 0.1 (1.0 N); 1.1 (0.1N); 2.02 (0.01N); 3.02(0.001N); 4.01(0.0001N).

**Niveles de toxicidad.**

IDLH: 100ppm.
RQ: 5000.
LCLo (inhalación en humanos) : 1300 ppm / 30 min; 3000/5 min.
LC <sub>50</sub> (inhalación en ratas) : 3124 ppm / 1h.
LD <sub>50</sub> (oral en conejos): 900 mg / kg.
México : Estados Unidos: CPT: 5ppm (7mg/m <sup>3</sup> ) TLV – C: 5 ppm (7 mg/ m <sup>3</sup> )
Reino Unido: Francia: Periodos largos: VLE: 5 ppm (7.5mg/m <sup>3</sup> )
Periodos Cortos: 5 ppm (7mg/m <sup>3</sup> ).
Alemania : Suecia: MAK: 5 ppm (7mg/m <sup>3</sup> ) Ceilling limit: 5ppm (8 mg/m <sup>3</sup> ).

**Requisitos de transporte y empaque:**

Transportación terrestre y Transportación Aérea:

Marcaje: 1789, sustancia corrosiva. Código ICAO/IATA.

Código HAZCHEM: 2R disolución: 1789.

Transportación marítima: anhidro: 1050

IMGD : 8183.

Clase: 8 disolución: 8.

Marcaje: corrosivo anhidro: 2.8.

Marcaje: disolución corrosivo.

Cantidad Máxima en Vuelos Comerciales:

Disolución: 1l.

Anhidro: Prohibido.

Cantidad Máxima en Vuelos de Carga:

Disolución:30 l.

Anhidro: Prohibido.

Debe estar de acuerdo con el reglamento para el Transporte Terrestre de materiales residuos peligrosos y con las normas que para tal efecto se expiden.

El vehículo donde se transporte tendrá que ir identificado señalando las características tales como:

Líquido corrosivo.

ONU: 1789.

Teléfono de emergencia.

Debe estar de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas:

Considerar lo señalado en cuanto a compatibilidad y acciones a seguir en caso de fuga, derrame, etc.

Conténgase el material derramado mediante dique y neutralice inmediatamente. La niebla ácida debe evitarse por ser corrosiva.

Algunas precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento:

Identificar mediante código de colores así como con el rombo de identificación de riesgos.

Mantener cerrados los contenedores, siendo estos a prueba de corrosión y mantener bien ventilada el área.

Aislar de materiales incompatibles, asegurándose de que los contenedores no presenten fugas.

Lavarse las manos y equipo empleado con agua y jabón después de la utilización de este producto.

No se debe ingerir alimentos cuando se esté manipulando el producto.

[ Hoja de Seguridad III, Ácido Clorhídrico; 2001]

### 3.6 Ácido acético.

El ácido acético es un líquido incoloro con olor a frutas, inflamable, menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella. Sus vapores son más densos que el aire.

Se obtiene por destilación lenta de una mezcla de ácido acético, alcohol etílico y ácido sulfúrico, o bien, a partir de acetaldehído anhidro en presencia de etóxido de aluminio. Se usa en esencias artificiales de frutas, como disolvente de nitrocelulosa, barnices y lacas, en la manufactura de piel artificial, películas, placas fotográficas, seda artificial, perfumes y limpiadores de telas, entre otros.

La concentración del ácido acético que se utilizó en la realización de este trabajo fue del 99% en estado líquido, incoloro, con un grado de volatilidad semejante al de la gasolina, con un olor muy parecido al vinagre.

Los productos de su descomposición son: monóxido y dióxido de carbono. En general es incompatible con agentes oxidantes, bases, ácidos y humedad. Reacciona vigorosamente con ácido clorosulfónico y dihidroaluminato.

En caso de riesgos de fuego o explosión, se puede combatir con niebla de agua, espuma, CO<sub>2</sub> y polvo químico seco, además se debe usar aparato de respiración autónomo con mascarilla facial completa y traje protector completo, el polvo químico seco, espuma de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El agua puede ser poco efectiva para combatir un incendio pero debe ser usada para enfriar contenedores y estructuras expuestas al fuego y proteger al personal. Si el derrame no ha provocado incendio, ventilar el área, usar agua para dispersar gas o vapor y alejar el material derramado de fuentes de ignición.

Los vapores del producto forman con aire mezclas inflamables o explosivas a temperatura ambiente, además pueden alcanzar fuentes de ignición distantes, se acumulan en áreas bajas y se concentran en áreas confinadas. Además se producen compuestos que son nocivos para la salud como: Monóxido de carbono (CO) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Radiactivamente la sustancia es estable, aunque puede haber efectos peligrosos cuando el producto se expone a calor o flama, existe gran incompatibilidad con fuertes agentes oxidantes y reductores, metales comunes (excepto Aluminio), aminas, fuertes ácidos y bases.

Cuando ocurre ingestión accidental puede provocar, quemaduras en la boca, náuseas, vómito, diarrea, hemólisis, daño a tracto digestivo, para controlar estos efectos se recomienda tomar de 1 a 3 vasos de agua o leche para diluir el producto.

En caso de inhalación accidental, provoca irritación en el tracto respiratorio, bronquitis, edema pulmonar, convulsiones, daño cardiovascular, para disminuir estos efectos se recomienda permanecer en una zona con aire fresco y si la respiración se dificulta, administrar oxígeno.

Si se tiene contacto con la piel, aparecerán quemaduras, inflamación, daño del tejido, en este caso hay que lavar el área dañada con agua y jabón, si el contacto es en los ojos también provocara quemaduras, conjuntivitis, visión borrosa, destrucción de cornea para mitigar este efecto se debe enjuagar con abundante agua al menos por 15 minutos. Además el producto puede provocar necrosis de la cavidad bucal, esófago y estómago.

En caso de fuga o derrame mantener alejadas fuentes de ignición, mojar con agua la zona del derrame en caso de pequeños derrames utilizar material absorbente y neutralizar el producto con sosa o cal, se debe evitar en todo momento que el producto sea conducido al drenaje público.

Deben utilizarse respirador contra vapores, guantes, botas, gafas, pantalla facial y usar pantalón y camisola 100% algodón, se recomienda ventilación de escape local.

**Fórmula:** CH<sub>3</sub>COOH.

**Peso molecular:** 60.05 g/mol.

**Composición:** Ácido acético (80 – 99.8%).

**Números de identificación:**

CAS: 64 – 19 – 7.
ONU: 2789.
CPT, CCT o P (ppm): CPT 10; CCT15.
IPVS(ppm): 50
Familia química: Ácidos orgánicos carboxílicos.

**Propiedades físicas y termodinámicas:**

Temperatura de ebullición: 118.30° C.
Temperatura de fusión: 16.00° C.
Temperatura de inflamación: copa abierta 43° C, copa cerrada 40° C.
Temperatura de auto ignición: 465° C.
Densidad relativa: 1.05.
Densidad de vapor (aire = 1): 2.07.
Peso molecular: 60.05.
Estado físico, color y olor: Líquido incoloro, con fuerte olor a vinagre.
Velocidad de evaporación (butil – acetato = 1): 0.97
Solubilidad en agua(%): 100.00
Presión de vapor (mm Hg 20° C): 15.70.
% de Volatilidad: 100.00.

Límites de inflamabilidad o explosividad: (% vol): Inferior: 5.30, Superior: 16.60.
Viscosidad (cP): 1.22
Polimerización espontánea: No puede ocurrir.

### Requisitos de transporte y empaque:

La norma oficial Mexicana NOM – 002 – SCT2/1994 lista al Ácido Acético como sustancia peligrosa, clase 8, Número ONU 2789. El expedidor, el transportista y el destinatario deben de estar actualizados con los requisitos que señala el **“Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos”**:

Es responsabilidad del usuario del producto conocer la **“Ley general de equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente”**, así como sus reglamentos y normas vigentes.

Si el producto es liberado a la atmósfera se degrada a la fase de vapor por una reacción con radicales hidróxilo producidos fotoquímicamente. Si se libera tanto en agua como en tierra se biodegrada rápidamente. DBO: 52 a 62 %, 5 días.

Evitar el contacto con ojos, piel o ropa, e inhalación de vapores. Mantener los contenedores cerrados. Mantener el producto con adecuada ventilación, evitando condiciones que generen calor, flama o chispas.

Debe instalarse una conexión a tierra física en equipos y líneas usados durante el almacenamiento y transferencia del producto para reducir la energía estática capaz de generar fuego o explosión. Lavar la ropa usada, en caso de ocurrir contaminación. Almacenar en el contenedor original a temperatura ambiente o baja y protegerlo contra daño físico. [ Hoja de datos de Seguridad, Ácido Acético; 2001]

### 3.7 Sosa cáustica.

El hidróxido de sodio es un líquido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50% por su facilidad de manejo. Es soluble en agua desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza entre otros usos. La concentración de la Sosa Cáustica que se utilizó en la realización de este trabajo fué del 50% en estado líquido, viscoso.

Se obtiene principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn, y Sn, generando aniones como  $\text{AlO}_2^-$ ,  $\text{ZnO}_2^{2-}$  y  $\text{SnO}_3^{2-}$  e hidrógeno. Con los óxidos de estos metales, se forman aniones y agua. Con zinc metálico, se provoca ignición.

Se ha informado de reacciones explosivas entre el hidróxido de sodio y nitrato de plata amoniacal caliente, 4- cloro-2-metil-fenol, 2-nitro anisol, cimetálico, N,N-bis(trinitro-etil)-urea, azida de cianógeno, 3-metil-2penten-4-in-1-ol, nitribenceno, tetrahidrobórato de sodio, 1,1,1- tricloroetanol, 1,2,4, tetraclorobenceno y circonio metálico. Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas o violentas. La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable.

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.

Este compuesto no es inflamable sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales. Es soluble en agua generando calor.

El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo de los tejidos. Los casos más comunes de accidentes son por contacto con la piel y ojos, así como inhalación de neblinas o polvo. La inhalación de polvo o neblina causa irritación y daño del tracto respiratorio. En caso de exposición a concentraciones altas, se presenta ulceración nasal.

A una concentración de 0.005-0.7  $\text{mg}/\text{m}^3$ , se ha informado de quemaduras en la nariz y tracto. En estudios con animales, se han reportado daños graves en el tracto respiratorio, después de una exposición crónica.

El NaOH es extremadamente corrosivo a los ojos por lo que las salpicaduras son muy peligrosas, pueden provocar desde una gran irritación en la córnea, ulceración, nubosidades y, finalmente, su desintegración. En casos más severos puede haber ceguera permanente, por lo que los primeros auxilios inmediatos son vitales. Tanto el NaOH sólido, como en disoluciones concentradas es altamente corrosivo a la piel.

Se han realizado biopsias de piel en voluntarios a los cuales se aplicó una disolución de NaOH 1N en los brazos de 15 a 180 minutos, observando cambios progresivos, empezando con disolución de células en las partes callosas, pasando por edema y llegar hasta una destrucción total de epidermis en 60 minutos.

Las disoluciones de concentración menor al 0.12% dañan la piel en aproximadamente 1 hora. Se han reportado casos de disolución total de cabello, calvicie reversible y quemaduras del cuero cabelludo en trabajadores expuestos a disoluciones concentradas de sosa por varias horas. Por otro lado, una disolución acuosa al 5% genera necrosis cuando se aplica en la piel de conejos por 4 horas. Causa quemaduras severas en la boca, si se traga el daño es además en el esófago produciendo vómito y colapso. Este producto está considerado como posible causante de cáncer de esófago, aún después de 12 a 42 años de su ingestión provoca carcinogénesis puede deberse a la destrucción del tejido y formación de costras, más que por el producto mismo, se ha encontrado que este producto es no mutagénico.

En caso de inhalación se debe retirar del área de exposición hacia una bien ventilada. Si el accidentado se encuentra inconsciente, no dar a beber nada, dar respiración artificial y rehabilitación cardiopulmonar. Si se encuentra conciente, levantarlo o sentarlo lentamente, suministrar oxígeno, si es necesario. En caso de contacto con los ojos lavar con abundante agua corriente, asegurándose de levantar los párpados, hasta eliminación total del producto, en caso de contacto con la piel quitar la ropa contaminada inmediatamente. Lavar el área afectada con abundante agua corriente. En caso de ingestión no provocar vómito, si el accidentado se encuentra inconsciente, tratar como en el caso de inhalación. Si está conciente, dar a beber agua inmediatamente y después, cada 10 minutos.

Para el control de fuego pueden usarse extinguidores de agua en las áreas donde haya fuego y se almacene NaOH, evitando que haya contacto directo con el compuesto.

**En caso de derrame, ventilar el área y colocarse ropa de protección necesaria como lentes de seguridad, guantes, overoles químicamente resistentes, botas de seguridad. Mezclar el sólido derramado con una arena seca, neutralizar con HCl diluido, diluir con agua, decantar y tirar al drenaje, la arena puede desecharse como basura domestica. Si el derrame es de una disolución, construir un dique y neutralizar con HCl diluido, agregar gran cantidad de agua y tirar al drenaje.**

**Para pequeñas cantidades, agregar lentamente y con agitación, agua y hielo. Ajustar el pH a neutro con HCl diluido. La disolución acuosa resultante puede tirarse al drenaje diluyéndola con agua. Durante la neutralización se desprende calor y vapores, por lo que debe hacerse lentamente y en lugar ventilado adecuadamente. El hidróxido de sodio debe ser almacenado en un lugar seco, protegido de la humedad, agua, daño físico y alejado de ácidos, metales, disolventes clorados, explosivos, peróxidos orgánicos y materiales que puedan arder fácilmente.**

**Fórmula:** NaOH.

**Peso molecular:** 40.01g/mol.

**Composición:** Na: 57.48%; H:2.52% y O:40.00%

**Números de identificación:**

CAS: 1310-73-2 RTECS: WB4900000
ONU: sólido: 1823 NFPA: Salud:3 Reactividad: 1 Fuego: 0 disolución: 1824 HAZCHEM CODE: 2R.
NIOSH: WB 4900000 El producto está incluido en: CERCLA, EHS, SARA, RCRA.
NOAA: 9073 MARCAJE: SOLIDO CORROSIVO.
STCC: 4935235

**Propiedades físicas y termodinámicas:**

Punto de Ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)
Punto de fusión: 318.4°C
Índice de refracción a 589.4 mm: 1.433 (a 320°C) y 1.421 (a 420°C)
Presión de vapor: 1mm (739°C)
Densidad : 2.13 g/ml (25°C)
Solubilidad: soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona ( aunque reacciona con ella) y éter. 1g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.
PH de disoluciones acuosas (peso / peso): 0.05%:12;0.5%:13y5%:14

**Propiedades de disoluciones acuosas de NaOH:**

Concentración (% peso/peso)	D <sub>4</sub> <sup>15</sup>	Punto de Congelación (°C)	Punto de Ebullición (°C):
5	1.056	-4	102
10	1.111	-10	105
20	1.222	-26	110
30	1.333	1	115
40	1.434	15	125
50	1.530	12	140

**Calor específico:** 0.35 cal/g °C (20°C).

**Calor latente de fusión:** 40 cal/g.

**Calor de formación:** 100.97 kcal/mol (Forma Alfa) y 101.95 Kcal/mol (Forma Beta).

**Calor de transición de la forma alfa a la beta:** 24.69 cal/g.

**Temperatura de transición:** 299.6°C.

**Energía libre de formación:** 90.7 Kcal /mol ( a 25°C y 760 mm de Hg).

**Niveles de toxicidad:**

LD <sub>50</sub> (en conejos): 500ml/kg de una disolución al 10%
Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/24h, severa
Niveles de irritación a ojos de conejos: 4 mg, leve; 1% o 50 microg/24 h, severo.
RQ: 1000
IDLH: 250mg/m <sup>3</sup> .
<b>México: Estados Unidos</b> – CPT: 2 mg/m <sup>3</sup> TLV-C: 2 mg/m <sup>3</sup>
<b>Reino Unido: Francia:</b> Periodos largos: 2mg/m <sup>3</sup> VME: 2 mg/m <sup>3</sup> Periodos cortos: 2 mg/m <sup>3</sup> .
<b>Alemania: Suecia:</b> MAK: 2 mg/m <sup>3</sup> Límite máximo: 2 mg/m <sup>3</sup>

**Requisitos de transporte y empaque:**

Transportación terrestre y transportación aérea:

Marcaje: Código ICAO/IATA (No. ONU).

Sólido: 1823. Sustancia corrosiva. Sólido:1823

Disolución: 1824. Sustancia corrosiva, disolución: 1824

HAZCHEM Code: 2R. Clase:8

Cantidad máxima en vuelo de carga:

Sólido: 50 Kg.

Disolución: 30 l.

Transportación marítima: Marcaje: corrosivo.

Clase: 8 sólido: 15 Kg.

Marcaje: corrosivo, disolución: 1l.

Debe estar de acuerdo con el reglamento para el Transporte Terrestre de materiales residuos peligrosos y con las normas que para tal efecto se expiden.

El vehículo donde se transporte tendrá que ir identificado señalando las características tales como:

Líquido corrosivo.

ONU: 1823.

Teléfono de emergencia.

Debe estar de acuerdo con las reglamentaciones ecológicas:

Considerar lo señalado en cuanto a compatibilidad y acciones a seguir en caso de fuga, derrame, etc.

Conténgase el material derramado mediante dique y neutralice inmediatamente. La niebla ácida debe evitarse por ser corrosiva.

Algunas precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento:

Identificar mediante código de colores así como con el rombo de identificación de riesgos.

Mantener cerrados los contenedores, siendo estos a prueba de corrosión y mantener bien ventilada el área.

Aislar de materiales incompatibles, asegurándose de que los contenedores no presenten fugas.

Lavarse las manos y equipo empleado con agua y jabón después de la utilización de este producto.

No se debe ingerir alimentos cuando se esté manipulando el producto.

*La información contenida en este trabajo es proporcionada sin garantía de ninguna clase. El usuario deberá considerar estos datos como suplemento de información que puede obtener de otras fuentes y deberá hacer sus propias determinaciones del uso de estos materiales, así como tomar sus propias medidas de seguridad para proteger las Vías Terrestres de Comunicación, principalmente aquellas construidas con CONCRETO ASFALTICO. [ Hoja de Seguridad II, Hidróxido de Sodio Sosa Cáustica; 2001]*

**Otras referencias consultadas:**

[ The Merk Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologocals; 1983 ]

[ GENIUM'S Handbook of Safety, Health, and Enviromental Data for Common hazardous substances; 1999 ]

[ NOM – 010 – STP ; 1998 ]



### ***Diseño del experimento.***

En este capítulo se hace una semblanza de los aspectos más importantes que fueron tomados en cuenta para la formulación de este trabajo tales como: las sustancias que fueron consideradas como agresivas, la duración de los procesos de exposición de probetas, el proceso que se siguió para la elaboración de las probetas de concreto asfáltico, para tal efecto se exponen las características de los materiales que se emplearon determinadas a partir de pruebas índice de calidad realizadas a los mismos, posteriormente se describen diferentes procesos de elaboración de las probetas para elegir aquel con el que se obtengan parámetros tanto mecánicos como geométricos requeridos para el desarrollo del experimento.

Además se mencionan aspectos importantes que influyen en la determinación de resultados obtenidos a partir del ensayo a tensión indirecta que es discutido en relación a las bondades que representa su utilización en esta investigación.

#### **4.1 Datos de obtención del material pétreo para la elaboración de las probetas.**

Para la obtención del material pétreo con que se elaboraron las probetas de Concreto Asfáltico, se realizó un muestreo, para lo cual fue necesario visitar un banco de material del cual se presentan los siguientes datos:

Lugar de obtención o banco: Planta de trituración Abraham González “LA CAÑADA”

Ubicación: Km 8.3 Carretera Querétaro – La Cañada.

Tamaño del material: Para carpeta asfáltica de  $\frac{3}{4}$  a finos.

Tamaño de la muestra aproximado: 2.5 m<sup>3</sup>.

Peso aproximado de la muestra: 3,800 Kg.



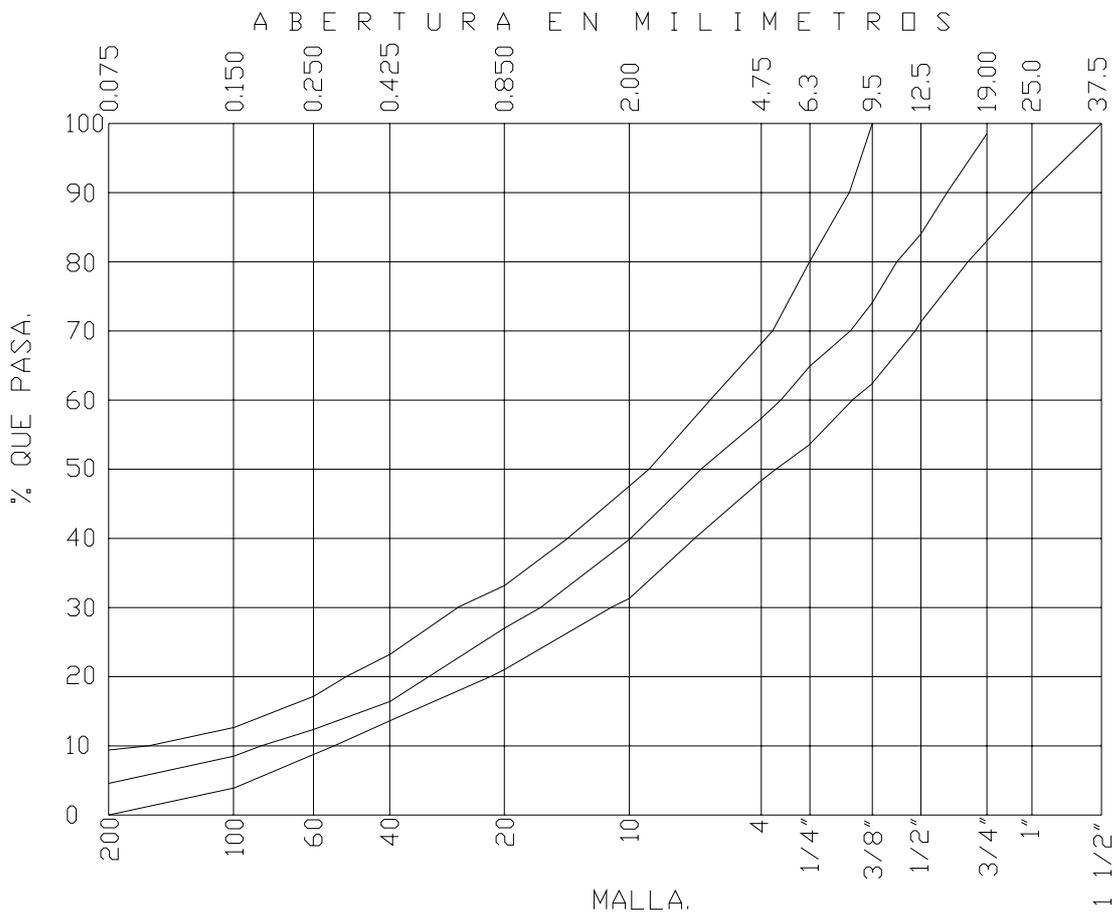
**Figura 4.1-1 Banco de obtención del material pétreo.**



**Figura 4.1-2 Muestreo del material pétreo para la elaboración de probetas de concreto asfáltico.**

Las probetas tipo Marshall de concreto Asfáltico, se elaboran de acuerdo a la granulometría que recomienda, El Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, Documento Técnico 1 del Instituto Mexicano del Transporte (S.C.T). [ Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros; 1991]

ZONA GRANULOMÉTRICA RECOMENDABLE PARA  
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN  
CONCRETOS ASFALTICOS.



**En la Gráfica 4.1- A Se muestra la curva granulométrica recomendada por el manual de calidad de materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros.**

MALLA	% QUE PASA	% RETENIDO
25.0 (1")	100%	0%
19.0 (3/4")	100%	0%
12.5 (1/2")	85%	15%
9.5 (3/8")	74%	11%
6.3 (1/4")	65%	9%
4.75 (No.4)	57%	8%
2.00 (No.10)	40%	17%
0.850 (No.20)	28%	12%
0.425 (No.40)	18%	10%
0.250 (No.60)	13%	5%
0.150 (No.100)	9%	4%
0.075 (No.200)	4%	5%
<b>SUMA</b>		<b>96%</b>

$$\begin{array}{r}
 96\% \text{ --- SUMATORIA DEL RETENIDO EN MALLAS} \\
 + \quad 4\% \text{ ---- MATERIAL QUE PASA LA MALLA 200.} \\
 \hline
 100\%
 \end{array}$$

**Tabla 4.1- I Tabla de Granulometría recomendada por el Manual de Calidad de los materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros.**

Antes de fabricar las probetas se realizan al material pétreo las siguientes pruebas para conocer los parámetros de calidad de las partículas que componen la muestra:

- 1).- Peso Volumétrico.
- 2).- Granulometría.
- 3).- Desgaste de los Ángeles.
- 4).- Absorción y Densidad.
- 5).- Forma de la partícula.

Para realizar las pruebas antes mencionadas, previamente se realiza un proceso de homogenización y secado del material pétreo (FORMANDO UN CONO), posteriormente se reduce por proceso de cuarteo para la obtención de muestras representativas.

Una vez concluida la etapa de homogenización del material se procede a extenderlo (CONO TRUNCADO), más o menos a una altura de 15 a 20 cm, esta operación se ejecuta para facilitar el cuarteo.

El proceso de reducción por cuarteo consiste esencialmente en lo siguiente:

Del primer cuarteo del total de la muestra se toman dos cuartos opuestos y se unen mediante un proceso de mezclado y homogenización del material para formar nuevamente un cono el cual posteriormente también se trunca para realizar un nuevo cuarteo, esta operación se realiza las veces que sea necesaria para obtener un tamaño que se considera suficiente, para una muestra representativa, y que se toma para realizar las pruebas correspondientes de calidad del agregado.



**Figura 4.1- 3 Cuarteo del material pétreo para la elaboración de probetas de Concreto Asfáltico.**

#### **4.2 Pruebas índice de calidad realizadas al material pétreo.**

##### ***Peso volumétrico seco suelto.***

Del último cuarteo que se realiza para la obtención de una muestra representativa, se toma material de dos cuartos opuestos para la obtención del peso volumétrico seco suelto.

##### **Procedimiento:**

Consiste en llenar un recipiente cilíndrico con las siguientes características:

Volumen :  $10 \text{ dc}^3$   $0.01\text{m}^3$ .

Peso: 7.900 Kg.

El procedimiento de llenado consiste en tomar con un cucharón metálico material de dos cuartos opuestos, haciendo está operación del centro hacia los extremos

del cuarto en cuestión, dejando caer el material a una altura de 20cm, hasta enrasar el cilindro.

Posteriormente se pesa el cilindro en la balanza de plataforma ó báscula metálica, verificando que se encuentre nivelada y en ceros, de lo contrario tendrá que nivelarse.



**Figura 4.2-1 Proceso para determinar el peso volumétrico seco suelto.**

Se realizaron dos ensayos de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

**Ensayo 1:**

W. material + W. Cilindro = 23.300 Kg

W. material = (W. material + W. Cilindro) - W. Cilindro.

W. material = 23.300 Kg - 7.900 Kg.

W. material = 15.400 kg.

Peso volumétrico seco suelto = W. MATERIAL / VOLUMEN CILINDRO.

Peso volumétrico seco suelto = 15.400 kg / 0.01m<sup>3</sup>.

**Peso volumétrico seco suelto = 1540 Kg / m<sup>3</sup>.**

**Ensayo 2:**

W. material + W. Cilindro = 23.100 Kg

W. material = (W. material + W. Cilindro) - W. Cilindro.

W. material = 23.100 Kg - 7.900 Kg.

W. material = 15.200 kg.

Peso volumétrico seco suelto = W. MATERIAL / VOLUMEN CILINDRO.

Peso volumétrico seco suelto = 15.200 kg / 0.01m<sup>3</sup>.

**Peso volumétrico seco suelto = 1520 Kg / m<sup>3</sup>.**

**Efectuando un promedio de los dos ensayos realizados definimos un:**

**PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO = 1530 KG / M<sup>3</sup>.**

[ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I;1991]

***Granulometría general del banco.***

Para determinar la granulometría, se toma un cuarto producto del proceso de reducción para la obtención de muestras representativas.

El proceso consiste en cribar el material por las mallas de: 1", 3/4", 1/2", 3/8", y la malla No.4, para determinar la cantidad de material que corresponde a cada tamaño, después de cribar el material por las mallas mencionadas anteriormente se obtuvieron las siguientes cantidades:

MALLA NUMERO.	PESO RETENIDO (GR)	RETENIDO PARCIAL (%)	METERIAL QUE PASA (%)
1"			100
3/4"	0.392	2.11	97.89
1/2"	4.699	25.29	72.60
3/8"	4.700	25.30	47.30
NUMERO.4	5.440	29.28	18.02
PASA NUMERO.4	3.347	18.02	
SUMA	18.578	100.00	

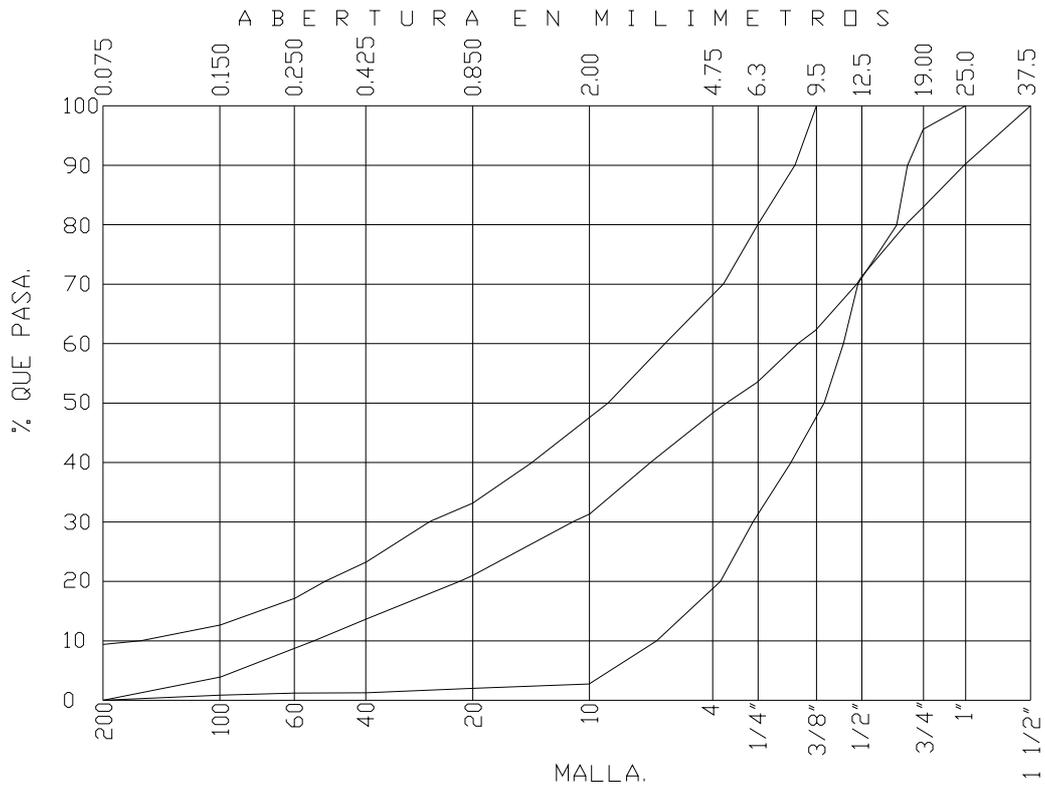
Con las cantidades anteriores se determina la granulometría gruesa, es decir de tamaños mayores que no pasan la malla No.4.

Para determinar la granulometría del material que pasa la Malla No. 4, se toman 200 gramos, para que por proceso de lavado se determine la granulometría correspondiente.

MALLA NUMERO.	PESO RETENIDO (GR)	RETENIDO PARCIAL (%)	METERIAL QUE PASA (%)
NUMERO.10	167.3	15.07373	2.94625
NUMERO.20	18.6	1.67586	1.27041
NUMERO.40	4.0	0.3604	0.91001
NUMERO.60	1.8	0.16218	0.74783
NUMERO.100	0.7	0.06307	0.68476
NUMERO.200	1.1	0.09911	0.58565
PASA MALLA.200	6.5	0.58565	0.00000
SUMA	200.00	18.02	

**En la Gráfica 4.2- A Se muestra la curva granulométrica correspondiente al material pétreo analizado.**

ZONA GRANULOMETRICA RECOMENDABLE PARA  
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN  
CONCRETOS ASFALTICOS.



Como se puede observar la curva esta fuera de especificaciones recomendadas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, más las cantidades de material presentes en la muestra, son suficientes para construir las pastillas tipo Marshall que se utilizaran con una granulometría adecuada ósea dentro de especificaciones.



**Figura 4.2- 2 Cribado del material pétreo para determinar la granulometría gruesa.**



**Figura 4.2- 3 Proceso para determinar la granulometría fina del material que pasa la malla No. 4.**

[ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I; 1991]

### **Prueba de desgaste en máquina de los ángeles**

Para realizar esta prueba debe verificarse en la granulometría los tamaños de material más representativos o que más abundan en la muestra, el objetivo de esta inspección es el determinar el tipo de prueba de desgaste que habrá de realizarse al material.

Al realizar la inspección correspondiente podemos identificar que los tamaños más representativos de la muestra son:

1/2"	4.699	25.29
3/8"	4.700	25.30
No.4	5.440	29.28

Por lo tanto al revisar el procedimiento de la prueba de acuerdo a normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el tipo de prueba que corresponde efectuar a este material son: desgaste tipo "B" y "C", cuyas características para su ensaye son:

Desgaste Tipo "B".	Pasa Malla Numero.	Retiene Malla No.	Peso de la Muestra en grs.	Carga Abrasiva.	
				Número de Esferas.	Peso Total en grs.
	3/4"	1/2"	2500 (+,-)10	11	4584(+,-)25
	1/2"	3/8"	2500 (+,-)10		
		TOTAL	5000 (+,-)10		

Se procede de la siguiente forma: del material que pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla de 1/2" , se pesan 2500 gramos con una tolerancia de más menos 10 gramos, la misma operación se hace con el material que pasa la malla de 1/2" y se retiene en la malla 3/8" posteriormente se mezclan los dos agregados cuyo peso debe ser de 5000 gramos con una tolerancia de más menos 10 gramos.

Posteriormente se pesan 11 esferas metálicas cuya suma de peso debe ser de 4584 gramos con una tolerancia de más menos 25 gramos.

Una vez pesados el material y las esferas son depositados en el interior de la máquina de desgaste LOS ANGELES, cerrando esta herméticamente y ajustándola a un número de revoluciones que establece la norma y que para este caso son un total de 500 revoluciones, para este efecto la máquina debe estar ajustada de 30 a 32 revoluciones por minuto como lo establece la norma.

Al término del ciclo de revoluciones a que se sometió el material dentro de la máquina, se retira el material de la misma depositándolo en una charola metálica, de la cual son retiradas las esferas y el material se criba por la malla No. 12, el material retenido se pesa obteniendo un peso final producto del desgaste a que se sometió, obteniendo para el ensaye tipo "B" los siguientes valores numéricos:

W. Inicial = 5000 grs  
 W. Final = 4335 grs.

Con la aplicación de la siguiente fórmula se obtiene el porcentaje de desgaste que sufrió el material:

$$D = \frac{W.I - W.F}{W.I} * 100$$

$$D = \frac{5000 - 4335}{5000} * 100$$

$$D = 13.3\%$$

Desgaste Tipo "C".	Carga Abrasiva.				
	Pasa Malla Numero.	Retiene Malla No.	Peso de la Muestra en grs.	Número de Esferas.	Peso Total en grs.
	3/8"	1/4"	2500 (+,-)10	8	3330(+,-)20
	1/4"	No.4	2500 (+,-)10		
		TOTAL	5000 (+,-)10		

Se procede de la siguiente forma: del material que pasa la malla de 3/8" y se retiene en la malla de 1/4" , se pesan 2500 gramos con una tolerancia de más menos10 gramos, la misma operación se hace con el material que pasa la malla de 1/4" y se retiene en la No.4 posteriormente se mezclan los dos agregados cuyo peso debe ser de 5000 gramos con una tolerancia de más menos 10 gramos.

Posteriormente se pesan 8 esferas metálicas cuya suma de peso debe ser de 3330 gramos con una tolerancia de más menos 20 gramos.

Una vez pesados el material y las esferas son depositados en el interior de la máquina de desgaste LOS ANGELES, cerrando esta herméticamente y ajustándola a un número de revoluciones que establece la norma y que para este caso son un total de 500 revoluciones, para este efecto la máquina debe estar ajustada de 30 a 32 revoluciones por minuto como lo establece la norma.

Al término del ciclo de revoluciones a que se sometió el material dentro de la máquina, se retira el material de la misma depositándolo en una charola metálica, de la cual son retiradas las esferas y el material se criba por la malla No. 12, el material retenido se pesa obteniendo un peso final producto del desgaste a que se sometió, obteniendo para el ensaye tipo "C" los siguientes valores numéricos:

W. Inicial = 5000 grs  
 W. Final = 4293 grs.

Con la aplicación de la siguiente fórmula se obtiene el porcentaje de desgaste que sufrió el material:

$$D = \frac{W.I - W.F}{W.I} * 100$$
$$D = \frac{5000 - 4293}{5000} * 100$$
$$D = 14.14\%$$

De acuerdo con las condiciones que deben cumplir los agregados pétreos para elaborar concretos asfálticos que establece que el desgaste medido con la prueba de los Ángeles debe ser de 40% como máximo, concluimos que el material pétreo analizado cumple satisfactoriamente con el requerimiento anterior, en ambos tipos de desgaste. [ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991]



**Figura 4.2- 4 Proceso para determinar el porcentaje de desgaste del material pétreo en máquina de los ángeles.**

### ***Prueba de absorción y densidad***

Para realizar esta prueba se toman agregados pétreos de diferentes tamaños para formar una muestra homogénea, que posteriormente se pone a saturar por un lapso de 18 a 20 hrs. Esto se hace para que las partículas absorban la mayor cantidad de agua que sean capaces de captar, para que al pasar a la etapa de la determinación de la densidad donde el material se deposita dentro de una probeta aforada que contiene agua, las partículas ya no puedan captar más cantidad de agua, esto garantiza además resultados más veraces de la prueba.

Para determinar la densidad se realizaron 3 ensayos con el siguiente procedimiento:

Se pone a saturar el material por lapso de 18 a 20 hrs, posteriormente se retira el agua del recipiente y se lava el material a continuación con un paño húmedo se retira la humedad en la superficie de las partículas, eliminando el lustre que presentan, bajo estas condiciones las partículas se encuentran en estado "SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO".



**Figura 4.2- 5 Saturación del material pétreo para determinar su absorción y densidad.**

Una vez que el material se encuentra en la condición mencionada en el párrafo anterior, se obtiene su "PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO".

A continuación una probeta con volumen de 1000 ml( $1000 \text{ cm}^3$ ), se afora hasta un volumen de 500 ml( $500 \text{ cm}^3$ ), en la cual se deposita el material efectuando un movimiento rotacional en la probeta para facilitar el acomodo de las partículas; se mide el aumento de volumen que registra la probeta con el material depositado en

su interior. De donde se puede determinar por diferencia de volumen el que corresponde al material, realizando los tres ensayos mencionados anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados:

**Ensayo 1:**

W. Material saturado superficialmente seco = 305.5 gr  
Vol. Agua inicial en la probeta = 500 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Final en la probeta = 615 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Ocupado por el material = 115 cm<sup>3</sup>.

$$DENSIDAD = \frac{PESOMATERIALSATURADOSUPERFICIALMENTESECO}{VOLUMENDELMATERIAL}$$

$$DENSIDAD = \frac{305.5gr}{115cm^3}$$
$$DENSIDAD = 2.66gr/cm^3$$

**Ensayo 2:**

W. Material saturado superficialmente seco = 391.1 gr  
Vol. Agua inicial en la probeta = 500 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Final en la probeta = 645 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Ocupado por el material = 145 cm<sup>3</sup>.

$$DENSIDAD = \frac{PESOMATERIALSATURADOSUPERFICIALMENTESECO}{VOLUMENDELMATERIAL}$$

$$DENSIDAD = \frac{391.1gr}{145cm^3}$$
$$DENSIDAD = 2.69gr/cm^3$$

**Ensayo 3:**

W. Material saturado superficialmente seco = 334.3 gr  
Vol. Agua inicial en la probeta = 500 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Final en la probeta = 625 cm<sup>3</sup>.  
Vol. Ocupado por el material = 125 cm<sup>3</sup>.

$$DENSIDAD = \frac{PESOMATERIALSATURADOSUPERFICIALMENTESECO}{VOLUMENDELMATERIAL}$$

$$DENSIDAD = \frac{334.3gr}{125cm^3}$$

$$DENSIDAD = 2.67 gr / cm^3$$



**Figura 4.2- 6 Proceso para determinar la densidad del Material Pétreo.**

Efectuando un promedio de los 3 valores obtenidos para la densidad obtenemos:

$$Densidad = \frac{D1 + D2 + D3}{3} = \frac{2.66 + 2.69 + 2.67}{3} = 2.67 gr / cm^3$$

Para obtener la Absorción también se realizan 3 ensayos registrando el mismo "PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO", y posteriormente se mete al horno para su secado por un período de 24 hrs, a una temperatura de 80° C para evitar su calcinación.



**Figura 4.2-7 Secado al horno del Material Pétreo para determinar su absorción.**

Los resultados obtenidos de este proceso son los siguientes:

**Ensayo 1:**

W. Material saturado superficialmente seco = 305.5 gr.

W. Material secado al horno = 300.2 gr.

$$ABSORCION = \frac{W.Mat.Sat.Sup.Seco - W.Mat.Seco}{W.Mat.Seco} * 100$$

$$ABSORCION = \frac{305.5 - 300.2}{300.2} * 100$$

$$ABSORCION = 1.76\%$$

**Ensayo 2:**

W. Material saturado superficialmente seco = 391.1 gr.

W. Material secado al horno = 385.0 gr.

$$ABSORCION = \frac{W.Mat.Sat.Sup.Seco - W.Mat.Seco}{W.Mat.Seco} * 100$$

$$ABSORCION = \frac{391.1 - 385.0}{385.0} * 100$$

$$ABSORCION = 1.58\%$$

**Ensayo 3:**

W. Material saturado superficialmente seco = 334.3 gr.

W. Material secado al horno =329.2 gr.

$$ABSORCION = \frac{W.Mat.Sat.Sup.Seco - W.Mat.Seco}{W.Mat.Seco} * 100$$

$$ABSORCION = \frac{334.3 - 329.2}{329.2} * 100$$

$$ABSORCION = 1.55\%$$

Efectuando un promedio de los 3 valores obtenidos para la absorción obtenemos:

$$Absorción = \frac{A1 + A2 + A3}{3} = \frac{1.76 + 1.58 + 1.54}{3} = 1.63\%$$

[ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I ; 1991 ]

**Prueba de forma de la partícula.**

Para determinar el porcentaje de las partículas planas o sea las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de 0.6 se lleva acabo en la fracción retenida en la malla No.6.3.

Primero se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa que al pasarla por la malla de ¼" se obtenga un mínimo de 200 partículas.

Posteriormente esta muestra se criba por un conjunto de mallas que comprenden las siguientes: (2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼") o su equivalente en mm (63.0mm, 50.0mm, 37.5mm, 25.0mm, 19.0mm, 12.5mm, 9.5mm, 6.3mm), verificando que el total de los retenidos en la mallas sean como mínimo 200 partículas.

Se separan por tamaños las partículas y se toman de una en una las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición de la partícula más adecuada para esta operación.



**Figura 4.2- 8 Proceso para determinar el porcentaje de partículas planas.**

Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras del Calibrador, se les determina su peso y se anota este como  $W_p$  en gramos.

Se calcula y se reporta el contenido de partículas con forma de laja del material pétreo, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{W_p}{W_i} * 100$$

Donde :

- C<sub>p</sub>** es el porcentaje de partículas en forma de laja, en por ciento.
- W<sub>p</sub>** es el peso de las partículas que pasan por las ranuras correspondientes del calibrador en gramos.
- W<sub>i</sub>** es el peso total del material retenido en la malla Num.6.3 en gramos.

Para este efecto se realizaron 2 ensayos de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Ensaye 1:**

**Wi** = 682 gr

**Wp** = 143 gr

$$Cp = \frac{Wp}{Wi} * 100$$

$$Cp = \frac{143gr}{682gr} * 100$$

$$Cp = 20.97\%$$

**Ensaye 2:**

**Wi** = 609 gr

**Wp** = 135 gr

$$Cp = \frac{Wp}{Wi} * 100$$

$$Cp = \frac{135gr}{609gr} * 100$$

$$Cp = 22.17\%$$

Efectuando un promedio de los 2 valores obtenidos para el porcentaje de partículas en forma de laja obtenemos:

$$Cp = \frac{Cp1 + Cp2}{2} = \frac{20.97 + 22.17}{2} = 21.57\%$$

Para determinar el porcentaje de las partículas alargadas o sea las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de (1.8) se llevara a cabo en la fracción retenida en la malla No.6.3.

Primero se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa que al pasarla por la malla de ¼" se obtenga un mínimo de 200 partículas.

Posteriormente esta muestra se criba por conjunto de mallas que comprenden las siguientes: (2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼") o su equivalente en mm (63.0mm, 50.0mm, 37.5mm, 25.0mm, 19.0mm, 12.5mm, 9.5mm, 6.3mm), verificando que el total de los retenidos en la mallas sean como mínimo 200 partículas.

Se separan por tamaños las partículas y se toman de una en una las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por el claro correspondiente del calibrador de longitudes, de manera que al tratar de pasarlas, tengan una porción tal que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal del calibrador.



**Figura 4.2- 9 Proceso para determinar el porcentaje de partículas alargadas.**

Se reúnen todas las partículas que no pasaron por los respectivos claros del Calibrador, se les determina su peso y se anota este como  $W_a$  en gramos.

Se calcula y se reporta el contenido de partículas alargadas que tiene el material pétreo, aplicando la siguiente formula:

$$Ca = \frac{W_a}{W_i} * 100$$

Donde :

**Ca** – es el porcentaje de partículas alargadas, en por ciento.

**Wa** – es el peso de las partículas que no pasan por los claros del calibrador en gramos.

**Wi** – es el peso total del material retenido en la malla Num.6.3 en gramos.

Para este efecto se realizaron 2 ensayos de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Ensaye 1:**

**Wi = 682 gr**

**Wa = 426 gr**

$$Ca = \frac{Wa}{Wi} * 100$$

$$Ca = \frac{426gr}{682gr} * 100$$

$$Ca = 62.46\%$$

**Ensaye 2:**

**Wi = 609 gr**

**Wp = 375 gr**

$$Ca = \frac{Wa}{Wi} * 100$$

$$Ca = \frac{375gr}{609gr} * 100$$

$$Ca = 61.57\%$$

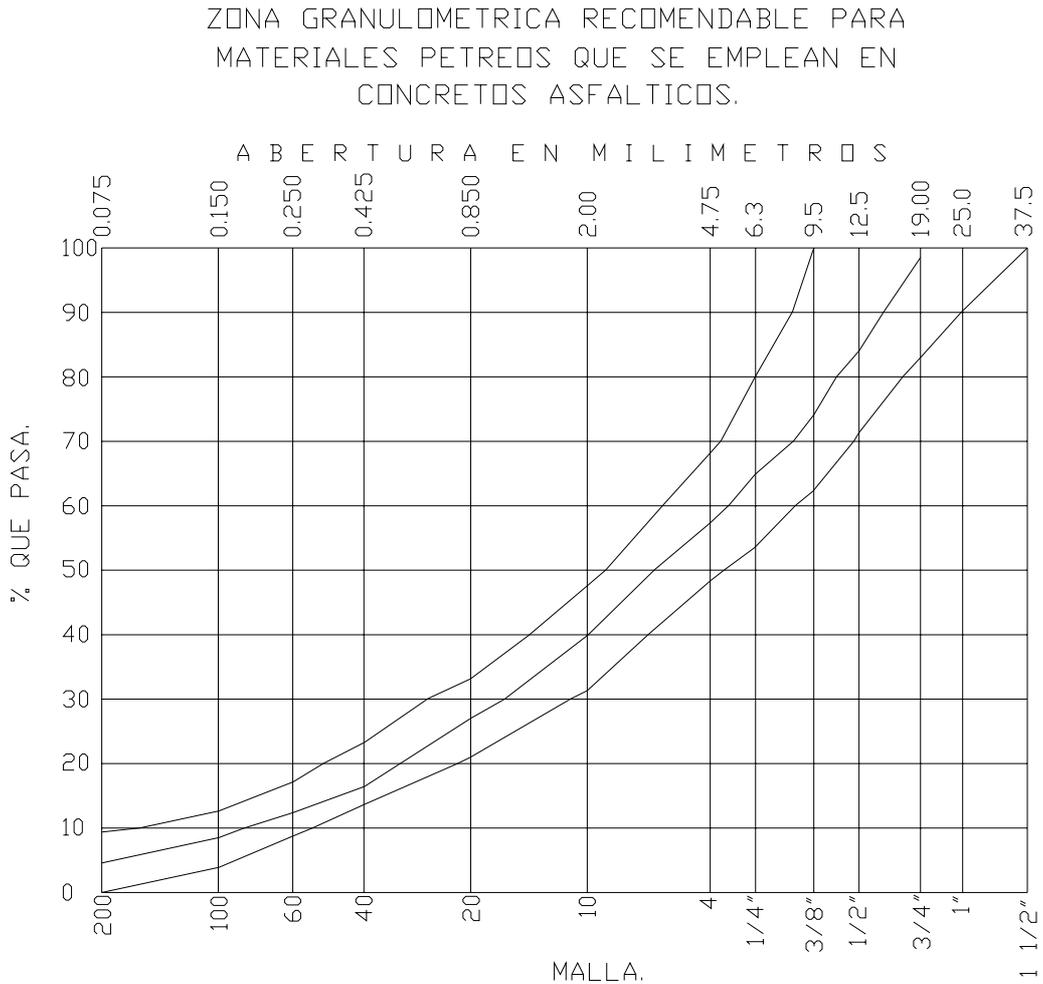
Efectuando un promedio de los 2 valores obtenidos para el porcentaje de partículas en forma de laja obtenemos:

$$Ca = \frac{Ca1 + Ca2}{2} = \frac{62.46 + 61.57}{2} = 62.02\%$$

De acuerdo con las condiciones que deben cumplir los agregados pétreos para elaborar concretos asfálticos que establece que con que uno de los parámetros de partículas planas o en forma de laja sea como máximo de 35 % , observamos que solo el porcentaje de partículas alargadas esta fuera de está condición, sin embargo, el parámetro que tiene que ver con el porcentaje de partículas planas si cumple con la condición de calidad requerida por lo tanto concluimos que el material pétreo analizado cumple satisfactoriamente con el requerimiento. [ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 1; 1991]

### 4.3 Elaboración de las probetas.

La elaboración de las probetas tipo Marshall de concreto Asfáltico se realiza de acuerdo a la granulometría que se muestra en la Figura 4.3-1 y que recomienda, El Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, Documento Técnico 1 del Instituto Mexicano del Transporte (S.C.T). [Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros; 1991]



**Gráfica 4.3-A Gráfica de granulometría utilizada en la elaboración de las probetas.**

MALLA	% QUE PASA	% RETENIDO
25.0 (1")	100%	0%
19.0 (3/4")	100%	0%
12.5 (1/2")	85%	15%
9.5 (3/8")	74%	11%
6.3 (1/4")	65%	9%
4.75 (No.4)	57%	8%
2.00 (No.10)	40%	17%
0.850 (No.20)	28%	12%
0.425 (No.40)	18%	10%
0.250 (No.60)	13%	5%
0.150 (No.100)	9%	4%
0.075 (No.200)	4%	5%
<b>SUMA</b>		<b>96%</b>

$$\begin{array}{r}
 96\% \text{ --- SUMATORIA DEL RETENIDO EN MALLAS} \\
 + \quad 4\% \text{ ---- MATERIAL QUE PASA LA MALLA 200.} \\
 \hline
 100\%
 \end{array}$$

La dosificación de las probetas tipo Marshall, se realiza tomando los porcentajes en peso de los retenidos en cada malla, además de el porcentaje que pasa la malla No. 200. Así pues se dosifican probetas con peso de **1100 grs**, para lo cual se requieren las siguientes cantidades de material para cada probeta:

MALLA	% RETENIDO	PESO EN (GRS)
25.0 (1")	0%	0
19.0 (3/4")	0%	0
12.5 (1/2")	15%	165
9.5 (3/8")	11%	121
6.3 (1/4")	9%	99
4.75 (No.4)	8%	88
2.00 (No.10)	17%	187
0.850 (No.20)	12%	132
0.425 (No.40)	10%	110
0.250 (No.60)	5%	55
0.150 (No.100)	4%	44
0.075 (No.200)	5%	55
PASA MALLA No.200	4%	44
<b>SUMA</b>	<b>100%</b>	<b>1100</b>



**Figura 4.3- 1 Proceso de dosificación de las Probetas.**

Al utilizar la dosificación anterior en la elaboración de las probetas, se obtienen las siguientes características:

Para determinar el espesor se realiza un promedio tomando 4 lecturas en diferentes puntos:

$$E = \frac{61.1 + 61.0 + 61.1 + 61.5}{4} = 61.2 \text{ mm}$$

Diámetro de la probeta = 101.5 mm.

Peso de la probeta = 1,133 grs.

Observando las características obtenidas, se puede apreciar que el espesor es diferente al que recomiendan las Normas de la S.C.T, en su Libro 6 parte 2, en lo referente a la elaboración de Probetas Marshall, que indica un espesor de **63mm**. [ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991]

La misma norma plantea una corrección, para emplear la cantidad de material pétreo necesaria y obtener un espesor de 63mm, la cual indica lo siguiente:

$$P'e = \frac{63Pe}{He}$$

Donde:

P'e = Peso corregido del material pétreo en gramos.

Pe = Peso obtenido del espécimen en gramos.

He = Altura del espécimen en milímetros.

Realizando la corrección se obtiene:

$$P'e = \frac{63 * 1,133}{61.2} = 1,166.3 \text{ grs.}$$

Por lo que se procede a realizar una dosificación con la cantidad de material pétreo obtenida en la corrección esto es con **1,166.3 grs**:

MALLA	% RETENIDO	PESO EN (GRS)
25.0 (1")	0%	0
19.0 (3/4")	0%	0
12.5 (1/2")	15%	174.9
9.5 (3/8")	11%	128.3
6.3 (1/4")	9%	104.9
4.75 (No.4)	8%	93.3
2.00 (No.10)	17%	198.3
0.850 (No.20)	12%	140.0
0.425 (No.40)	10%	116.6
0.250 (No.60)	5%	58.4
0.150 (No.100)	4%	46.6
0.075 (No.200)	5%	58.4
PASA MALLA No.200	4%	46.6
<b>SUMA</b>	<b>100%</b>	<b>1166.3</b>

Al utilizar la dosificación anterior en la elaboración de las probetas, se obtienen las siguientes características:

Para determinar el espesor se realiza un promedio tomando 4 lecturas en diferentes puntos:

$$E = \frac{64.1 + 64.0 + 63.5 + 63.3}{4} = 63.7\text{mm} \cong 63\text{mm}$$

Diámetro de la probeta = 101.5 mm.

Peso de la probeta = 1,190 grs.

Observando las características obtenidas, se puede apreciar que el espesor se apega más al que recomiendan las Normas de la S.C.T en su Libro 6 parte 2, en lo referente a la elaboración de Probetas Marshall que indica un espesor de **63mm**. [ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991]

Por lo que la dosificación anterior será la que se adopte para la elaboración de las probetas que se emplearan en este Trabajo.

### ***Contenido de asfalto en las probetas.***

Una vez que se han dosificado las probetas tipo Marshall en cuanto a su composición granulométrica, se procede a adicionar el ligante ( Cemento Asfáltico AC-20 ) normal, cuya proporción es en porcentaje del material pétreo en peso.

Para determinar el contenido de Cemento Asfáltico que se adiciona al material pétreo, se lava por centrifugado (En Maquina Rotarex), una serie de probetas producto de muestreo en campo, previo a procesos de tendido de carpeta, lo anterior con la finalidad de determinar el contenido de cemento asfáltico que tienen las carreteras y con este elaborar las probetas, posteriormente el valor obtenido será corroborado con un diseño de contenido óptimo de asfalto por Método Marshall.

El proceso de lavado de las probetas es en términos generales es el siguiente:

Inicialmente se determina el peso de la probeta ; posteriormente se deja la probeta en un ambiente rodeado de un solvente (Gasolina), para facilitar el disgregado de la misma y proceder a la colocación de los agregados en la máquina Rotarex.

Una vez colocados los agregados en el Rotarex , se adiciona una cantidad de solvente necesaria para que por centrifugado el ligante se desprenda de las partículas de material pétreo, durante este proceso el solvente lavara el material contaminándose y presentando un color oscuro como resultado del proceso de lavado, una vez que el solvente ha sido expulsado totalmente se adiciona nuevamente el solvente.

La operación anterior se repite el número de veces que sea necesaria, hasta observar que el solvente presente su color original o al menos no presente una coloración muy oscura, entendiéndose con esto que el pétreo se encuentra libre de ligante.



Figura 4.3- 2 Proceso para determinar el contenido de cemento asfáltico con máquina rotarex.

Finalmente se extrae el pétreo del último proceso de lavado, procurando evitar la pérdida del material fino, posteriormente se pone a secar para eliminar los residuos de solvente que pudieran haber quedado en el material y se determina su peso, para determinar el contenido de Cemento Asfáltico que contenía la probeta analizada se aplica la siguiente formula:

$$A = \left[ \frac{W}{W_l + (W'_p - W_p)} - 1 \right] 100$$

Donde:

A) = Contenido Aproximado de residuo o Cemento Asfáltico de la mezcla, en porciento.

W) = Peso Inicial de la Muestra de Mezcla Asfáltica, en grs.

W<sub>l</sub>) = Peso del Agregado Libre de Asfalto secado al horno, en grs.

W'<sub>p</sub>) = Peso Seco disco de papel filtro después del centrifugado.

W<sub>p</sub>) = Peso Seco inicial del disco de papel filtro, en grs.

A continuación se presenta el análisis de una probeta que corresponde a los valores más representativos de la serie de probetas analizadas:

$W$ ) = Peso seco inicial antes del proceso de Lavado = 1223.6 grs.

$W_l$ ) = Peso del Agregado Libre de Asfalto secado al horno = 1153.6 grs.

$W_p$ ) = Peso Seco inicial del disco de papel filtro = 38.9 grs.

$W'_p$ ) = Peso Seco disco de papel filtro después del centrifugado = 41.0 grs.

Aplicando la fórmula:

$$A = \left[ \frac{W}{W_l + (W'_p - W_p)} - 1 \right] 100$$

$$A = \left[ \frac{1223.6}{1153.6 + (41.0 - 38.9)} - 1 \right] 100$$

$$A = 5.875\% \cong 6.00\%$$

Además se determina la granulometría de la probeta, para la cual se efectúa una corrección, debido a la posible pérdida de material fino en el proceso de lavado, aplicando la fórmula siguiente:

$$W_g = W - \frac{wW}{100} - \frac{AW}{100 + A}$$

Donde:

$W_g$  = Peso corregido del agregado pétreo para determinar granulometría en grs.

$W$  = Peso inicial de la muestra de mezcla asfáltica, en grs. = 1223.6 gr.

$w$  = Contenido de Agua de la mezcla asfáltica en por ciento. = 0%

$A$  = Contenido de Asfalto, de la mezcla Asfáltica en por ciento. = 5.875 %

Aplicando la fórmula se tiene:

$$W_g = 1223.6 - \frac{(0\%)(1153.6)}{100} - \frac{(5.875)(1223.6)}{100 + (5.875)}$$

$$W_g = 1155.70 \text{ gr}$$

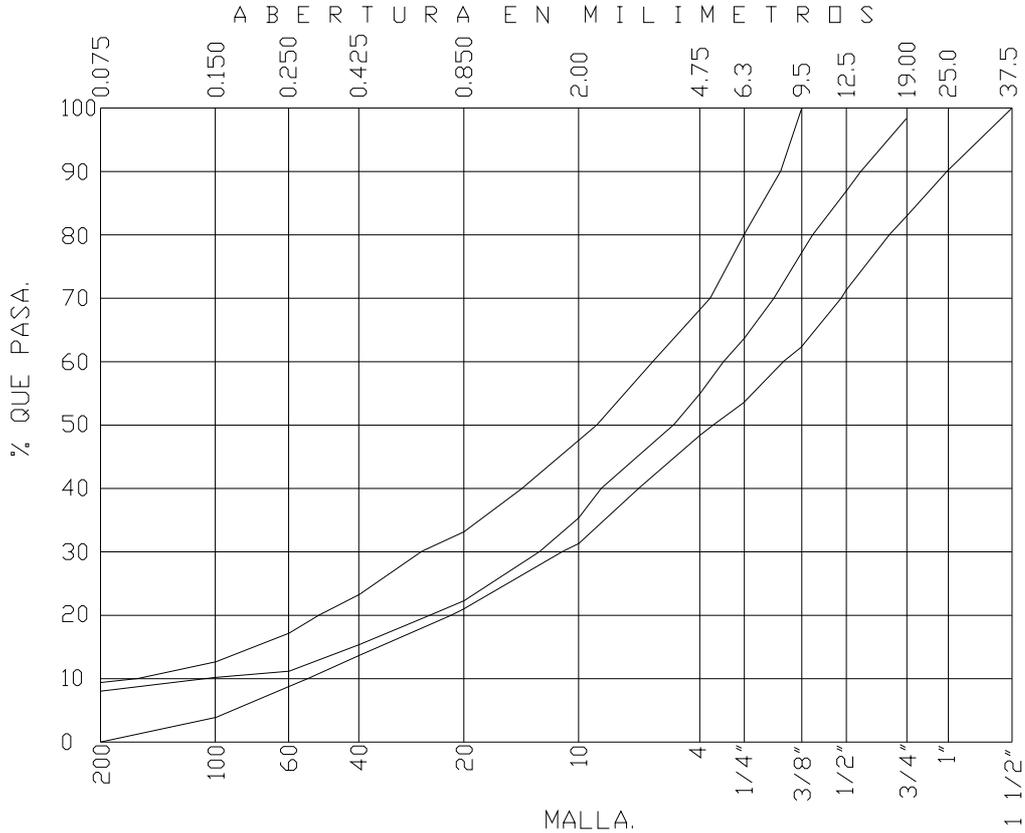
Con lo que se tiene la siguiente granulometría:

MALLA	% QUE PASA	% RETENIDO
25.0 (1")	100%	0%
19.0 (3/4")	98.1%	1.9%
12.5 (1/2")	87.4%	10.7%
9.5 (3/8")	74.1%	13.3%
6.3 (1/4")	62.1%	12.0%
4.75 (No.4)	54.6%	7.5%
2.00 (No.10)	33.4%	21.2%
0.850 (No.20)	20.4%	13.0%
0.425 (No.40)	14.3%	6.1%
0.250 (No.60)	11.2%	3.1%
0.150 (No.100)	10.1%	1.1%
0.075 (No.200)	8.0 %	2.1%
<b>SUMA</b>		<b>92%</b>

92% --- SUMATORIA DEL RETENIDO EN MALLAS.  
 + 8% ----MATERIAL QUE PASA LA MALLA 200.  
 -----  
 100%

MALLA	% RETENIDO	PESO EN (GRS)
25.0 (1")	0%	0
19.0 (3/4")	1.9%	21.7
12.5 (1/2")	10.7%	123.5
9.5 (3/8")	13.3%	153.4
6.3 (1/4")	12.0%	138.8
4.75 (No.4)	7.5%	87.3
2.00 (No.10)	21.2%	244.5
0.850 (No.20)	13.0%	150.2
0.425 (No.40)	6.1%	70.2
0.250 (No.60)	3.1%	36.4
0.150 (No.100)	1.1%	13.4
0.075 (No.200)	2.1%	24.1
PASA MALLA No.200	8.0%	92.2
<b>SUMA</b>	<b>100%</b>	<b>1155.70</b>

ZONA GRANULOMETRICA RECOMENDABLE PARA  
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN  
CONCRETOS ASFALTICOS.



**Gráfica 4.3-B Curva granulométrica correspondiente a la probeta empleada para determinar el contenido de asfalto.**

Se observa que la curva de composición granulométrica se encuentra dentro de lo que recomienda, El Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, Documento Técnico 1 del Instituto Mexicano del Transporte (S.C.T), al igual que la composición granulométrica de las probetas tipo Marshall que se elaboran para la realización de este trabajo, por lo que es un dato más que refuerza el hecho de haber empleado el mismo contenido de asfalto, incluso la cantidad de material pétreo solo difiere en 10.6 grs, de más para la granulometría propuesta. [ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991]

### Temperatura de mezclado y compactación de las probetas.

Para determinar la temperatura tanto de mezclado como de compactación de las probetas, se realiza al Cemento Asfáltico la prueba de Viscosidad (Saibolt Furol), en la que se mide el tiempo en que el asfalto, llena un matríz con volumen de 60 ml.

La temperatura necesaria para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) normal, es aquella en que se tenga una viscosidad, para que el matríz de 60 ml se llene en un tiempo de 85 seg  $\pm$  10 seg.



**Figura 4.3- 3 Proceso para determinar las temperaturas tanto de mezclado y compactación del cemento asfáltico y el material pétreo en la elaboración de probetas. (Empleando el equipo Saibolt Furol).**

Para determinar la temperatura de mezclado se realizaron los siguientes ensayos:

#### Ensayo I.

Temperatura (°C)	Tiempo (seg)
120	0:06 :01 = 361seg > 85 seg $\pm$ 10 seg.

#### Ensayo II.

Temperatura (°C)	Tiempo (seg)
132	0:01 :38 = 98seg > 85 seg $\pm$ 10 seg.

#### Ensayo III.

Temperatura (°C)	Tiempo (seg)
135	0:01 :35 = 95seg $\cong$ 85 seg $\pm$ 10 seg.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos realizados, la temperatura obtenida en el tercer ensaye cumple con la temperatura necesaria para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) Normal.



**Figura 4.3- 4 Temperatura de mezclado del cemento asfáltico (AC-20) normal.**

Según lo establecido en la norma para la elaboración de probetas tipo Marshall, en el Libro 6 parte 2 de la (S.C.T), indica que la temperatura para mezclar el agregado pétreo debe ser la temperatura de mezclado del Cemento Asfáltico más diez grados centígrados, es decir  $145^{\circ}\text{C}$  para este caso.



**Figura 4.3- 5 Temperatura de mezclado del Material Pétreo.**

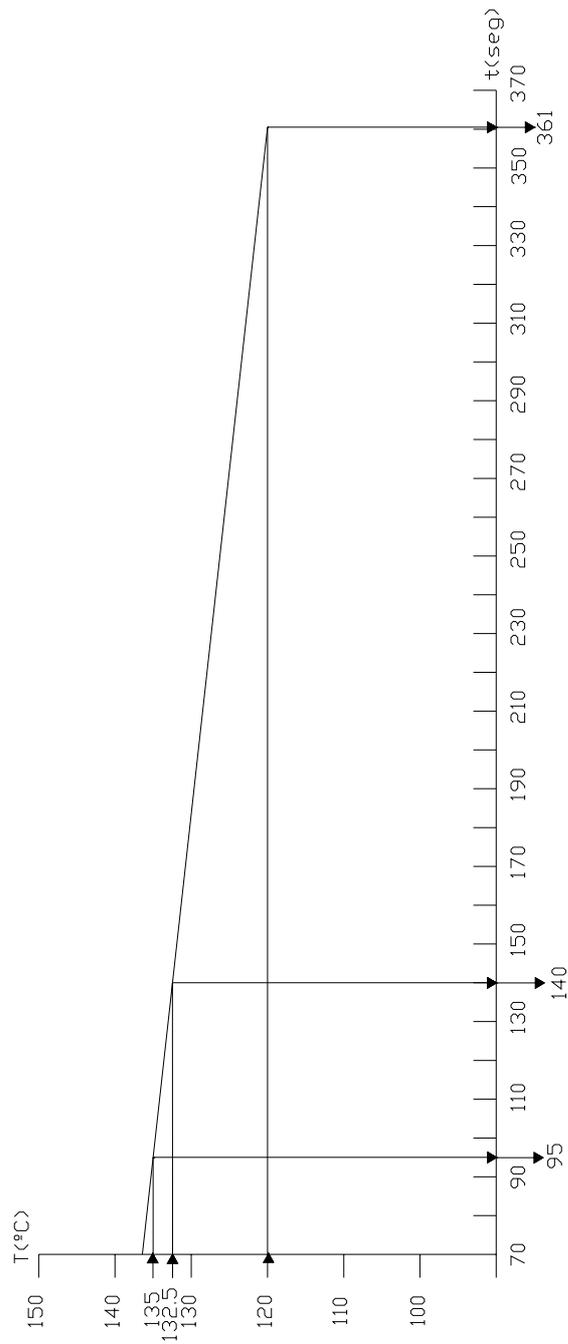
La temperatura necesaria para compactar la mezcla en la elaboración de una probeta tipo Marshall, elaborada con Cemento Asfáltico (AC-20) normal es cuando se logra una viscosidad de  $140 \pm 15$  segundos.



**Figura 4.3- 6 Temperatura de compactación de la Mezcla para Concreto Asfáltico.**

Gráficamente se determina la temperatura necesaria para obtener una viscosidad de  $140 \pm 15$  segundos, encontrando los puntos correspondientes al primer y tercer ensaye, e interceptando el valor de 140 segundos con la curva generada por la unión de los puntos mencionados anteriormente se encuentra la temperatura en cuestión.

GRAFICA PARA DETERMINAR TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA.



Gráfica 4.3- C Gráfica empleada para determinar la temperatura de compactación de la mezcla.



*Figura 4.3- 7 Proceso de vaciado de la mezcla para proceder a su compactación por método estático.*

[ Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 1; 1991]

**Resumen:**

**Cantidad de Agregado Pétreo = 1166.3 grs.**

**Cantidad de Cemento Asfáltico (AC-20) normal 6 % del Peso del Agregado Pétreo =70grs.**

**Temperatura de Mezclado del Cemento Asfáltico (AC – 20) = 135°C.**

**Temperatura de Mezclado del Material Pétreo = 145°C.**

**Temperatura de Compactación del Agregado Pétreo y del Cemento Asfáltico (AC-20) normal= 132.5°C.**

### **Velocidad de aplicación de la carga en el ensaye a tensión indirecta.**

Para llevar a cabo tanto la elaboración como el ensaye de las probetas de concreto asfáltico elaboradas en caliente en el laboratorio es fundamental definir tanto la velocidad de aplicación de la carga, como el equipo capaz de suministrar esa carga.

La elaboración de las probetas se define, después de realizar una serie de interacciones variando tanto la intensidad de la carga como el tiempo de aplicación de la misma y el método, ya sea estático, es decir, a través de una prensa de compresión mecánica o hidráulica, capaz de suministrar las cargas necesarias para tal efecto o bien por método dinámico el cual consiste en compactar la mezcla asfáltica para la obtención de las probetas, dando una serie de golpes en ambas caras de las probetas que varía de acuerdo a la intensidad del tránsito para el cual se desea analizar y varía en 35, 50 y 75 golpes por cara, es decir, que una probeta que se hace dando 50 golpes por cara en total recibe 100 golpes del martillo Marshall para su elaboración.



**Figura 4.3- 8 Proceso de elaboración de las probetas por método estático empleando la máquina de compresión mecánica Versa Tester.**



**Figura 4.3- 9 Proceso de elaboración de las probetas por método dinámico empleando el martillo Marshall.**

Por cuestiones prácticas se adopta el método estático para la elaboración de las probetas que son empleadas en el desarrollo de este trabajo, pero tratando de que tengan las características más similares a probetas elaboradas por método dinámico, ya que son estas las que se utilizan tanto en campo como en laboratorio para analizar las propiedades de un Concreto Asfáltico, las cuales se mencionan con detalle en la sección correspondiente al Método Marshall para diseño de mezclas asfálticas.

Una vez definido el método de elaboración, corresponde ahora definir el equipo capaz de suministrar la carga correspondiente y una velocidad necesaria para obtener resultados que impliquen una fácil interpretación de los parámetros que son de interés en este trabajo.

Por la forma en que se realiza el Ensayo de Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas descrito en la norma española **NLT – 161/84**, que indica que la máquina que se adopte para este fin, llevará dos platos de carga planos, de acero y con superficies endurecidas, donde la inferior provista de asiento plano, sirve de base a la probeta. El tamaño de ambos platos deberá ser ligeramente superior al diámetro máximo de las probetas a ensayar y con sus superficies de apoyo rectificadas, no permitiéndose variaciones en altura, respecto al plano verdadero, superiores a 0.013 mm en platos nuevos y a 0.025mm en platos de uso. [ Normas NLT; 1992.]

La máquina para ensayar las probetas puede ser cualquier tipo de prensa que cumpla las condiciones de capacidad de carga y velocidad exigidas por la norma. La velocidad especificada es de **0.05mm / min**. Por cada milímetro de altura de la probeta: como pueden ensayarse probetas con alturas entre **50.8 mm** para las más pequeñas y **203mm** para las mayores, para cumplir el requisito de velocidad anterior se precisa que la máquina pueda suministrar velocidades entre **2.54 mm / min y 10.16 mm / min** según los tamaños de las probetas que se ensayen. [ Normas NLT; 1992.]

Analizando las características que debe cumplir la máquina que se emplee para la prueba de compresión simple y debido a que la elaboración de las probetas por método estático no es otra cosa más que la compresión de la mezcla asfáltica en caliente para la obtención de las probetas, se considera tomar los parámetros de la prueba de compresión simple para la elaboración de las probetas por método estático.

### ***Elección del equipo.***

La máquina **VERSA TESTER**, es una herramienta perfecta para poder realizar el proceso de elaboración de las probetas ya que cumple con las características que exige la norma tanto para el tamaño de las probetas como para el control de la velocidad , ya que es capaz de regular velocidades de aplicación de carga que van de **0 a 4 pulgadas por minuto**, controlada por la Válvula de Velocidad de Carga que opera en conexión con la válvula de control de flujo, este equipo es capaz de regular velocidades que establecen otras normas como **ASTM y AASHO**.



**Figura 4.3-10 Máquina de compresión mecánica Versa Tester.**

El Manual de Operación y Mantenimiento de la **VERSA TESTER**, indica en forma breve lo siguiente: cuando la operación de una velocidad de carga en particular se esta utilizando, la posición de la válvula se debe tomar como referencia para repeticiones confiables siempre se permite que la máquina este en la posición parada o neutral por aproximadamente 15 minutos para poner el aceite hidráulico en una temperatura de operación normal.

La válvula de control de velocidad es efectiva cuando el switch de control de velocidad esta en la posición “*control de velocidad*”, para mejor resultado regrese a la posición cero la válvula y posteriormente abrir a la velocidad deseada.

[Manual de Operación y Mantenimiento Maquina de Compresión Mecánica Versa Tester].

Para entender un poco más como el control de velocidad de la **VERSA TESTER** es aplicable para la elaboración de las probetas se realizan las conversiones siguientes:

La velocidad de deformación esta especificada en: 0.05 mm / min, por cada milímetro de Altura de la probeta; como pueden ensayarse probetas con alturas entre 50.8 mm para las más pequeñas y 203.2 mm para las mayores, para cumplir con el requisito de velocidad anterior se precisa que la máquina puede suministrar velocidades entre:

$$\frac{0.05\text{mm} / \text{min}}{1\text{mm}(\text{DeAlturaDePr obeta})} \therefore \text{para una altura de probeta de 50.8 mm se tiene:}$$

$$(50.8 \text{ mm})(0.05 \text{ mm} / \text{min}) = 2.54 \text{ mm} / \text{min} \text{ es decir } 0.1\text{pulgadas} / \text{minuto.}$$

(PARA LAS MAS PEQUEÑAS).

$$(203.2 \text{ mm})(0.05 \text{ mm} / \text{min}) = 10.16 \text{ mm} / \text{min} \text{ es decir } 0.4\text{pulgadas} / \text{minuto}$$

(PARA LAS MAS GRANDES).

Las probetas que se quieren obtener al emplear la Maquina **VERSA TESTER** son probetas tipo Marshall con 63 mm de espesor por lo que la Velocidad de aplicación será de:

$$(63.0 \text{ mm})(0.05 \text{ mm} / \text{min}) = 3.15 \text{ mm} / \text{min} \text{ es decir:}$$

**0.12 pulgadas / minuto.**

Con lo que se puede afirmar que el empleo de la **VERSA TESTER** para la elaboración de las probetas por método estático es satisfactorio.

### ***Procesos de elaboración de las probetas.***

Para la elaboración de las probetas que se utilizarán, en el proceso de contaminación de las diferentes sustancias agresivas, se ha propuesto fabricarlas por Método Estático y Dinámico, los cuales presentan las siguientes variantes:

#### ***Método estático:***

Este proceso consiste en aplicar una carga de compactación estáticamente, empleando la máquina de compresión mecánica “VERSA – TESTER” , se han propuesto 3 procesos de elaboración de las probetas, los cuales se mencionan a continuación:

#### **1er . Proceso:**

Contenido de Material Pétreo: 1,166.3 grs.

Contenido de Cemento Asfáltico en (%) del Peso del Material Pétreo: 6 %.

Contenido de Cemento Asfáltico en (grs) : 70 grs.

Temperatura para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) : 135°C.

Temperatura para mezclar el Material Pétreo : 145°C.

Temperatura para Compactar la Mezcla : 132.5°C.

Carga de Compactación : 10 Toneladas.

Tiempo de Aplicación de la Carga : 3 Minutos.

Velocidad de Aplicación de la Carga : 0.12 pulg/min.

#### **2 do . Proceso:**

Contenido de Material Pétreo: 1,166.3 grs.

Contenido de Cemento Asfáltico en (%) del Peso del Material Pétreo: 6 %.

Contenido de Cemento Asfáltico en (grs) : 70 grs.

Temperatura para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) : 135°C.

Temperatura para mezclar el Material Pétreo : 145°C.

Temperatura para Compactar la Mezcla : 132.5°C.

Carga de Compactación : 10 Toneladas.

Tiempo de Aplicación de la Carga : 10 Minutos.

Velocidad de Aplicación de la Carga : 0.12 pulg/min.

**3er . Proceso:**

Contenido de Material Pétreo: 1,166.3 grs.

Contenido de Cemento Asfáltico en (%) del Peso del Material Pétreo: 6 %.

Contenido de Cemento Asfáltico en (grs) : 70 grs.

Temperatura para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) : 135°C.

Temperatura para mezclar el Material Pétreo : 145°C.

Temperatura para Compactar la Mezcla : 132.5°C.

Carga de Compactación : 10 Toneladas.

Tiempo de Aplicación de la Carga : 15 Minutos.

Velocidad de Aplicación de la Carga : 0.12 pulg/min.

**Método dinámico:**

Este método consiste en compactar la mezcla empleando la energía de compactación para el aparato Marshall, esto es dando 50 golpes en ambas caras de la probeta, para definir sus características geométricas las cuales son:

Diámetro : 101.6 mm.

Espesor : 63.5 mm.

Las características de este método son:

Contenido de Material Pétreo: 1,166.3 grs.

Contenido de Cemento Asfáltico en (%) del Peso del Material Pétreo: 6 %.

Contenido de Cemento Asfáltico en (grs) : 70 grs.

Temperatura para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) : 135°C.

Temperatura para mezclar el Material Pétreo : 145°C.

Temperatura para Compactar la Mezcla : 132.5°C.

Número de golpes en ambas caras de la Probeta: 50.

La intención de realizar y aplicar las variantes descritas anteriormente es definir el método más conveniente y funcional para elaborar el total de las probetas que se emplearan en el desarrollo de este trabajo.

Se trata de reproducir probetas Estáticas con características de probetas Dinámicas ya que las ultimas son las que define el Método Marshall, para realizar diferentes procesos de control de calidad para Mezclas Asfálticas, principalmente la resistencia de las mismas.

En las tablas 4.3- I se enlistan las características de las probetas elaboradas tanto por proceso dinámico como estático, destacando su espesor, diámetro, peso y principalmente la resistencia a compresión diametral de cada una lo anterior con el fin de observar aquellas que presenten características más apegadas a las que tienen las probetas elaboradas dinámicamente.

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estaticamente y que observen características de probetas elaboradas dinamicamente (Tipo Marshall).

"CARACTERÍSTICAS DE ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO - MANTENIENDO CARGA EN DIFERENTES TIEMPOS."											
No. de Probeta	Método de Elaboración	Contenido de Mat. Pétreo En (Grs)	Contenido de Ligante al 6% En (Grs)	Carga en Toneladas.	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Min)	Espesor de la Probeta en(mm). E1+E2+E3+E4/4	Diámetro de la Probeta en (mm). d1+d2+d3+d4/4	Carga Máxima de Ruptura en (Toneladas)	Velocidad de Aplicación de la carga en (pulg/min)	Peso de la Probeta en (grs)	Resistencia Compresión Diámetral
1	DINAMICO	1,166.30	70	.....	.....	64.8+64.6+65.0+65.8/4	101.5+101.4+101.4+101.3/4	0.550	.....	1,209.00	5.30831E-05
						65.05	101.40				5.3 Kg/cm <sup>2</sup>
2	DINAMICO	1,166.30	70	.....	.....	65.2+64.4+64.4+65.0/4	101.6+101.2+101.5+101.5/4	0.440	.....	1,204.40	4.26422E-05
						64.75	101.45				4.26 Kg/cm <sup>2</sup>
3	DINAMICO	1,166.30	70	.....	.....	65.3+65.3+65.8+65.8/4	101.3+101.4+101.4+101.4/4	0.460	.....	1,210.50	4.4069E-05
						65.55	101.38				4.40 Kg/cm <sup>2</sup>
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	67.4+69.0+68.9+67.0/4	101.3+101.3+101.2+101.2/4	0.270	0.12	1,200.20	2.49379E-05
						68.08	101.25				2.49 Kg/cm <sup>2</sup>
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	66.9+68.4+68.7+67.7/4	101.5+101.6+101.5+101.5/4	0.270	0.12	1,222.90	2.49253E-05
						67.93	101.53				2.49 Kg/cm <sup>2</sup>
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	68.1+67.6+67.1+67.5/4	101.6+101.6+101.6+101.6/4	0.260	0.12	1,214.00	2.41086E-05
						67.58	101.60				2.41 Kg/cm <sup>2</sup>
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	69.1+69.6+67.5+67.2/4	101.4+101.2+101.0+101.0/4	0.305	0.12	1,208.30	2.8085E-05
						68.35	101.15				2.81 Kg/cm <sup>2</sup>
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	68.4+68.2+68.3+68.7/4	101.2+101.4+101.3+101.3/4	0.225	0.12	1,228.00	2.06726E-05
						68.40	101.30				2.06 Kg/cm <sup>2</sup>
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	67.9+67.7+67.9+67.7/4	101.3+101.5+101.5+101.5/4	0.280	0.12	1,209.40	2.60015E-05
						67.58	101.45				2.60 Kg/cm <sup>2</sup>
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	67.4+68.3+68.5+67.5/4	101.3+101.3+101.3+101.3/4	0.255	0.12	1,207.30	2.35928E-05
						67.93	101.30				2.36 Kg/cm <sup>2</sup>
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	68.4+68.3+68.3+68.6/4	101.2+101.4+101.3+101.3/4	0.245	0.12	1,210.40	2.25102E-05
						68.40	101.30				2.25 Kg/cm <sup>2</sup>
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	68.9+70.2+69.3+67.1/4	101.1+101.2+101.2+101.4/4	0.260	0.12	1,214.70	2.37412E-05
						68.88	101.23				2.37 Kg/cm <sup>2</sup>

Banco de Extracción del Material Pétreo: Planta de Trituración Abraham Gonzalez "La Cañada".  
 Ubicación : Kilometro 8.3 "Carretera Queretaro - La Cañada".  
 Tipo de Ligante: Cemento Asfáltico AC-20.  
 Temperatura de Mezclado del Material Pétreo: 145°C  
 Temperatura de Mezclado del Cemento Asfáltico: 135°C  
 Temperatura de Compactación de la Mezcla: 132.5°C  
 Número de Golpes para Método Dinámico: 50 Golpes en ambas caras de la Probeta.

La resistencia a compresión diametral, tensión indirecta, de una probeta se calcula con la fórmula siguiente:

$$R_t = \frac{2 \cdot P}{3.14159 \cdot h \cdot d}$$

Donde:

Rt: Resistencia a compresión diametral (Ton/mm<sup>2</sup>)

P: Carga máxima de ruptura, (Ton).

Pi : Constante 3.14159

h: Altura de la Probeta, (mm).

d: Diámetro de la Probeta en (mm).

Fecha de Elaboración de Probetas Dinámicas : 14 de Marzo del 2001.

Fecha de Elaboración de Probetas Estáticas : 15 de Marzo del 2001.

Fecha de Ensayo de las Probetas : 16 de Marzo del 2001.

Edad de las Probetas Dinámicas : 2 Días.

Edad de las Probetas Estáticas : 1 Día.

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estaticamente y que observen características de probetas elaboradas dinamicamente (Tipo Marshall).

"ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO, EMPLEANDO (AC-20) NORMAL". MANTENIENDO CARGA EN DIFERENTES TIEMPOS.						
Método de Elaboración	Carga en Toneladas	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Minutos).	Características de las Probetas.	DATOS ESTADÍSTICOS.		
				MEDIA ARITMETICA $X = \sum_{i=1}^n X_i / n$	VARIANZA $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 / n}{n - 1}$	DESVIACIÓN ESTANDAR $S = \sqrt{S^2}$
DINAMICO	.....	.....	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	65.12 mm 101.40 mm 4.65 kg/cm2	0.16 mm 0.0013 mm 0.318 kg/cm2	0.40 mm 0.036 mm 0.56 mm
ESTATICO	10	3	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	67.86 mm 101.46 mm 2.46 kg/cm2	0.065 mm 0.0343 mm 0.0021 kg/cm2	0.25 mm 0.18 mm 0.046 mm
ESTATICO	10	10	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	68.11 mm 101.30 mm 2.49 kg/cm2	0.21 mm 0.0225 mm 0.15 kg/cm2	0.46 mm 0.15 mm 0.38 mm
ESTATICO	10	15	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	68.40 mm 101.27 mm 2.33 kg/cm2	0.22 mm 0.0016 mm 0.0044 kg/cm2	0.47 mm 0.04 mm 0.066 mm

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estáticamente y que observen características de probetas elaboradas dinámicamente (Tipo Marshall).

"CARACTERÍSTICAS DE ELABORACION DE PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO - APLICANDO CARGA EN DIFERENTES TIEMPOS."											
No. de Probeta	Método de Elaboración	Contenido de Mat. Pétreo En (Grs)	Contenido de Ligante al 6% En (Grs)	Carga en Toneladas.	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Min)	Espesor de la Probeta en (mm). E1+E2+E3+E4/4	Diámetro de la Probeta en (mm). d1+d2+d3+d4/4	Carga Máxima de Ruptura en (Toneladas).	Velocidad de Aplicación de la carga en (pulg/min).	Peso de la Probeta en (grs).	Resistencia Compresión Diámetral
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	69.0+68.9+68.5+68.5/4	101.5+101.8+101.5+101.4/4	0.520	0.12	1,213.80	4.74338E-05
						68.73	101.55				4.74 Kg/cm2
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	68.1+68.9+69.1+68.0/4	102.0+101.5+101.5+101.5/4	0.520	0.12	1,219.90	4.75371E-05
						68.53	101.63				4.75 Kg/cm2
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	3	68.2+68.9+68.9+68.5/4	101.5+101.5+101.5+101.3/4	0.555	0.12	1,212.30	5.07502E-05
						68.63	101.45				5.07 Kg/cm2
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	68.5+68.5+68.9+68.9/4	101.5+101.6+101.6+101.7/4	0.430	0.12	1,217.80	3.92191E-05
						68.70	101.60				3.92 Kg/cm2
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	67.3+68.0+69.0+68.1/4	101.5+101.5+102.1+101.8/4	0.470	0.12	1,213.00	4.31919E-05
						68.10	101.73				4.31 Kg/cm2
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	10	70.8+69.0+68.0+68.6/4	101.1+103.0+101.5+101.5/4	0.500	0.12	1,215.50	4.52616E-05
						69.10	101.78				4.53 Kg/cm2
1	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	67.0+67.8+69.0+68.2/4	102.0+102.2+101.6+101.4/4	0.490	0.12	1,218.60	4.50628E-05
						68.00	101.80				4.51 Kg/cm2
2	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	68.2+68.9+68.1+67.8/4	101.9+102.0+102.1+101.9/4	0.440	0.12	1,223.90	4.02472E-05
						68.25	101.98				4.02 Kg/cm2
3	ESTATICO	1,166.30	70	10	15	67.8+67.9+68.1+67.9/4	101.8+102.0+101.9+101.9/4	0.425	0.12	1,222.80	3.90899E-05
						67.93	101.90				3.91 Kg/cm2

Banco de Extracción del Material Pétreo: Planta de Trituración Abraham Gonzalez "La Cañada".  
 Ubicación : Kilometro 8.3 "Carretera Queretaro - La Cañada".  
 Tipo de Ligante: Cemento Asfáltico AC-20.  
 Temperatura de Mezclado del Material Pétreo: 145°C  
 Temperatura de Mezclado del Cemento Asfáltico: 135°C  
 Temperatura de Compactación de la Mezcla: 132.5°C

La resistencia a compresión diametral, tensión indirecta, de una probeta se calcula con la fórmula siguiente:

$$R_t = \frac{2 \cdot P}{3.14159 \cdot h \cdot d}$$

Donde:

- Rt: Resistencia a compresión diametral (Ton/mm2)
- P: Carga máxima de ruptura, (Ton).
- Pi : Constante 3.14159
- h: Altura de la Probeta, (mm).
- d: Diámetro de la Probeta en (mm).

Fecha de Elaboración de Probetas Estáticas : 13 de Marzo del 2001.  
 Fecha de Ensayo de las Probetas : 22 de Marzo del 2001.  
 Edad de las Probetas Estáticas : 9 Días.

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estaticamente y que observen características de probetas elaboradas dinamicamente (Tipo Marshall).

"ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO, EMPLEANDO (AC-20) NORMAL". APLICANDO CARGA EN DIFERENTES TIEMPOS.						
Método de Elaboración	Carga en Toneladas	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Minutos).	Características de las Probetas.	DATOS ESTADÍSTICOS.		
				MEDIA ARITMETICA $X = \sum_{i=1}^n X_i / n$	VARIANZA $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2 / n}{n - 1}$	DESVIACIÓN ESTANDAR $S = \sqrt{S^2}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ESTATICO	10	3	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	68.63 mm 101.54 mm 4.85 kg/cm2	0.01 mm 0.0081 mm 0.035 kg/cm2	0.1 0.09 mm 0.19 mm
ESTATICO	10	10	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	68.63 mm 101.70 mm 4.25 kg/cm2	0.25 mm 0.0086 mm 0.095 kg/cm2	0.50 mm 0.093 mm 0.31 mm
ESTATICO	10	15	Espesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	68.06 mm 101.83 mm 4.15 kg/cm2	0.028 mm 0.0081 mm 0.10 kg/cm2	0.17 mm 0.09 mm 0.32 mm

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estaticamente y que observen características de probetas elaboradas dinamicamente (Tipo Marshall).

"COMPARATIVA ENTRE CORAZONES Y PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO, OBTENIDOS Y ELABORADAS EN CAMPO"											
No. de Probeta	Método de Elaboración	Contenido de Mat. Pétreo En (Grs)	Contenido de Ligante al 6% En (Grs)	Carga en Toneladas.	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Min)	Espesor de la Probeta en(mm). E1+E2+E3+E4/4	Diámetro de la Probeta en (mm). d1+d2+d3+d4/4	Carga Máxima de Ruptura en (Toneladas).	Velocidad de Aplicación de la carga en (pulq/min).	Peso de la Probeta en (grs).	Resistencia Compresión Diámetral
PROBETA DEL CORAZON "25".	OBTENCIÓN EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	65.1+65.0+65.9+65.8/4 65.40	101.2+100.6+101.0+100.9/4 100.93	0.240	0.12	1,056.70	2.3148E-05 2.31 Kg/cm2
PROBETA DEL CORAZON "26".	OBTENCIÓN EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	64.1+63.9+64.1+64.5/4 64.15	101.1+101.0+100.9+100.8/4 100.95	0.460	0.12	1,144.50	4.52204E-05 4.52 Kg/cm2
PROBETA DEL CORAZON "27".	OBTENCIÓN EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	63.1+62.5+63.0+63.8/4 63.10	101.1+101.0+101.0+101.0/4 101.03	0.300	0.12	1,101.40	2.996E-05 2.99 Kg/cm2
PROBETA 110.	ELABORADA EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	62.5+63.0+64.1+63.0/4 63.15	102.1+102.1+102.9+103.0/4 102.53	1.145	0.12	1,242.40	0.000112585 11.26 Kg/cm2
PROBETA 111.	ELABORADA EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	64.1+64.2+64.3+63.5/4 64.03	102.1+102.0+102.0+102.2/4 102.08	1.090	0.12	1,266.20	0.000106179 10.62 Kg/cm2
PROBETA 112.	ELABORADA EN CAMPO.	.....	.....	.....	.....	63.0+62.5+62.6+62.6/4 62.68	102.1+102.9+102.1+102.4/4 102.38	1.045	0.12	1,245.50	0.000103683 10.37 Kg/cm2

<p><b>"DATOS DE LOS CORAZONES".</b>  <b>OBRA :</b> Reconstrucción de Pavimento de Concreto Asfáltico.  <b>CAPAS:</b> Carpeta y Base Asfálticas.  <b>UBICACIÓN:</b> Autopista México - Queretaro.  <b>TRAMO:</b> Palmillas - Queretaro.  <b>SUB - TRAMO:</b> Km 207+000 - 211+400.  <b>CUERPO:</b> "B".</p>	<p><b>"DATOS DE LAS PASTILLAS".</b>  <b>OBRA :</b> Reconstrucción de Pavimento de Concreto Asfáltico.  <b>CAPAS:</b> Carpeta y Base Asfálticas.  <b>UBICACIÓN:</b> Autopista México - Queretaro.  <b>TRAMO:</b> Palmillas - Queretaro.  <b>SUB - TRAMO:</b> Km 207+000 - 211+000.  <b>CUERPO:</b> "B".</p>
--	--

Los corazones que se emplearán para esta comparación fueron extraídos en el Kilometro 207 + 300.

	NO. DE PROBETA	ELABORADA EN EL KM.	FECHA DE ELABORACIÓN.	FECHA DE ENSAYE.	EDAD.
CAPA - 2	110	208 + 300 AL	12-Nov-99	22-Mar-01	14 Meses
FAJA - 2		208 + 225			
CAPA - 2	111	208 + 385 AL	15-Nov-99	22-Mar-01	14 Meses
FAJA - 3		208 + 350			
CAPA - 2	112	208 + 385 AL	15-Nov-99	22-Mar-01	14 Meses
FAJA - 3		208 + 350			

La resistencia a compresión diámetral, tensión indirecta, de una probeta se calcula con la fórmula siguiente:

$$R_t = \frac{2 * P}{3.14159 * h * d}$$

Donde:

- Rt: Resistencia a compresión diámetral (Ton/mm<sup>2</sup>)
- P: Carga máxima de ruptura, (Ton).
- Pi: Constante 3.14159
- h: Altura de la Probeta, (mm).
- d: Diámetro de la Probeta en (mm).

**Tablas 4.3- I** Interacción de los métodos de elaboración de probetas para definir aquel con el que se obtengan probetas elaboradas estaticamente y que observen características de probetas elaboradas dinamicamente (Tipo Marshall).

"ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE CORAZONES Y PROBETAS DE CONCRETO ASFALTICO". OBTENIDAS Y ELABORADAS EN CAMPO.						
Método de Elaboración	Carga en Toneladas	Tiempo de Aplicación de la Carga en (Minutos).	Características de las Probetas.	DATOS ESTADISTICOS.		
				MEDIA ARITMETICA $X = \sum_{i=1}^n Xi / n$	VARIANZA $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (\sum_{i=1}^n Xi)^2 / n}{n - 1}$	DESVIACIÓN ESTANDAR $S = \sqrt{S^2}$
<b>CORAZONES</b>	.....	.....	Esesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	64.21 mm 100.97 mm 3.27 kg/cm2	1.32 mm 0.0028 mm 1.28 kg/cm2	1.15 mm 0.053 mm 1.13 mm
<b>PROBETAS</b>	.....	.....	Esesor. Diámetro. Resistencia Compresión Diámetral.	63.29 mm 102.33 mm 10.75 kg/cm2	0.47 mm 0.052 mm 0.21 kg/cm2	0.68 mm 0.23 mm 0.46 mm



#### **4.4 Razones de selección de las sustancias y de los periodos de inmersión.**

Una vez que se han analizado las características de las probetas tanto estáticas como dinámicas, se observa que las probetas elaboradas por método estático que tienen características más apegadas a las dinámicas son las elaboradas **“Aplicando Carga Estática de 14 Toneladas durante 3 minutos”**, ya que tienen una resistencia de **4.74 kg/cm<sup>2</sup>** *que es comparada con 4.65 kg/cm<sup>2</sup>* de las pastillas dinámicas y solo existe una diferencia de **0.09 kg/cm<sup>2</sup>**, por lo que se toman como las más adecuadas para elaborar el total de las probetas que se emplearan en el desarrollo de este trabajo.

Por lo que el procedimiento que se adopta como el más adecuado es el que tiene los siguientes parámetros:

Contenido de Material Pétreo: 1,166.3 grs.

Contenido de Cemento Asfáltico en (%) del Peso del Material Pétreo: 6 %.

Contenido de Cemento Asfáltico en (grs) : 70 grs.

Temperatura para mezclar el Cemento Asfáltico (AC-20) : 135°C.

Temperatura para mezclar el Material Pétreo : 145°C.

Temperatura para Compactar la Mezcla : 132.5°C.

Carga de Compactación : 14 Toneladas.

Tiempo de Aplicación de la Carga : 3 Minutos.

Velocidad de Aplicación de la Carga : 0.12 pulg/min.

Se han considerado 7 sustancias para desempeñar la función de contaminantes, ya que son utilizadas principalmente como combustibles tanto en la industria como en el funcionamiento de una gran diversidad de maquinas y automotores, otras sustancias han sido tomadas en cuenta ya que la magnitud en que son utilizadas como materia prima para la elaboración de una gran diversidad de productos es muy importante, como se describe en el CAPITULO III de este trabajo donde se describen estas sustancias, tales sustancias son las siguientes:

**GASOLINA.**

**DIESEL.**

**ÁCIDO SULFÚRICO.**

**ÁCIDO CLORHÍDRICO.**

**ÁCIDO ACÉTICO.**

**SOSA CÁUSTICA.**

Debido a la importancia de estas sustancias, y al gran índice de utilización de las mismas son las que con mayor frecuencia circulan por la Red Carretera Nacional y como consecuencia son las más probables a estar presentes en un derrame, como resultado de accidentes de los vehículos que las transportan como es el caso de una volcadura, de esta manera la sustancia entra en contacto con la superficie de rodamiento, motivo por el cual ha surgido la inquietud del desarrollo de este trabajo para evaluar las consecuencias derivadas del evento mencionado anteriormente, enfocado principalmente al estudio de la resistencia del concreto asfáltico.

Además de las sustancias mencionadas anteriormente, se ha considerado el agua como otro elemento de ataque al Concreto Asfáltico ya que este líquido no solo entra en contacto con el pavimento por derrame de algún vehículo, sino que por el efecto natural de las lluvias siendo más agudo el problema cuando la intensidad de las lluvias es importante provocada por ciclones o huracanes, simplemente la fuga en una tubería del abastecimiento de agua potable o de alcantarillado, significa un riesgo de ataque por contacto de agua al pavimento y otras actividades domésticas que incurren en el derrame de agua.

Para realizar un estudio amplio de la evaluación de la pérdida de resistencia de un concreto asfáltico, se han considerado 4 edades para la exposición de las probetas ( 1,7,14 y 28 días), estas edades han sido propuestas pensando, en la prontitud y atención que tanto las autoridades como los transportistas y la población afectada por estos acontecimientos presten para la solución y mitigación del problema es decir para que se tomen medidas de saneamiento.

Para medir la pérdida de resistencia de las probetas expuestas a los contaminantes al finalizar el proceso de exposición para cada edad, se ha considerado el siguiente procedimiento: tres probetas serán expuestas, colocándolas dentro de un recipiente rectangular con dimensiones necesarias para alojar perfectamente bien las probetas expuestas, una vez colocadas las probetas se deposita en ellas el contaminante correspondiente para iniciar el proceso de ataque, como parámetro de comparación y para poder determinar el porcentaje en que disminuye la resistencia de las probetas expuestas, se cuenta con probetas denominadas testigos las cuales son elaboradas en la misma fecha que las probetas expuestas y se ensayaran la misma fecha en que se ensayen las mismas



**Figura 4.4-1 Condiciones en que son sometidas las probetas a la exposición de sustancias agresivas.**

En la Tabla 4.4- I se muestra de manera esquemática, las sustancias que hacen la función de contaminantes, las diferentes edades de exposición de las probetas y la cantidad necesaria de ellas para poder realizar y hacer las determinaciones que son objeto este trabajo.

Figura 4.4- I Representación esquemática de las sustancias que hacen la función de contaminantes, periodos de exposición de las probetas y la cantidad necesaria de ellas para llevar a cabo el experimento.

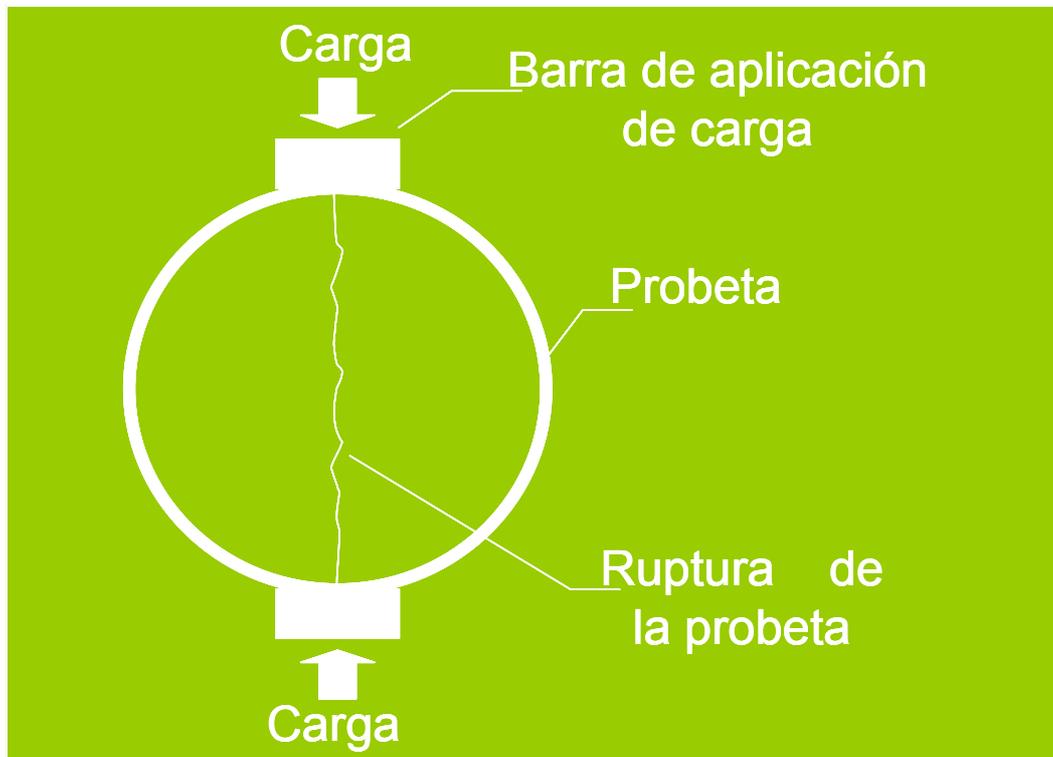
"PERDIDA DE RESISTENCIA DE CONCRETO ASFALTICO POR CONTACTO DE SUSTANCIAS AGRESIVAS.				
SUSTANCIA CONTAMINANTE.	PERIODO DE EXPOSICIÓN EN EL CONTAMINANTE. (DIAS).	NUMERO DE PASTILLAS EXPUESTAS EN EL CONTAMINANTE.	NUMERO DE PASTILLAS TESTIGO DE PASTILLAS EXPUESTAS EN EL CONTAMINANTE.	NUMERO TOTAL DE PASTILLAS PARA CADA PROCESO.
GASOLINA.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
DIESEL.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
ÁCIDO SULFÚRICO.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
ÁCIDO CLORHÍDRICO.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
ÁCIDO ACÉTICO.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
SOSA CÁUSTICA.	1	3	3	6
	7	3	3	6
	14	3	3	6
	28	3	3	6
AGUA.	1	2	2	4
	7	2	2	4
	14	1	1	2
	28	2	2	4
<b>CANTIDAD TOTAL DE PASTILLAS NECESARIAS PARA EL PROCESO EXPERIMENTAL.</b>				<b>158</b>

#### 4.5 Método de ensaye a tensión indirecta (Ensaye Brasileño).

El método de la Resistencia a la Compresión Diametral de Mezclas Asfálticas, fue desarrollado, durante el programa de investigación conocido como Programa de Desarrollo Estratégico de Carreteras ( Strategic Highway Research Program siglas en ingles SHRP), como un método de caracterización del concreto asfáltico a temperaturas de aproximadamente 30° a 0° C (A.A. Tayebali et al; 1995). En este ensayo una carga es aplicada verticalmente a lo largo de un espécimen de concreto asfáltico. Esta carga produce un complejo estado de esfuerzos, estos esfuerzos de tensión son largos y uniformes los cuales se generan de tal forma que se presentan perpendiculares a la dirección de la carga.

Si la carga es continua en una forma constante, el espécimen eventualmente sufre una falla por tensión. El ensayo de tensión indirecta fue utilizado para medir el módulo de tensión de concreto asfáltico durante muchos años. El ensayo de tensión indirecta fue recientemente implementado por Roque, Hiltunen, Stoffels, Buttler y otros durante el Programa de Desarrollo Estratégico de Carreteras, para utilizarse como un método para evaluar y caracterizar las distintas mezclas de

concreto asfáltico a bajas temperaturas con el fin de prever el agrietamiento por temperatura. El ensayo de tensión Indirecta es ahora el proceso final de refinamiento de las mezclas y se encuentra implementado como una parte de los modelos de Super pavimento (Superpave). (D.W. Christensen et al; 1998).



**Figura 4.5-1 Ilustración de la forma en que se impone la deformación por compresión diametral a las probetas.**

El principio del método consiste en imponer una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa. El parámetro a medir es la carga de ruptura de la probeta, optativamente, se puede determinar el desplazamiento vertical de la probeta durante la realización del ensayo si se dispone de sistemas pertinentes para medirlo. Tal como se instrumenta la **VERSA TESTER** con un micrómetro fijado a través de un imán y cuyo vástago se apoya en el marco de carga para determinar el desplazamiento vertical.



**Figura 4.5-2 Instrumentación de la Versa Tester con micrómetro para medir deformaciones verticales.**

El sistema de medida, es con una aproximación de (0.01 mm) de desplazamiento vertical, lectura del micrómetro que se instrumento en la VERSA TESTER .

El método de ensayo permite, por una parte, definir un parámetro capaz de caracterizar la mezcla bituminosa y por otra, optimizar, en función del contenido de ligante, la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante.

El procedimiento se puede utilizar en el control de calidad de las mezclas bituminosas durante la fabricación o la puesta en obra de la mismas. [ Normas NLT; 1992.]

### **Aparatos y material necesarios.**

Para ensayar las probetas se emplea cualquier tipo de prensa de compresión mecánica o hidráulica, que pueda proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad del sistema de carga de (50.8 mm / min), y una carga de (100 kN) como mínimo.

La maquina VERSA TESTER, cumple perfectamente con las características requeridas en el párrafo anterior, por lo que se adopta también para realizar el proceso de ensaye de las probetas a Tensión Indirecta, aplicando la misma velocidad que se utilizó para su elaboración.

El dispositivo permitirá la sujeción mediante contacto de la probeta por sus caras planas, utilizando dos tornillos de ajuste, así como la colocación de la probeta en forma que dos de sus generatrices diametralmente opuestas, estén contenidas en el plano diametral perpendicular a los platos de la prensa. El contacto de estas dos generatrices con los elementos transmisores de la carga se puede hacer por medio de dos bandas de apoyo de madera contra chapada o cartón sin defectos, de 3 mm de espesor, 25 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente superior a la generatriz de la probeta. Las bandas de apoyo no se utilizarán en más de un ensayo. También se puede situar la probeta directamente entre los dos platos de la prensa, siempre que se asegure el paralelismo entre ellos durante la carga.

En el caso del ensaye de las probetas que son objeto de estudio en este trabajo, la transmisión de la carga se hizo a través de dos placas de acero de aproximadamente 1 cm de espesor, contra chapada y de longitud ligeramente superior a la generatriz de la probeta.



**Figura 4.5-3 Forma en que se colocan las probetas en la Versa Tester para su ensaye a Tensión Indirecta.**

### Procedimiento.

Aunque las dimensiones de las probetas no son característica privativa del ensayo, se deben utilizar preferentemente las de diámetro 101.5 mm y altura de unos 63 mm (**PROBETA MARSHALL**). El proceso de compactación de la probeta (energía y temperatura) se efectuará de acuerdo con las características de la mezcla y del ligante asfáltico en estudio (**CEMENTO ASFALTICO AC-20 NORMAL**), como ya se definió en la parte que corresponde a la elaboración de las probetas.



**Figura 4.5-4 Fase final de la elaboración de las probetas por proceso estático.**

Los testigos extraídos del pavimento presentan un diámetro constante sobre su longitud y las superficies laterales no presentan irregularidades. Para obtener una altura uniforme se debe cerrar el testigo de tal manera que las superficies planas del mismo sean paralelas. Si el testigo procede de la capa de rodadura no es necesario eliminar la zona superficial superior si esta zona no presenta irregularidades mayores de  $\pm 5\%$  de la altura de la probeta - testigo y de 5mm como máximo. La altura mínima de las probetas – testigo- para ensaye no será menor de 30mm.

Las probetas testigo que se emplearon para el análisis comparativo con las elaboradas tanto estática como dinámicamente se cortaron de un tamaño semejante a las probetas Marshall es decir de espesor de 63mm y diámetro entre 101.5 mm aproximadamente, los corazones inicialmente presentaban una altura aproximadamente de 37cm pero se apreciaba que era producto de varios procesos de sobre carpeta que se habían dado al tramo, tomando para este estudio el correspondiente al ultimo proceso, cuyos resultados se muestran en las tablas correspondientes. [ Normas NLT; 1992.]

### **Ejecución del ensayo.**

Una vez que las probetas han sido elaboradas, permanecen en un proceso de fraguado por 24 horas, posteriormente se determinan sus características geométricas tanto para probetas expuestas como para probetas testigo. Con el calibrador se determina el diámetro  $\pm 0.1\text{mm}$ , de la probeta en cuatro planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano inferior. El diámetro medio,  $d$ , es la media aritmética de las cuatro medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior a 1mm.

La altura de la probeta se mide también con precisión de  $\pm 0.1\text{mm}$  en cuatro puntos definidos por los extremos de los planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10mm inferior al radio de la probeta. La altura media,  $h$ , es la media aritmética de las cuatro medidas la diferencia entre dos medidas individuales no será superior al 5% de la altura media, con un máximo de 5 mm.



**Figura 4.5-5 Medición de las Características Geométricas de las probetas.**

Además de determinar sus características geométricas se registra el peso de las mismas antes del proceso de exposición a los contaminantes, el cual será comparado con el que se obtenga de pesar las probetas después del proceso de exposición, lo cual nos servirá para distinguir fenómenos como: Porcentaje de desgaste de las probetas expuestas en relación con los testigos, el efecto de la saturación de las probetas, el incremento de peso de los testigos comparando su peso en el momento de su elaboración con el de antes de ser ensayadas, ya que el efecto del incremento de peso puede ser provocado por el contacto con el oxígeno presente en la atmósfera o por incremento de humedad. [Normas NLT; 1992.]



**Figura 4.5-6 Determinación del Peso de las Probetas.**

Una vez concluidos los procesos de exposición de las probetas, se procede a ensayarlas, en donde se determina la *Carga Máxima de ruptura* de cada probeta, esto es: se ensayaran por lotes de tres probetas tanto expuestas como testigos para poder hacer las comparaciones descritas con anterioridad.



**Figura 4.5-7 Lotes de tres Probetas tanto Expuestas como Testigos para ser ensayadas a tensión indirecta.**

Se puede realizar el ensayo a temperaturas diferentes a la temperatura ambiente con el fin de estudiar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio. No obstante hay que tener presente que temperaturas por encima del punto de reblandecimiento del ligante exaltan el carácter viscoso de las mezclas, y que la fórmula empleada en la determinación de la resistencia a tracción indirecta, sólo es estrictamente aplicable a materiales con carácter fundamentalmente elástico.

Cabe mencionar que las probetas que se ensayaron motivo de estudio en este trabajo se ensayaron a temperatura ambiente, inmediatamente después de dejarlas por un lapso corto de tiempo para que se secaran superficialmente del contaminante donde se encontraban, esto para el caso de las probetas expuestas, actividad que además hacía más cómoda y segura la manipulación de las probetas, en el caso de las probetas testigo igualmente se ensayan a temperatura ambiente. [ Normas NLT; 1992].



**Figura 4.5-8 Exposición de las probetas para su secado superficial.**

Si se dispone de elementos de medida de deformación vertical se colocan en posición de medida y se ajusta a cero (Caso del micrómetro con el cual se instrumenta la VERSA TESTER.)

Se aplica la carga a la probeta manteniendo la velocidad de deformación de 0.12 pulgadas / minuto constante, hasta que se rompa la probeta.



**Figura 4.5-9 Aplicación de la carga para determinar la carga máxima de ruptura.**

El tiempo transcurrido entre el momento en que se coloca la probeta en la máquina y la ruptura de la misma en la prensa no debe exceder de 30 segundos.

Se registran o anotan los valores de la carga máxima de ruptura y el desplazamiento vertical, como es el caso de los registros que se encuentran en las tablas correspondientes a las características de las probetas expuestas a los diferentes contaminantes en diferentes lapsos de tiempo de exposición.

### **Resultados.**

La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de una probeta, se calcula con la fórmula siguiente:

$$R\tau = \frac{2.P}{\pi.h.d}$$

Donde:

Rt = Resistencia a compresión diametral (Kg / cm<sup>2</sup>).

P = Carga Máxima de ruptura, (Toneladas)

$\pi$  = Constante 3.14159

h = Altura de la probeta, (mm) ( $\pm$  0.1mm).

d = Diámetro de la probeta, (mm) ( $\pm$  0.1mm).

Además con el resultado se informará, para cada probeta, de:

- Características de la mezcla bituminosa utilizada.
- Contenido de ligante, en % s/a.
- Fabricación y compactación de la probeta.
- Modo de aplicación de la carga.
- Altura de la probeta, en 0.1 mm.
- Diámetro de la probeta, en 0.1 mm.
- Temperatura de ensayo, en °C.
- Velocidad de aplicación de la carga, en ( pulgadas / minuto).
- Carga Máxima , en Toneladas.
- Si se ha determinado el desplazamiento vertical, se informará de:
  - Desplazamiento vertical,  $D_v$ , en 0.01 mm.
  - El valor calculado de  $D_v$ .

Para depurar los datos obtenidos de: características geométricas, pesos, carga máxima de ruptura, y deformación de las probetas, se hace uso de la estadística para determinar principalmente media aritmética de los datos obtenidos al ensayar por grupos de tres probetas tanto las expuestas como los testigos a los diferentes periodos de exposición empleando otras operaciones estadísticas como la varianza y la desviación estándar se verifica la confiabilidad de los datos, que serán los que se utilicen en la elaboración de gráficas e interpretación de resultados así como para la determinación de las conclusiones y recomendaciones correspondientes a cada caso.

Así pues en la Tabla 4.5- I se muestra la calendarización y programación de las actividades correspondientes a la elaboración, fechas de inmersión y ensaye, así como lapso de tiempo de inmersión a diferentes edades de exposición en los contaminantes de las probetas.

Tabla 4.5-1 Calendarización y Programación de las Actividades correspondientes a la elaboración , fechas de inmersión y ensaye de probetas.

"PERDIDA DE RESISTENCIA DE CONCRETO ASFALTICO POR CONTACTO DE SUSTANCIAS AGRESIVAS". "PROGRAMACION PARA LA ELABORACIÓN, INMERSION Y FECHAS DE ENSAYE AL FINALIZAR EL PROCESO DE EXPOSICIÓN".						
SUSTANCIA CONTAMINANTE	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE INMERSIÓN	FECHA DE ENSAYE 1 DÍA.	FECHA DE ENSAYE 7 DÍAS.	FECHA DE ENSAYE 14 DÍAS.	FECHA DE ENSAYE 28 DÍAS.
<b>I).- "GASOLINA"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DIA DE EXPOSICIÓN.	LUNES 9-Abr-01	MARTES 10-Abr-01	MIERCOLES 11-Abr-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 9-Abr-01	MARTES 10-Abr-01		MARTES 17-Abr-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MARTES 10-Abr-01	MIERCOLES 11-Abr-01			MIERCOLES 25-Abr-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MARTES 10-Abr-01	MIERCOLES 11-Abr-01				MIERCOLES 9-May-01
<b>II).- "DIESEL"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DIA DE EXPOSICIÓN.	MARTES 17-Abr-01	MIERCOLES 18-Abr-01	JUEVES 19-Abr-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MARTES 17-Abr-01	MIERCOLES 18-Abr-01		MIERCOLES 25-Abr-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MIERCOLES 18-Abr-01	JUEVES 19-Abr-01			JUEVES 3-May-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MIERCOLES 18-Abr-01	JUEVES 19-Abr-01				JUEVES 17-May-01
<b>III).- "ÁCIDO SULFÚRICO"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DIA DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 20-Abr-01	SABADO 21-Abr-01	DOMINGO 22-Abr-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 20-Abr-01	SABADO 21-Abr-01		SABADO 28-Abr-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 23-Abr-01	MARTES 24-Abr-01			MARTES 8-May-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 23-Abr-01	MARTES 24-Abr-01				MARTES 22-May-01
<b>IV).- "ÁCIDO CLORHÍDRICO"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DIA DE EXPOSICIÓN.	MARTES 24-Abr-01	MIERCOLES 25-Abr-01	JUEVES 26-Abr-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MARTES 24-Abr-01	MIERCOLES 25-Abr-01		MIERCOLES 2-May-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	JUEVES 26-Abr-01	VIERNES 27-Abr-01			VIERNES 11-May-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	JUEVES 26-Abr-01	VIERNES 27-Abr-01				VIERNES 25-May-01

**Tabla 4.5- 1** Calendarización y Programación de las Actividades correspondientes a la elaboración , fechas de inmersión y ensaye de probetas.

"PERDIDA DE RESISTENCIA DE CONCRETO ASFALTICO POR CONTACTO DE SUSTANCIAS AGRESIVAS".						
"PROGRAMACION PARA LA ELABORACIÓN, INMERSION Y FECHAS DE ENSAYE AL FINALIZAR EL PROCESO DE EXPOSICIÓN".						
SUSTANCIA CONTAMINANTE	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE INMERSIÓN	FECHA DE ENSAYE 1 DÍA.	FECHA DE ENSAYE 7 DÍAS.	FECHA DE ENSAYE 14 DÍAS.	FECHA DE ENSAYE 28 DÍAS.
<b>Vj.-"ÁCIDO ACÉTICO"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DÍA DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 27-Abr-01	SABADO 28-Abr-01	DOMINGO 29-Abr-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 27-Abr-01	SABADO 28-Abr-01		SABADO 5-May-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 30-Abr-01	MARTES 1-May-01			MARTES 15-May-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 30-Abr-01	MARTES 1-May-01				MARTES 29-May-01
<b>Vij.-"SOSA CÁUSTICA"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 1 DÍA DE EXPOSICIÓN.	MIÉRCOLES 2-May-01	JUEVES 3-May-01	VIERNES 4-May-01			
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	MIÉRCOLES 2-May-01	JUEVES 3-May-01		JUEVES 10-May-01		
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 4-May-01	SABADO 5-May-01			SABADO 19-May-01	
3 PASTILLAS EXPUESTAS Y 3 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	VIERNES 4-May-01	SABADO 5-May-01				SABADO 2-Jun-01
<b>Vii).- "AGUA"</b> 24 PASTILLAS APLICANDO 14 TONELADAS POR METODO ESTATICO DURANTE TRES MINUTOS.						
2 PASTILLAS EXPUESTAS Y 2 TESTIGOS PARA 1 DÍA DE EXPOSICIÓN.	LUNES 21-May-01	MARTES 22-May-01	MIÉRCOLES 23-May-01			
2 PASTILLAS EXPUESTAS Y 2 TESTIGOS PARA 7 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 21-May-01	MARTES 22-May-01		MARTES 29-May-01		
1 PASTILLA EXPUESTA Y 1 TESTIGO. PARA 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 21-May-01	MARTES 22-May-01			MARTES 5-Jun-01	
2 PASTILLAS EXPUESTAS Y 2 TESTIGOS PARA 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	LUNES 21-May-01	MARTES 22-May-01				MARTES 19-Jun-01

### ***Discusión de resultados de ensaye a tensión indirecta a las probetas expuestas en las sustancias agresivas.***

Las discusiones que se presentan en este trabajo son elaboradas en base al análisis que se hizo de las características de las probetas antes de ser expuestas a las sustancias agresivas, así como después del proceso de exposición y ser ensayadas a tensión indirecta.

Las discusiones son una semblanza de observaciones físicas de las probetas, así como el análisis de las tablas y gráficas que forman parte, de este trabajo, con lo que se pretende dar a conocer, así como observar y distinguir los cambios y efectos que ocurren en el concreto asfáltico por el contacto de sustancias agresivas, evaluando su comportamiento a los diferentes procesos de exposición que también han sido descritos anteriormente.

Dentro de los aspectos que se destacan son principalmente la pérdida de resistencia a tensión indirecta (Compresión Diametral) o la ganancia de la misma que se tiene en las probetas de concreto asfáltico, con lo que a través de gráficas de tipo normalizado donde se relaciona la resistencia a compresión diametral de probetas expuestas entre sus correspondientes testigos, se hará la determinación de este parámetro, es decir, la relación de aquellas que sea menor que 1, representa pérdida de resistencia a compresión diametral, a diferencia de aquellas en las que se tenga una relación mayor que 1, será indicativo de ganancia de resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas.

También se da a conocer la deformación vertical que experimentan las probetas tanto expuestas como testigos, para determinar la variación existente entre ambas, y medir el efecto en este parámetro que provoca el contacto de las sustancias estudiadas al concreto asfáltico.

Además se exponen las variaciones que se tienen en cuanto al peso inicial de las probetas, antes de iniciar su exposición a los diferentes lapsos de tiempo y al finalizar el mismo, la cual dependerá de la naturaleza de la sustancia, y de los efectos que provoca en la estructura de las probetas esta variación.

### **5.1 Auscultación y diagnóstico por contacto con gasolina.**

Este hidrocarburo representa para el Concreto Asfáltico un grave peligro en caso de ocurrir contacto, ya que es un producto altamente solvente y con una velocidad de infiltración elevada, efecto que es palpable al observar su alta volatilidad.

El ataque de la gasolina es de manera instantánea, ya que tan solo en las primeras 24 horas de exposición las probetas tienen una pérdida en su resistencia a compresión diametral de más del 75%, por lo que debido a este acelerado deterioro del concreto asfáltico por contacto con gasolina al finalizar el proceso de exposición las probetas solo tienen un 2.8% de capacidad de resistencia a compresión diametral.

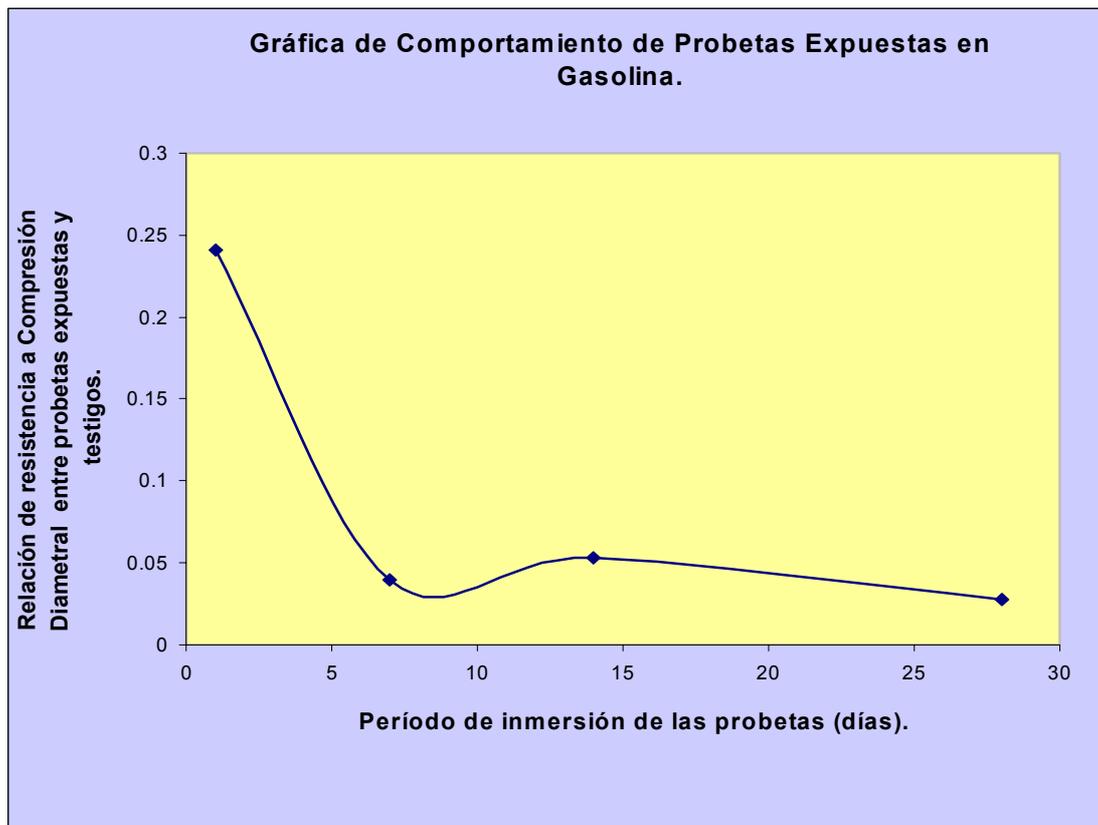
Debido al alto grado de volatilidad que tiene la gasolina los efectos de la misma en el concreto asfáltico suceden de manera rápida y con grandes variaciones entre los diferentes procesos de exposición, ya que la gasolina tiende a desaparecer de los recipientes donde se encuentran las probetas expuestas, mientras existe contacto de la gasolina y el perímetro de las probetas, el comportamiento del concreto asfáltico en relación a la resistencia a compresión diametral es decreciente ya que para 7 días de exposición, se a disminuido en 20% la resistencia a compresión diametral comparada con la que se tenía a 1 día de exposición es decir se tiene un 96% de pérdida de resistencia a compresión diametral, después de que la gasolina se a volatilizado completamente efecto que ocurre al onceavo día de exposición de las probetas a 14 y 28 días, existe una variación en la tendencia que se venía observando ya que las probetas expuestas 14 días tienen una recuperación de 1.3% en su resistencia a compresión diametral, recuperación que provoca el contacto de las probetas con el oxígeno presente en la atmósfera y la ausencia de gasolina rodeando a las probetas, aunque el efecto interno de la gasolina continua causando estragos lo que es palpable en los valores que arrojan las probetas expuestas 28 días en lo referente a resistencia a compresión diametral donde las probetas han perdido un 97.20% de este indicador, siendo este el valor más crítico que se tiene en pérdida de resistencia a compresión diametral del concreto asfáltico por contacto con gasolina.

El gran poder solvente que tiene la gasolina con el asfalto, provoca la degradación del mismo, es decir, reduce sus propiedades aglutinantes y de cohesión entre las partículas de material pétreo que conforman el concreto asfáltico, lo que repercute en un gran desprendimiento de estas partículas, perdiéndose de esta manera peso en las probetas, con lo que se tienen importantes variaciones del peso inicial, al iniciar los procesos de exposición con los pesos de las mismas al finalizar estos procesos.

De la misma forma al registrarse en las probetas una pérdida en su sección geométrica por el desprendimiento de material pétreo, se tienen también deformaciones verticales considerables siendo el caso más crítico a la edad de 7 días donde se tienen deformaciones de 308% más en probetas expuestas que en probetas testigo, lo que es congruente relacionar con que en esta edad aún existía contacto entre el perímetro de las probetas y la gasolina contenida en los recipientes, posteriormente para edades de 14 y 28 días de exposición se manifiesta una recuperación considerable en cuanto a la deformación que sufren las probetas expuestas ya que para estas edades de exposición se tiene porcentajes de 127% y 64% de mayor deformación en probetas expuestas respectivamente, nuevamente resulta fácil relacionar estos parámetros con el hecho de que la presencia de gasolina al finalizar estos periodos de exposición era nula.

### Gasolina 1 día.

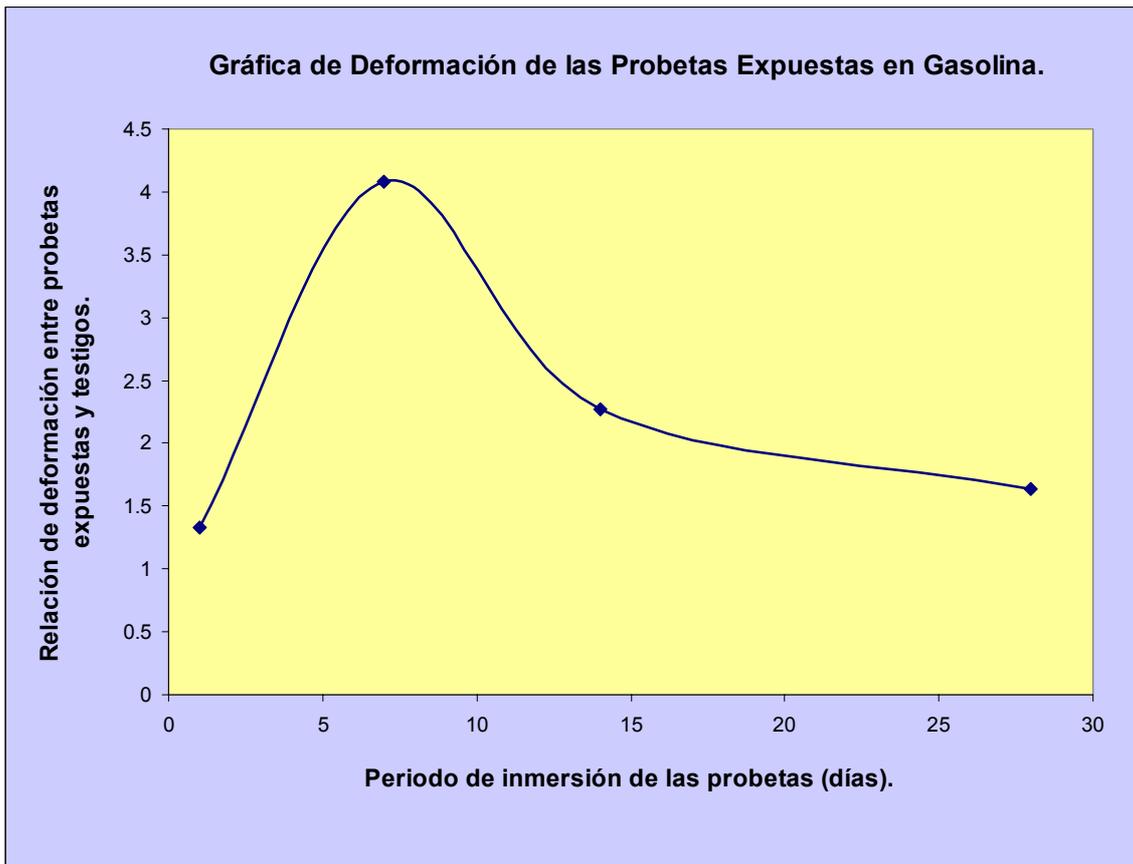
Como consecuencia del alto grado de volatilidad que tiene la gasolina, sus efectos en el concreto asfáltico ocurren de manera inmediata y con grandes variaciones entre los diferentes procesos de exposición.



Gráfica 5.1-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en Gasolina.

Al ensayar el lote de probetas expuestas en gasolina por 24 horas se determina una resistencia a compresión diametral de  $0.84 \text{ kg / cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos arrojan un valor de  $3.48 \text{ kg / cm}^2$ , cuya relación es de 0.241, lo que representa una pérdida de resistencia a compresión diametral de 75.90%, lo que significa una pérdida de más de la tercera parte de su capacidad de resistencia, lo anterior nos hace pensar el grave riesgo al que puede estar expuesto un pavimento de concreto asfáltico, con una capacidad de resistencia de 24.10%, cuando por el circulen vehículos articulados como lo son: el T3-S2, T3-S3, T3-S2-R4, o vehículos rígidos como el C-2, C-3, B-2 y B-3, que por la intensidad de carga que transmiten al pavimento, con toda seguridad provocarán la destrucción del mismo.

En lo que se refiere a la deformación vertical que sufren las probetas expuestas se tienen deformaciones de 4.73 mm, lo que representa un 33% más de deformación que sus correspondientes testigos ya que estos tienen deformaciones de 3.56 mm.



**Gráfica 5.1-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Gasolina.**

La pérdida de material pétreo en las probetas expuestas 24 horas, no es aún considerable, lo que se distingue al observar que la sección geométrica de las probetas expuestas no ha variado de manera importante, en comparación a la que se tenía momentos antes de iniciar el proceso de inmersión (Figura 5.1-1).



*Figura 5.1-1 Apariencia que mostraron las probetas al concluir el proceso de exposición en gasolina 24 horas.*

Al sacar las probetas de las bandejas donde fueron expuestas en gasolina se aprecia en el interior fragmentos de material pétreo que se desprendió como resultado de la pérdida del poder aglutinante del asfalto ya que la gasolina tiene un alto poder solvente con el asfalto lo que provoca una pérdida de peso en las probetas debido a disminución en su sección geométrica de 12.92% pasando de 1213.03 gr., antes de iniciar el proceso de inmersión a 1056.30 gr. al finalizar el proceso.

#### **Gasolina 7 días.**

Posteriormente, al concluir el proceso de inmersión de las probetas expuestas por 7 días y ser ensayadas a tensión indirecta el valor de este parámetro para las probetas expuestas fue de 0.094 kg / cm<sup>2</sup> y de 2.37 kg / cm<sup>2</sup> para las probetas testigo, para tales valores de resistencia se tiene una relación de 0.040 es decir un 96% de pérdida de resistencia a compresión diametral, manteniendo solo un 4% de resistencia, siendo así más vulnerable al efecto del tránsito de vehículos no solo pesados sino simplemente al flujo de vehículos ligeros.

A medida que el proceso de inmersión de las probetas en gasolina avanza, también la sección geométrica de las probetas sufre una mayor degradación, tal es el caso de las probetas inmersas por 7 días, donde la pérdida de sección geométrica para esta edad es ya considerable (Figura 5.1-2).



**Figura 5.1- 2 Apariencia que mostraron las probetas al concluir el proceso de exposición 7 días.**

Es fácil distinguir el grado de deterioro que las probetas expuestas por 7 días presentan en su sección geométrica, determinando una pérdida en peso de las probetas debido a este efecto del 30.23%, lo que se atribuye al desprendimiento de material pétreo como consecuencia del escaso poder ligante que tiene el asfalto a esta edad de exposición, lo que es notorio al observar como en el fondo de la bandeja que contiene las probetas se depositan grandes cantidades de cemento asfáltico y de material pétreo, los valores del peso en las probetas antes de iniciar el proceso de inmersión y al finalizar fueron de 1213.00 gr y 846.27 gr respectivamente.

Las condiciones de las probetas descritas en el párrafo anterior hacen que las probetas expuestas, tengan una deformación vertical de 308% más que la de sus correspondientes testigos, incluso al colocarlas sobre la placa para la transmisión de la carga de ensaye, la manipulación de las probetas resulta complicada por la gran pérdida de sección geométrica que han sufrido, siendo la deformación correspondiente a las probetas expuestas de 11.43mm y de 2.80mm para los testigos.

### **Gasolina 14 días.**

Antes de describir los efectos que fueron observados al permanecer las probetas de concreto asfáltico 14 días en gasolina es preciso apuntar lo siguiente:

Al ser la gasolina una sustancia con un alto grado de volatilidad, durante el transcurso del proceso de inmersión, el nivel de gasolina en las bandejas disminuye hasta llegar al punto en que la gasolina desaparece del interior de las bandejas, fenómeno que en el caso de las probetas expuestas tanto 14 como 28 días ocurre en el onceavo día del transcurso de la exposición de las probetas, esto provoca que deje de existir contacto entre la gasolina y el perímetro de las probetas, con lo que ahora las probetas entran en contacto con el oxígeno presente en la atmósfera, lo que provoca que las probetas adquieran cierto grado de rigidez con lo que se tienen las siguientes características:

Las probetas expuestas recuperan resistencia a compresión diametral en 1.3 % en comparación con las expuestas 7 días ya que la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas 14 días fue de 0.26 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que sus correspondientes testigos mostraron una resistencia de 4.94 kg/cm<sup>2</sup>, para tener una resistencia de probetas expuestas entre testigos de 0.053 que equivale a una pérdida de resistencia de 94.70% con lo que claramente se puede observar que la recuperación en la resistencia no es significativa para cuestiones de operación de un tramo con tales características ya que solo tiene un 5.3% de capacidad a la resistencia a compresión diametral.

En lo que se refiere a deformación, también existe un menor grado en cuanto a este parámetro ya que debido al efecto de rigidez externa de las probetas expuestas, estas se deforman 6.78mm, mientras que sus testigos tienen una deformación de 2.98mm, que corresponde a un 127% de mayor deformación en las probetas expuestas pero que comparando con la deformación que experimentaron las probetas expuestas 7 días se reduce en un 181%, ya que las probetas expuestas 7 días experimentaron deformaciones de 308% más que sus testigos.

El porcentaje de pérdida del peso inicial de las probetas, por la pérdida de sección geométrica, también se reduce en comparación con las expuestas 7 días ya que para 14 días se tienen porcentajes de pérdida de peso por desprendimiento de agregados de 16.48%, mientras que para 7 días fue de 30.23%.

Al volatilizarse totalmente la gasolina, las probetas expuestas por 14 días en gasolina entran en contacto con el oxígeno lo que provoca cierto grado de rigidez en el perímetro de las probetas, lo que a su vez mejora su apariencia, sin embargo la degradación en el interior de las probetas por el efecto de la infiltración de gasolina, es considerable (Figura 5.1-3).



**Figura 5.1-3** En la imagen izquierda se muestra el aspecto de las probetas al concluir el proceso de exposición por 14 días en gasolina donde se provoca una rigidez externa en las probetas por contacto con el oxígeno, en la imagen derecha se muestran las probetas después de haber sido ensayadas a tensión indirecta, donde a pesar de la rigidez ganada externamente, el deterioro que sufren es considerable.

F

Además de la recuperación en cuanto a los parámetros mencionados anteriormente, también hay una mejoría, en lo que se refiere al aspecto de las probetas ya que la apariencia del concreto asfáltico es buena, atribuible a la rigidez adquirida por el contacto con el oxígeno, incluso el color y el desprendimiento de partículas no es indicativo de que se tengan problemas en el concreto asfáltico, aunque internamente el efecto de la gasolina continua haciendo estragos en las probetas ya que el asfalto continua perdiendo sus propiedades aglutinantes, debilitando de esta forma al concreto asfáltico, lo anterior es palpable al ensayar las probetas ya que al fracturarse se observa como están completamente embebidas en gasolina además de que el olor es muy característico.

### Gasolina 28 días.

Si bien es cierto que el efecto externo que provoca la gasolina a las probetas no es ya significativo para la edad de 28 días de exposición, el efecto interno de la gasolina continua degradando al concreto asfáltico, siendo para este caso cuando se tiene el más grave efecto que provoca la gasolina al concreto asfáltico, aunque externamente la apariencia que provoca el estar en contacto con el oxígeno por un período más prolongado de tiempo es mejor aún que la que mostraron las probetas expuestas 14 días, tal como se muestra en la (Figura 5.1-4).



**Figura 5.1- 4 Probetas al concluir el período de exposición 28 días (imagen izquierda), aspecto de las probetas después del ensaye a tensión indirecta (imagen derecha).**

En lo referente a la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas, estas solo tienen  $0.13 \text{ kg/cm}^2$ , cuya relación con sus testigos los cuales tienen una resistencia de  $4.47 \text{ kg/cm}^2$ , es de 0.028 que corresponde a una pérdida de resistencia a compresión diametral de 97.20% con lo que el concreto solo tiene un 2.8% de resistencia es decir, prácticamente el concreto asfáltico a perdido su capacidad de soporte encontrándose en condiciones inoperantes, incapaz de dar servicio a cualquier tipo de vehículo.

En lo que se refiere a los valores de la deformación se tienen valores de 4.90mm para las probetas expuestas mientras que los testigos tienen valores de deformación de 2.98mm, con lo que se tienen deformaciones del 64% más para las probetas expuestas pero que son 50% menos deformables a las expuestas 14

días las que tuvieron deformaciones del orden de 127% más que sus testigos, como se puede apreciar existe una disminución en el porcentaje de deformación de las probetas expuestas, esto debido a la rigidez adquirida a lo largo de 17 días de contacto con el oxígeno, ya que como se indicó anteriormente a partir del día 11 la presencia de gasolina en las bandejas era nula.

La pérdida en peso por el efecto de la pérdida de agregados y que repercute en la integridad geométrica de las probetas es similar a la que se tiene en el período de exposición a 14 días, ya que en este caso es de 16.68%, lo que indica que el mayor efecto de desprendimiento de agregados es cuando el concreto asfáltico está en contacto con la gasolina.

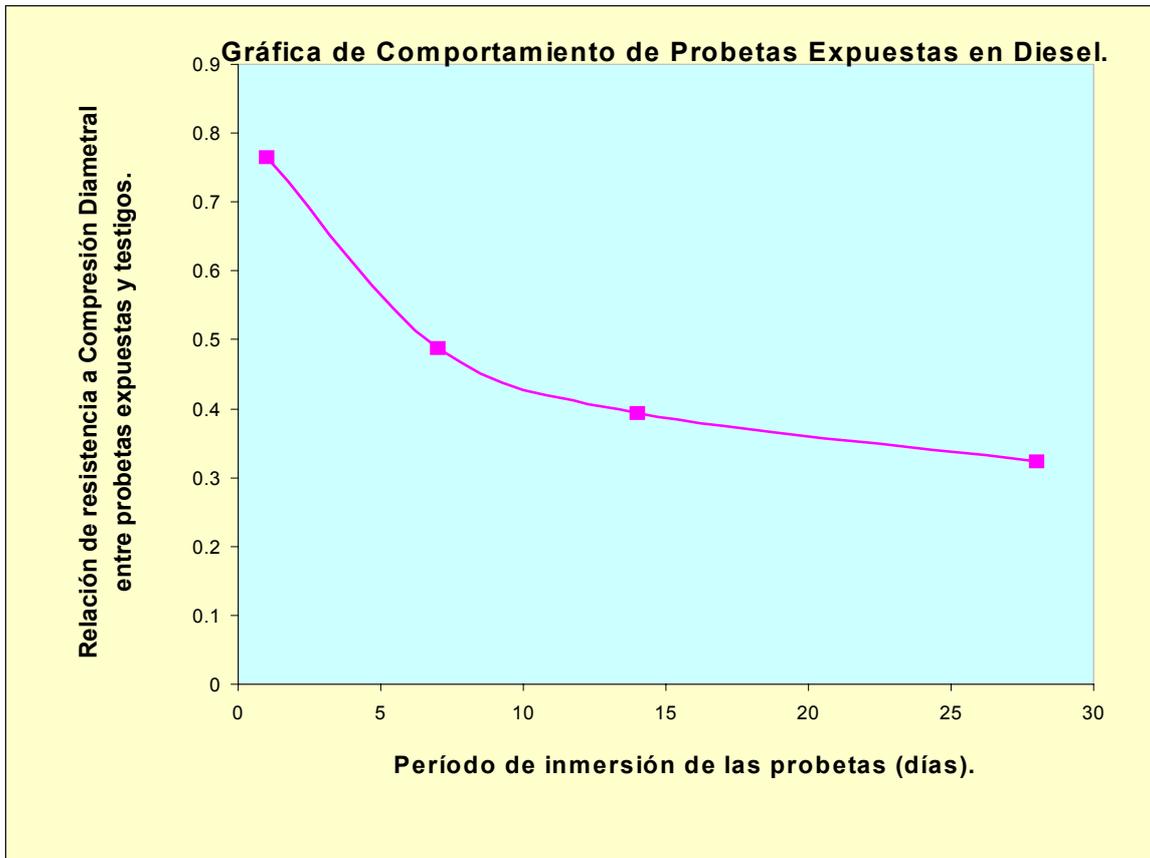
La gasolina es de las sustancias analizadas la que representa mayor riesgo al concreto asfáltico en caso de contacto, ya que el efecto de degradación es inmediato y progresivo hasta alcanzar niveles de destrucción total de un pavimento de concreto asfáltico.

Es muy importante el conocer con la mayor exactitud el tiempo desde que a ocurrido un derrame ya que las condiciones que presente un tramo dependen mucho del tiempo transcurrido desde que hubo contacto con la gasolina, ya que aparentemente podemos observar un tramo que superficialmente parezca operable pero que por cuestiones internas, la realidad sea otra.

## **5.2 Auscultación y diagnóstico por contacto con diesel.**

El diesel reacciona con el asfalto también como un solvente, aunque con un menor grado de agresividad, lo que se puede palpar al observar un mucho menor grado de volatilidad ya que el nivel de diesel en las bandejas en las cuales se expusieron las probetas de concreto asfáltico, fue prácticamente el mismo durante todo el proceso de exposición, es decir, desde 1 a 28 días de exposición.

El ataque del diesel se manifiesta de manera progresiva ya que la agresión de este hidrocarburo es mayor conforme avanza el proceso de exposición; al verter el diesel en las bandejas que contienen las probetas se percibe cual menor es el efecto en relación con la gasolina ya que este no se tiñe de negro por contacto con las probetas como en el caso de la gasolina, como resultado del ataque inmediato que la gasolina provoca al asfalto.



Gráfica 5.2-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en diesel.

### Diesel 1 día.

Al ensayar las probetas expuestas en diesel por periodo de un día, y extraerlas del recipiente se observa como la sección geométrica esta prácticamente íntegra y la coloración del diesel es la misma que al inicio del proceso ya que solo se tiene una pérdida en peso de las probetas por pérdida de agregados de 1.55% ya que al inicio del proceso de exposición a un día el peso de las probetas fue de 1216.07gr y al finalizar el proceso de inmersión se redujo a 1197.53gr.

La resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas fue de  $2.02\text{kg/cm}^2$ , mientras que la de sus testigos registra  $2.64\text{kg/cm}^2$ , cuya relación de resistencias es de 0.765 lo que corresponde a una disminución de resistencia a compresión diametral de 23.5% es decir casi una tercera parte de su capacidad de resistencia, pero que es menos de la tercera parte del efecto que propició la gasolina en el mismo lapso de tiempo, por lo que si un problema de derrame atendido en este momento implicaría procesos de remediación con bajo grado de complejidad además de un bajo costo por lo que el identificar pronto el tiempo de derrame será una condición prioritaria para la solución del problema.

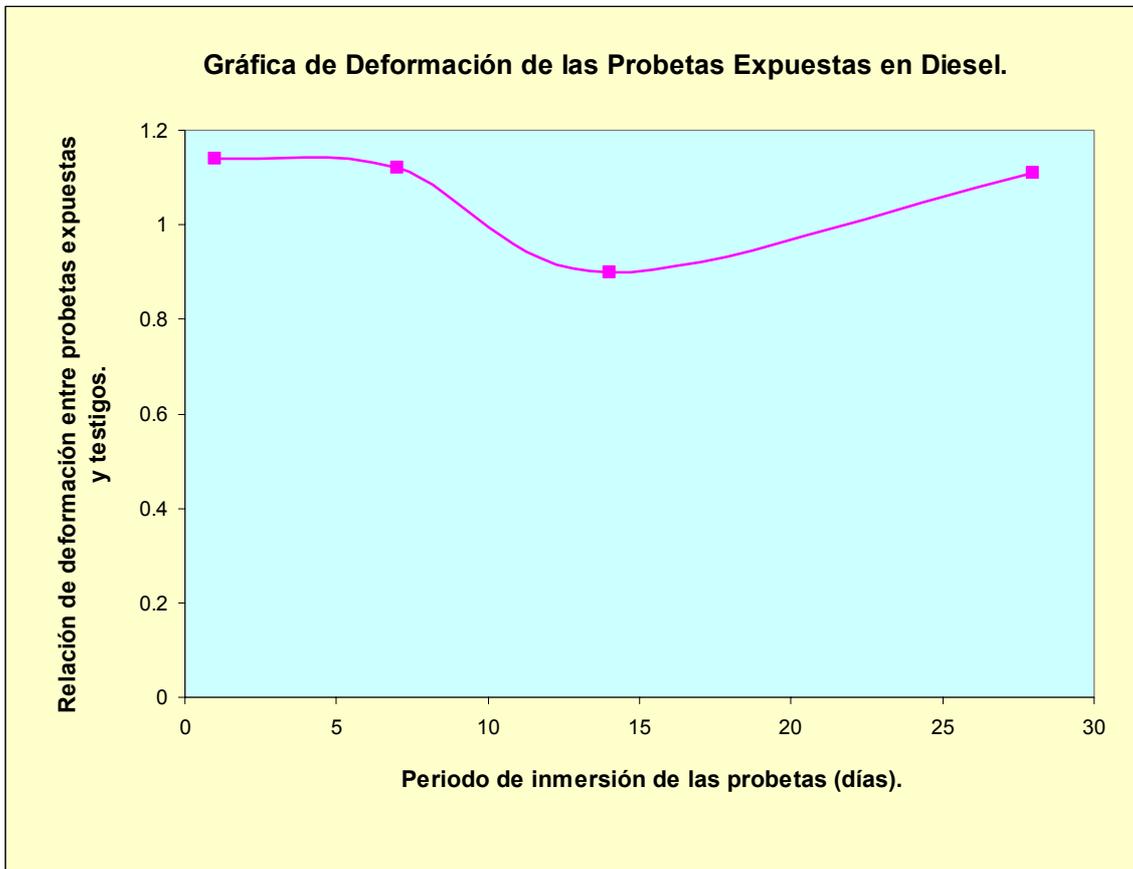
Al observar los primeros resultados, provenientes del proceso de exposición a un día es fácil distinguir su amplia diferencia con respecto a la gasolina a pesar de que el diesel es también un solvente, pero que debido a su composición y a otras características que se mencionan en el capítulo III, lo hacen menos agresivo que la gasolina.

En la (Figura 5.2-1), se observa que la sección geométrica de las probetas expuestas por 24 horas en diesel esta prácticamente integra, a diferencia del aspecto mostrado por las probetas expuestas en gasolina en el mismo lapso de tiempo.



**Figura 5.2-1 Condiciones de las probetas expuestas en diesel 24 horas.**

En relación a la deformación vertical que experimentan las probetas expuestas en diesel, también muestran mayor deformación a medida que el proceso de exposición avanza siendo la deformación de las probetas expuestas por 1 día de 3.12mm, y la de sus correspondientes testigos de 2.73mm, con lo que se tiene una deformación mayor de las probetas expuestas de 14%.



Gráfica 5.2-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Diesel.

### Diesel 7 días.

El nivel de diesel en las bandejas es prácticamente el mismo que al iniciar el proceso de exposición el desprendimiento de agregados es un poco más palpable al observar la geometría de las probetas (Figura 5.2-2), en este caso se tiene un porcentaje de disminución de peso de las probetas por pérdida de agregados de 3.92% ya que se tiene un peso de probetas al inicial el proceso de 1216.67gr y un peso al finalizar el proceso de inmersión de 1170.73gr.

Como se mencionó al inicio del análisis de los efectos provocados por el diesel, estos son más agudos conforme avanza el proceso de exposición, así pues se tiene que a los 7 días de exposición las probetas expuestas tienen una resistencia de  $2.35\text{kg/cm}^2$ , y sus testigos de  $4.82\text{kg/cm}^2$  donde se tiene una relación entre la resistencia de las probetas expuestas y sus testigos de 0.487 y que para este caso significa una pérdida de resistencia en las probetas expuestas de 51.30%, es decir, será afectado en más de la mitad la capacidad de soporte de un pavimento con lo que se tienen en este caso graves problemas en cuanto a la operación de un tramo en tales circunstancias, con lo que nuevamente queda de manifiesto que

será oportuno actuar dentro de los primeros 5 días de que se detecte un derrame de diesel ya que más haya del séptimo día se tendrán valores en la pérdida de resistencia a compresión diametral superiores al 50%.

En lo que se refiere a la deformación de las probetas expuestas en diesel 7 días se tienen valores de 3.40mm, mientras que las probetas testigo experimentan deformaciones verticales de 3.02mm lo que representa una deformación superior de las probetas expuestas con respecto a sus testigos del orden del 12%.



Figura 5.2-2 Aspecto de las probetas expuestas por 7 días en diesel.

#### **Diesel 14 días.**

El nivel de diesel sigue siendo estable dentro de las bandejas con lo que queda de manifiesto la poca volatilidad del diesel, la pérdida de sección geométrica es un poco más notoria lo que se comprueba al comparar el peso de las probetas al iniciar el proceso de exposición y que era de 1215.43gr, al finalizar el proceso de inmersión se determina nuevamente el peso de las probetas el cual fue de 1138.00gr, con lo que se tiene una pérdida en peso de las probetas debido al desprendimiento de partículas de 6.37%. Lo que demuestra además que el efecto solvente del diesel es progresivo al observarse mayor pérdida de poder ligante y aglutinante en el asfalto.

La resistencia a compresión diametral a los 14 días de exposición a disminuido 60.70%, ya que se tiene una relación de resistencia a compresión diametral entre probetas expuestas y probetas testigo de 0.393, pues se tiene una resistencia de  $1.28\text{kg/cm}^2$  para las probetas expuestas y  $3.26\text{kg/cm}^2$  para las probetas testigo.

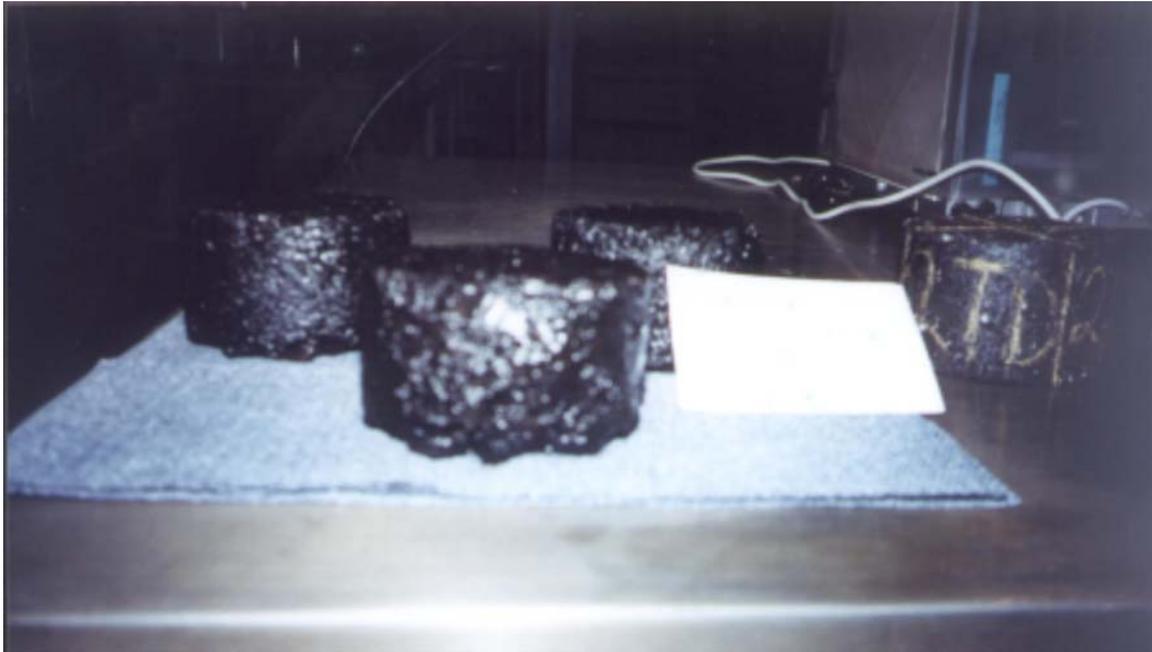
La deformación vertical de las probetas expuestas en diesel 14 días fue de 2.75mm y la de sus correspondientes testigos de 3.05mm, como se puede observar en este caso fue menor la deformación de las probetas expuestas en 10%, pero no por esto se mejoró también la resistencia a compresión diametral, lo que quiere decir que el grado de deformación que se tenga en un pavimento de concreto asfáltico no necesariamente está ligado con la capacidad estructural que este tenga.

### **Diesel 28 días.**

Como se ha mencionado anteriormente el ataque del diesel es más intenso conforme avanza el proceso de exposición, por lo que es evidente pensar que es en este caso, donde se encuentran los más graves efectos provocados por el diesel al concreto asfáltico.

Con lo anterior y recordando que en el caso de la gasolina el mayor efecto también se tiene a los 28 días de exposición, se puede deducir que conforme avance o permanezca un concreto asfáltico en contacto con estos combustibles derivados del petróleo el daño es mayor, por lo que se recomienda que se de atención a un derrame de estos hidrocarburos lo más pronto que sea posible ya que de esta forma será posible atender con más facilidad un problema de este tipo además de que el tratamiento que se de no implique tanto un costo elevado como trabajos correctivos con un alto grado de complejidad.

Para conocer el porcentaje de pérdida de peso que sufren las probetas por contacto con diesel a la edad de 28 días y que repercute en su integridad geométrica, veremos la variación que se tuvo del peso de las probetas al iniciar el proceso de exposición y al finalizar el mismo, así pues se tuvieron los siguientes valores 1219.57gr y 1098.80gr, respectivamente, así pues se tiene un porcentaje de pérdida en peso por desprendimiento de agregados de 9.9%, lo que es fácil de identificar al observar la (Figura 5.2-3).



**Figura 5.2-3** Apreciación que se tiene de las probetas expuestas en diesel al finalizar el proceso de exposición a 28 días.

En lo que respecta a la resistencia a compresión diametral de probetas expuestas en diesel por 28 días se obtuvo una resistencia de  $1.17\text{kg/cm}^2$ , mientras que su testigos mostraron  $3.61\text{kg/cm}^2$ , con lo que se tiene una relación de 0.324 y que equivale a una disminución en la resistencia a compresión diametral de 67.6%, con lo que un pavimento de concreto asfáltico con estas características se encuentra en un caso muy desfavorable tanto en el especto funcional como operacional.

En el caso de la deformación que sufren las probetas expuestas en diesel por 28 días se tiene una deformación de 3.37mm y de 3.03mm para sus correspondientes testigos lo que indica que en un 11% fueron más deformables las probetas expuestas.

Al comparar los valores de la deformación que se obtuvieron en las diferentes edades de exposición tanto en diesel como en gasolina nos podemos dar cuenta que las deformaciones de las probetas expuestas en diesel son menores que las que sufren las probetas expuestas en gasolina aún en el caso de exposición a 28 días en diesel, donde se tiene la mayor pérdida de resistencia la deformación de las probetas es semejante ala que sufren las probetas en edades tempranas de exposición como 1 y 7 días.

### **5.3 Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido sulfúrico.**

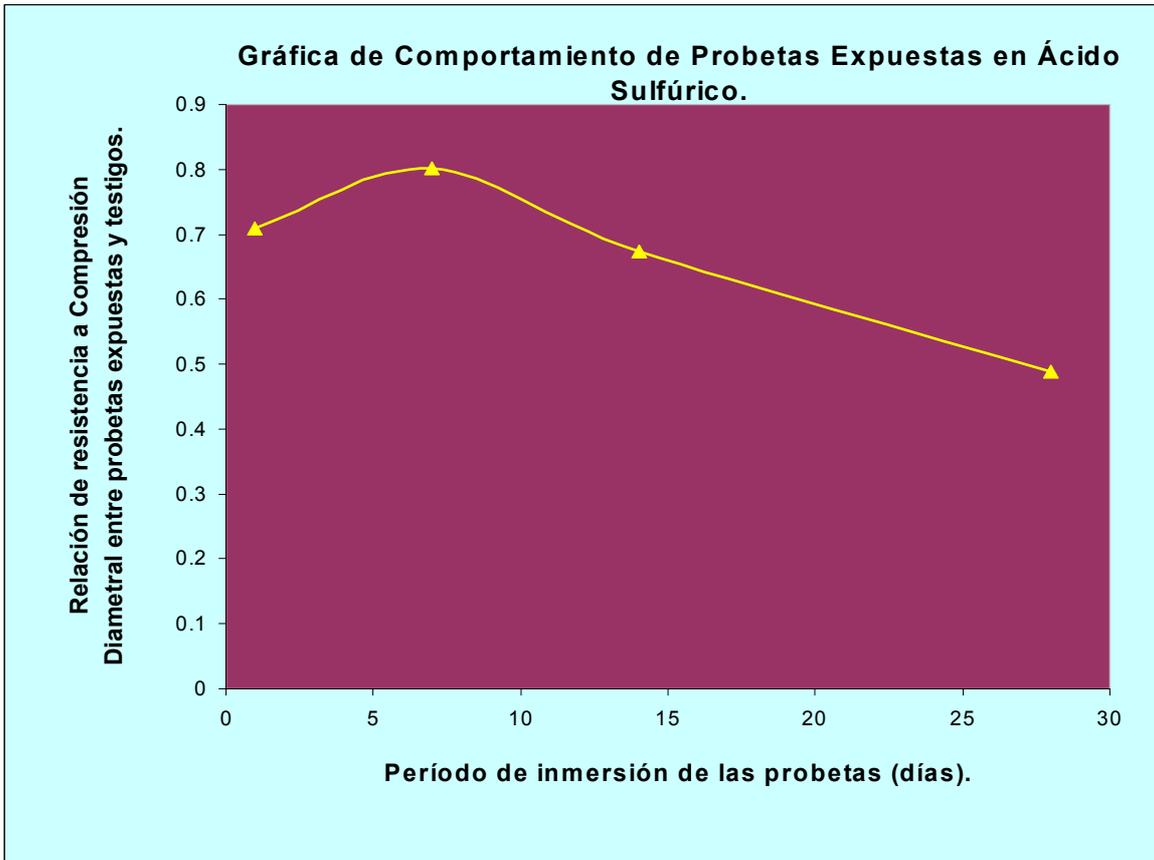
Una de las primeras impresiones que se tuvieron al manipular el ácido sulfúrico para realizar la exposición de probetas de concreto asfáltico fue que la temperatura de este aumentaba al entrar en contacto con el medio ambiente, es decir, se tenía un efecto térmico, como es conocido el asfalto es un material termoplástico por lo que el ácido sulfúrico modifica las propiedades del asfalto efecto que es palpable al observar la coloración que adquiere el ácido sulfúrico al entrar en contacto con el concreto asfáltico, ya que adquiere un color oscuro como resultado del desprendimiento de los componentes del asfalto como lo pueden ser los asfaltenos, malténos, resinas o aceites.

A diferencia del diesel y la gasolina que actúan como solventes en el asfalto inhibiendo con esto sus propiedades cohesivas provocando desprendimiento de los agregados pétreos que conforman la mezcla, el incremento de temperatura que se tiene en el ácido sulfúrico, provoca que exista también cierto desprendimiento de los agregados pétreos siendo este en un grado muy inferior al que provocan los combustibles, que incluso es muy poco apreciable es la sección geométrica de las probetas.

El ácido sulfúrico se infiltra al interior de las probetas, provocando que exista una variación en el peso inicial de las probetas que en este caso es contrario al efecto de variación en peso provocado por los hidrocarburos ya que en este caso no existe pérdida de peso, sino que el peso de las probetas aumenta en función del período de inmersión siendo este un factor que influye de manera directa en la capacidad de resistencia a compresión diametral que tengan las probetas siendo el caso más desfavorable cuando se tenga la mayor variación del peso inicial debido a la presencia de ácido sulfúrico en el interior de la probeta.

La infiltración del ácido sulfúrico provoca reacciones cuando existe contacto entre el propio ácido y los componentes del concreto asfáltico, estas reacciones además tienen un crecimiento el cual esta en función del volumen de las probetas, es decir, cuando el volumen de una probeta ya no permite el avance o el desarrollo de estas reacciones este crecimiento se rompe.

La cadena de reacciones que se gestan al interior de las probetas, provocan confinamiento de las partículas que se encuentran a su paso provocando con esto una mayor rigidez de las probetas y por ende un aumento en su resistencia a compresión diametral por lo que la característica mencionada anteriormente se observara en las probetas mientras exista el desarrollo de las reacciones, ya que en cuanto el crecimiento de estas reacciones se detenga, es cuando se manifieste en las probetas una perdida de resistencia a compresión diametral.



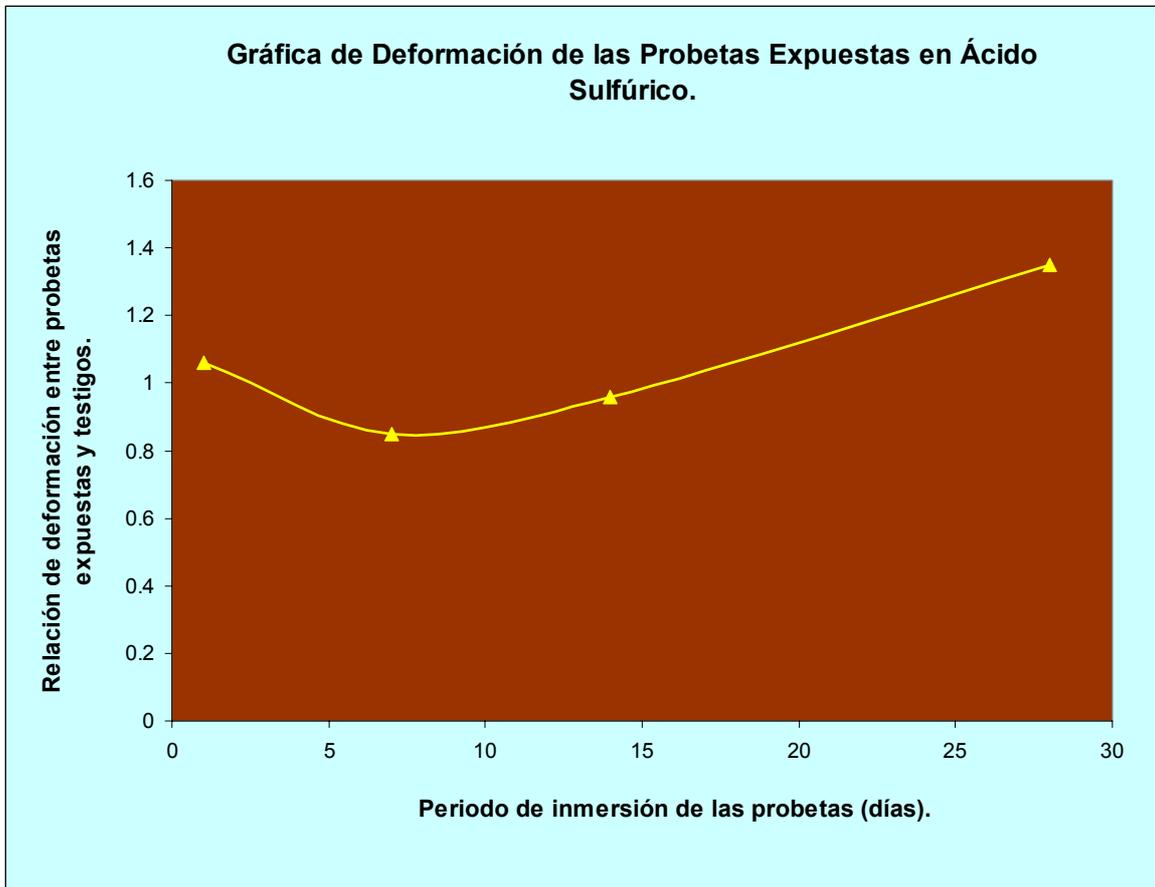
Gráfica 5.3-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en ácido sulfúrico.

A continuación se describen las características de las probetas que fueron expuestas en ácido sulfúrico para determinar los efectos que esta sustancia provoca en el concreto asfáltico en caso de contacto.

### Ácido sulfúrico 1 día.

Iniciaremos por describir los efectos que se tienen en la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas por 1 día, como primer punto identificaremos la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas la cual fue de  $2.11\text{kg/cm}^2$ , a continuación identificaremos la resistencia a compresión diametral de las probetas testigo la cual fue de  $2.98\text{kg/cm}^2$ , relacionando la resistencia de las expuestas entre la de los testigos se tiene 0.708 y que significa que se tiene una pérdida de **resistencia a compresión diametral en las probetas expuestas de 29.2%**.

En lo que respecta a los valores de la deformación se tienen los siguientes: Para las probetas expuestas se tiene una deformación vertical de 2.77mm, a su vez las probetas testigo manifiestan una deformación de 2.60mm, lo que corresponde a 6% más de deformación experimentada por las probetas expuestas.



**Gráfica 5.3-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Ácido Sulfúrico.**

**A continuación se comprueba lo que se mencionaba al inicio de estas** discusiones en lo referente al efecto contrario que se tiene en la variación del peso inicial de las probetas expuestas en ácido sulfúrico al que se tiene con los hidrocarburos ya que en este caso la variación no es por disminución de peso, sino que por aumento del mismo, lo que podemos apreciar al verificar el peso inicial de las probetas antes del proceso de exposición el cual fue de 1219.40gr y compararlo con el peso final de las mismas probetas al concluir el proceso de exposición el cual fue de 1232.57gr con lo que la variación del peso inicial de las probetas debido a la infiltración de la sustancia al interior de la probeta fue de 1.08%, además para el caso del ácido sulfúrico se manifiesta un doble efecto es decir, se tiene infiltración del ácido sulfúrico en las probetas pero además se manifiesta cierto desprendimiento de material pétreo, siendo este en proporciones significativamente menores que en el caso de los hidrocarburos, lo que se puede apreciar en la (Figura 5.3-1).



**Figura 5.3-1 Imagen de las probetas expuestas 24 horas en ácido sulfúrico.**

### **Ácido sulfúrico 7 días.**

Al finalizar el proceso de exposición de las probetas por 7 días, se encuentra que hay una recuperación de la resistencia a compresión diametral con respecto a las probetas expuestas 1 día producto del confinamiento que provocan las reacciones que se generan por el contacto de esta sustancia y el concreto asfáltico para distinguir esta recuperación veremos la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas que fue de  $2.79\text{kg/cm}^2$ , y la de sus correspondientes testigos fue de  $3.48\text{kg/cm}^2$ , para tales resistencias se tiene una relación de 0.802 que corresponde a una disminución en la resistencia a compresión diametral de 19.8%, con lo que se tiene una recuperación de 9.4% en la resistencia a compresión diametral con respecto a las expuestas 1 día.

Además es en esta edad es cuando se registra el mayor grado de recuperación por el efecto de confinamiento que dan las reacciones entre el ácido sulfúrico y el concreto asfáltico, ya que es en este lapso de tiempo cuando se tiene el máximo crecimiento de las reacciones, es decir, que a partir de este momento la cadena de reacciones se rompe por lo que la resistencia a compresión diametral se verá disminuida para las edades de exposición de 14 y 28 días.

El ácido sulfúrico, continua infiltrándose en las probetas de concreto asfáltico, provocando de esta forma una importante presencia de ácido sulfúrico, lo que provoca desprendimiento de material pétreo y no tanto por que el ácido sulfúrico reaccione como un solvente con el asfalto (Figura 5.3-2).



**Figura 5.3-2 Impresión que se tiene de las probetas expuestas en ácido sulfúrico por 7 días.**

En cuanto a la deformación vertical que experimentan las probetas por el efecto de la transmisión de carga, es claramente observable un menor efecto provocado por el ácido sulfúrico al concreto asfáltico ya que la deformación de las probetas expuestas fue de 2.60mm y la de sus correspondientes testigos fue de 3.06mm, con lo que se tiene un 15% de menor deformación en las probetas expuestas, este efecto puede atribuirse también a la recuperación en la resistencia a compresión diametral, ya que al rigidizarse las probetas su deformación es minimizada.

La variación en el peso inicial debido a la infiltración del ácido sulfúrico en las probetas va en aumento, ya que se tiene una variación de 2,56% con respecto al peso inicial, ya que se tenía un peso en las probetas antes del proceso de inmersión de 1218.17gr y al finalizar el proceso de inmersión se tuvo un peso de 1249.33gr, con lo que se tiene un 1.48% de variación con respecto al peso inicial de las probetas, de esta forma se aprecia que la variación en peso va en aumento conforme avanza el proceso de exposición.

### Ácido sulfúrico 14 días.

Al concluir el proceso de inmersión de las probetas a 14 días, una de las primeras observaciones que se tienen es que la coloración del ácido sulfúrico se a tornado totalmente obscura y con una viscosidad mayor a la que tenia al iniciar el proceso de exposición estas características adquiridas por el ácido sulfúrico son por la degradación de las probetas.

Como se menciona en la discusión correspondiente a 7 días: para las edades de exposición de 14 y 28 días se manifiesta una disminución en la resistencia a compresión diametral muy clara, por la falta de confinamiento que proporcionaban las cadenas de reacciones, para visualizar lo anterior se muestran las características de las probetas expuestas 14 días.

Se tiene una resistencia a compresión diametral de probetas expuestas de  $2.98\text{kg/cm}^2$ , mientras que de las probetas testigo se obtuvieron resistencias de  $4.42\text{kg/cm}^2$ , por lo que se tiene una relación de 0.674, que representa una disminución en la resistencia a compresión diametral de 32.6%.

Las probetas expuestas 14 días muestran aún menor deformación que la de sus correspondientes testigos aunque esta es ya mucho menor que en el caso de exposición a 7 días por la disipación del grado de rigidez proporcionado por las reacciones que se dan en el interior de las probetas ya que se tienen deformaciones de probetas expuestas de 3.00mm y de 3.12mm para las probetas testigo siendo menor la deformación de las primeras en solo 4%.

La infiltración del ácido sulfúrico al interior de las probetas a provocado que la variación del peso inicial de las probetas sea de 4.13%, al finalizar el proceso de inmersión, ya que al iniciar el mismo se tenia un peso en las probetas de 1217.23gr y al finalizar el proceso se obtuviera un peso de 1267.47gr, por lo que se verifica que el peso de las probetas aumenta conforme avanza el proceso de exposición, en lo que se refiere a la sección geométrica no hay variaciones considerables (Figura 5.3-3).

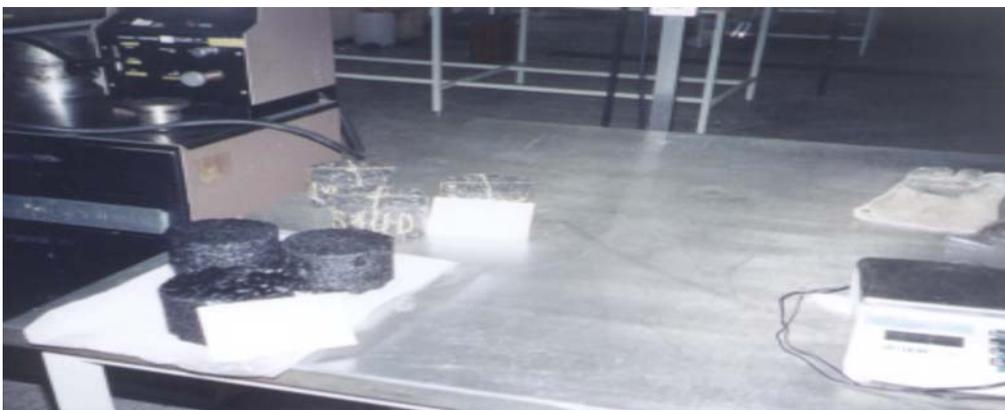


Figura 5.3-3 Apariencia de las probetas expuestas durante 14 días en ácido sulfúrico.

### **Ácido sulfúrico 28 días.**

En este proceso de exposición es cuando se manifiesta la mayor degradación del concreto asfáltico por contacto con ácido sulfúrico ya que en lo que respecta a resistencia a compresión diametral se tiene una disminución de 51.1% de probetas expuestas en relación con sus testigos, teniendo resistencias de probetas expuestas de  $1.42\text{kg/cm}^2$  y de  $2.90\text{kg/cm}^2$ , para probetas testigo, obteniendo una relación de 0.489.

Un pavimento de concreto asfáltico que haya tenido un contacto con ácido sulfúrico por 28 días, es un pavimento con características de servicio y funcionalidad muy deterioradas ya que su capacidad estructural ha sido afectada en más del 50% por lo que la operación de un tramo con tales características será muy riesgosa.

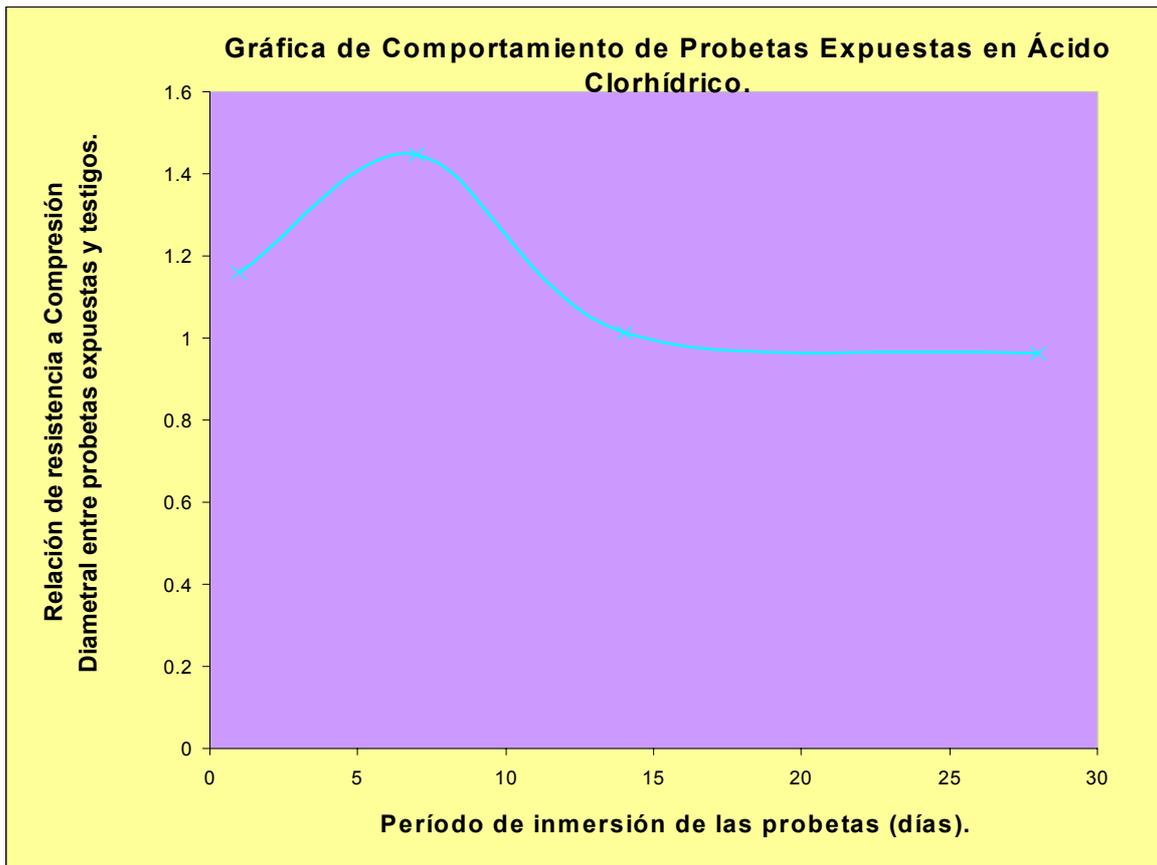
También la deformación que se tiene en este caso para probetas expuestas es la más crítica ya que se tienen deformaciones de 4.10mm, mientras que en probetas testigo se tienen deformaciones de 3.03mm, lo que equivale a un 35% de mayor deformación en probetas expuestas, con lo que se puede decir que la rigidez proporcionada por las reacciones se a nulificado por completo, quedando el concreto asfáltico expuesto completamente al ataque del ácido sulfúrico.

En lo que respecta a la variación del peso inicial es en este caso en el que se tiene la mayor variación con lo que es posible relacionar el grado de infiltración con el grado de ataque que tiene el ácido sulfúrico en el concreto asfáltico ya que en este momento tanto existe el mayor porcentaje de variación respecto al peso inicial por infiltración que asciende a 5.54%, como se tiene también los peores efectos en la resistencia a compresión diametral, a esta edad de exposición se tiene un peso en las probetas antes de inmersión de 1216.87gr, el cual se incrementa al finalizar el proceso de inmersión a 1284.30gr.

#### 5.4 Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico también tiene un comportamiento como el que muestra el ácido sulfúrico en cuanto a la generación de reacciones entre los componentes del ácido clorhídrico y los del cemento asfáltico y que también son de carácter creciente conforme el volumen de las probetas lo permita y que coincidentalmente es también a la edad de 7 días cuando se da la máxima rigidez por esta causa y al mismo tiempo es cuando se manifiesta un efecto crítico en la resistencia a compresión diametral que se refleja en la disminución de la misma.

Algo muy importante que hay que resaltar en cuanto al ácido clorhídrico es que en lo que se refiere a resistencia a compresión diametral para edades de 1,7 y 14 días se tiene una mayor resistencia de las probetas expuestas, que la de sus correspondientes testigos, por lo que de este fenómeno se tiene que el ácido clorhídrico tiene propiedades que funcionan como aditivos en el concreto asfáltico, mejorando de esta forma su capacidad de resistencia, ya que no es hasta la edad de 28 días de exposición cuando se manifiesta en las probetas expuestas una mínima pérdida de resistencia a compresión *diametral*.



Gráfica 5.4-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en Ácido Clorhídrico.

A pesar de que las probetas expuestas, son más resistentes que sus testigos la deformación vertical que experimentan, es en todos los casos superior que la de los testigos lo que puede atribuirse a la consistencia que tenga la mezcla en el momento del ensaye por la influencia de la infiltración del ácido clorhídrico al interior de las probetas que como en el caso del ácido sulfúrico se incrementa conforme avanza el proceso de exposición.

A continuación se describen los aspectos más importantes derivados de la observación y proceso experimental de las probetas expuestas en ácido clorhídrico.

### **Ácido clorhídrico 1 día.**

Es en esta edad de ensaye cuando se empieza a notar la mejoría que tienen las probetas expuestas en cuanto a resistencia a compresión diametral, que sus correspondientes testigos ya que se tiene una resistencia a compresión diametral de probetas expuestas de  $4.53\text{kg/cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos arrojaron valores de  $3.91\text{kg/cm}^2$ , con lo que se tiene una relación de 1.158, como se observa esta relación es mayor que 1 por lo que es evidente que existe una mejoría en cuanto a la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas siendo esta del 15.8%.

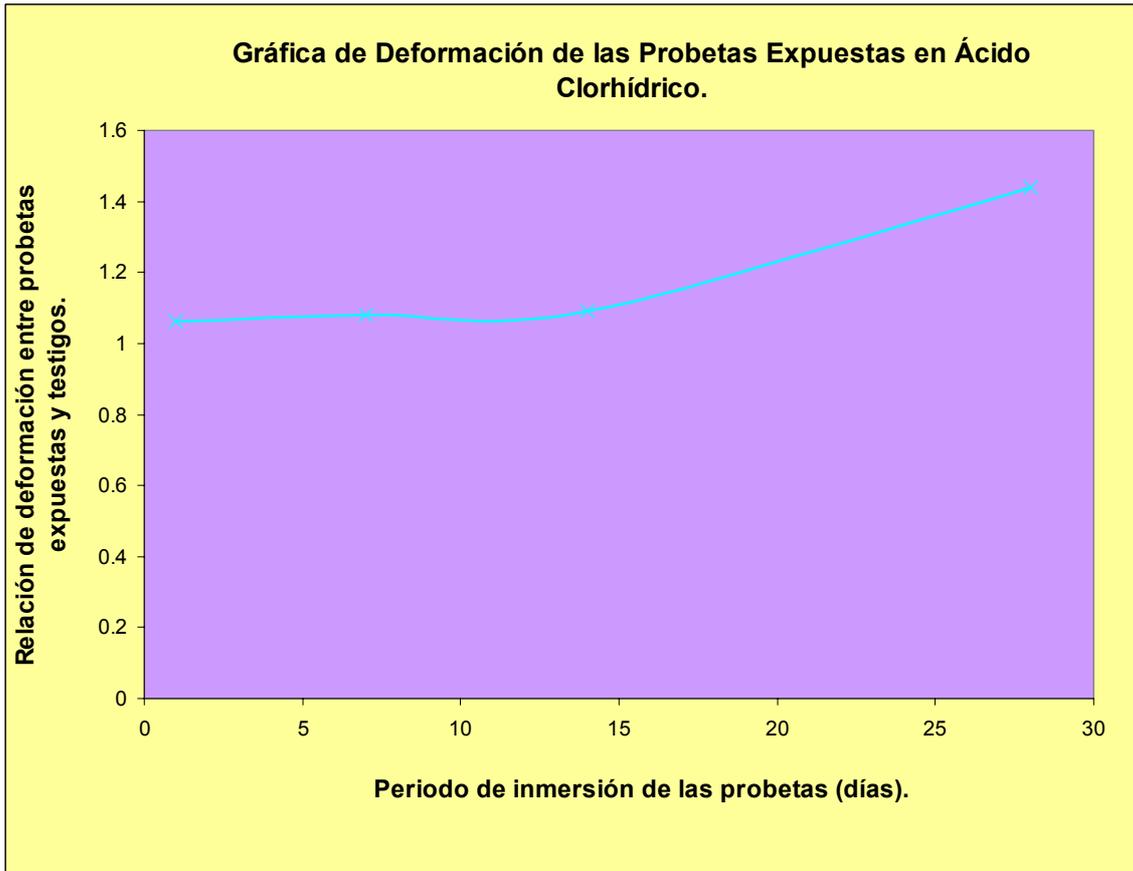
La variación en cuanto al peso inicial de las probetas se debe al incremento que las probetas van adquiriendo, derivado de la infiltración del ácido clorhídrico al interior de las probetas, que va en aumento conforme el proceso de exposición avanza, y que también es en buena proporción causa de la pérdida de resistencia a compresión diametral, ya que cuando se tiene la mayor variación en peso, también se tienen las condiciones más desfavorables en cuanto a resistencia a compresión diametral, la geometría de probetas permanece integra (Figura 5.4-1).

El peso inicial de las probetas que fueron expuestas por 24 horas fue de 1216.57gr, y al finalizar el proceso de exposición fue de 1229.75gr, con lo que se tiene un incremento de 1.08%.



**Figura 5.4-1 Apariencia que mostraron las probetas al concluir el proceso de exposición en ácido clorhídrico por 24 horas.**

Como se mencionó anteriormente en cuanto a la deformación, no se sigue la misma tendencia que a resistencia a compresión diametral, ya que las probetas expuestas experimentan una deformación mayor que la de sus correspondientes testigos y que para el caso de 24 horas de exposición se tienen los valores siguientes: Las probetas expuestas tuvieron una deformación de 3.48mm, mientras que las probetas testigo registraron valores de deformación vertical de 3.28mm, por lo que la deformación que se tiene en probetas expuestas es 6% mayor que la de probetas testigo.



Gráfica 5.4-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Ácido Clorhídrico.

### Ácido clorhídrico 7 días.

Otra de las razones para explicar el por que existe un máximo valor en cuanto a resistencia a compresión diametral ya sea para valores en que exista pérdida de resistencia, como en aquellos en que la relación de las resistencia sea mayor que 1, es decir que se tenga más resistencia en las probetas expuestas, y que en el caso del ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico es a la edad de 7 días. La razón es la siguiente: Las sustancias compuestas por elementos químicos tienen un período de efectividad, es decir, que estos elementos que las componen van perdiendo sus propiedades, cada sustancia tiene un cierto período de efectividad, durante el cual sufre cambios que se manifiestan en su capacidad de reacción cuando son combinados, mezclados, etc, tal es el caso de las variaciones que se tienen por el

contacto de estas sustancias con el concreto asfáltico (Circunstancias como el contacto con el oxígeno son efectos que modifican las características de las sustancias y que por ende se degradan).

La mejoría en cuanto a resistencia a compresión diametral que se tiene de las probetas expuestas en relación con sus testigos es de 44.6%, lo que podemos identificar al observar la resistencia obtenida de las probetas expuestas la cual fue de  $3.79\text{kg/cm}^2$ , y compararla con sus testigos que fue de  $2.62\text{kg/cm}^2$ .

El valor de la deformación vertical de las probetas expuestas se determinó en 3.23mm, mientras el que se determinó a sus testigos fue de 2.98mm con lo que se tiene un aumento del 2% en cuanto a la deformación que se tuvo en las probetas expuestas 24 horas ya que para 7 días de exposición se tiene un aumento en la deformación de 8% en probetas expuestas.

Para 7 días de exposición de probetas de concreto asfáltico en ácido clorhídrico se tiene un valor de la variación en cuanto al peso inicial de 2.29% ya que el peso final obtenido de las probetas al finalizar el proceso de exposición fue de 1245.26gr, que evidentemente es mayor que el que se determinó al pesar las probetas antes de iniciar el proceso de inmersión que fue de 1217.37gr.

#### **Ácido clorhídrico 14 días.**

Para esta edad de exposición es ya muy notorio como el ácido clorhídrico a disminuido sus propiedades de mejora que adiciona al concreto asfáltico y que por otro lado se puede pensar también en la pérdida de rigidez que han perdido las probetas por el rompimiento de la cadena de reacciones entre los componentes del ácido clorhídrico y el cemento asfáltico, derivando en un decremento notorio en la resistencia a compresión diametral de las probetas.

Aunque para 14 días de exposición aún se manifiesta una mejora en la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas donde existe una relación de 1.011 de las probetas expuestas entre las probetas testigo, se tiene solo un 1.1% de más resistencia adquirida por las probetas expuestas, las cuales manifiestan una resistencia a compresión diametral de  $3.77\text{kg/cm}^2$ , muy parecida a la de sus testigos que fue de  $3.73\text{kg/cm}^2$ , existiendo solo una diferencia de  $0.04\text{kg/cm}^2$ .

Continuando con el comportamiento que tienen las probetas, en cuanto a la deformación vertical que es mayor a la de sus testigos, para esta edad de exposición se tiene una deformación en probetas expuestas de 9% superior a la deformación experimentada por sus testigos, numéricamente comprobable ya que la deformación de probetas expuestas fue de 3.33mm y la de sus testigos de 3.05mm.

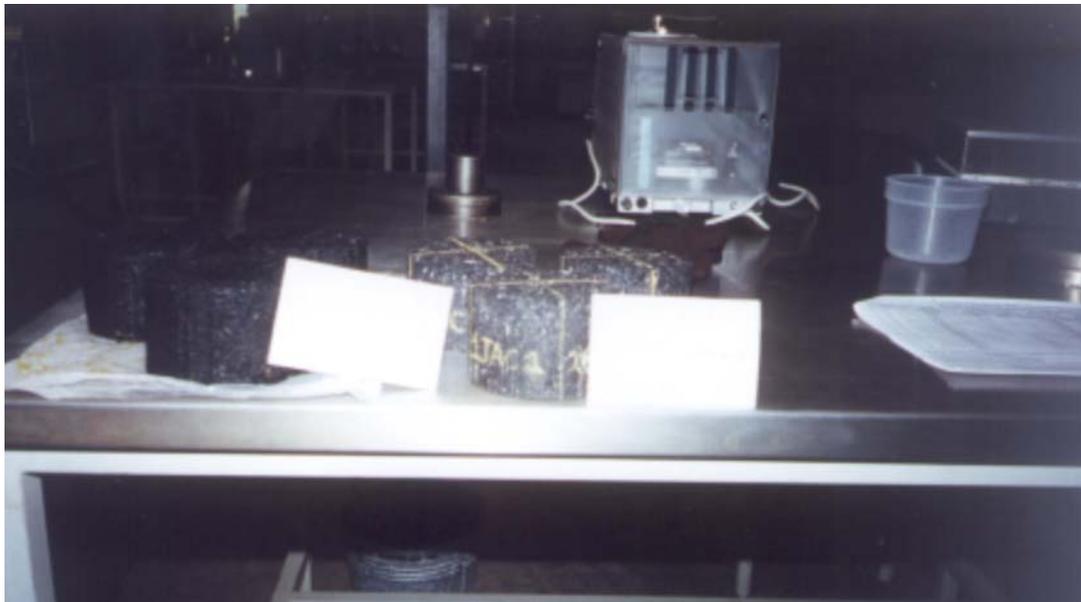
En 2.96% estriba la variación que se tiene en el peso inicial con respecto al peso final de las probetas expuestas 14 días, ya que al iniciar el proceso de exposición se tenía un peso en las probetas de 1216.87gr y al finalizar el proceso de exposición se determinó un peso de 1252.87gr.

### **Ácido clorhídrico 28 días.**

La degradación de las propiedades del ácido clorhídrico repercuten directamente en el concreto asfáltico manifestándose para este período de exposición en una ya existente pérdida de resistencia a compresión diametral de probetas expuestas, aunque esta pérdida de resistencia apenas es del 3.8%, lo que podemos distinguir al observar el valor de resistencia a compresión diametral de probetas expuestas el cual fue de  $2.77\text{kg/cm}^2$ , y el de sus correspondientes testigos de  $2.88\text{kg/cm}^2$ .

La deformación de las probetas expuestas para esta edad es ya crítica ya que como se venía observando en edades anteriores la deformación no era superior al 10%, para este caso la deformación de las probetas expuestas supera en 44%, a la deformación de las probetas testigo que es de 3.08mm inferior a la deformación de probetas expuestas de 4.43mm.

En la (Figura 5.4-2), se muestra la imagen de las probetas expuestas 28 días en ácido clorhídrico, donde se puede comprobar que la sección geométrica de las probetas a permanecido constante durante todo el ciclo de exposición del concreto asfáltico ante el ácido clorhídrico.



**Figura 5.4-2 Apariencia que mostraron las probetas al concluir el proceso de exposición en ácido clorhídrico por 28 días.**

La variación en cuanto al peso inicial como se indicaba está muy ligada a las condiciones más críticas que se tienen en concreto asfáltico por contacto con ácido clorhídrico por lo que como hemos observado es a 28 días cuando tenemos el efecto más crítico tanto en la resistencia a compresión diametral como cuando hay mayor deformación vertical, así pues también es aquí donde existe la mayor variación en cuanto al peso inicial, siendo que se registró un peso inicial de probetas expuestas en ácido clorhídrico de 1220.60gr y un peso final de 1262.77 lo que equivale a 3.45% de variación por aumento en peso de las probetas derivado de la infiltración del ácido clorhídrico al interior de las probetas.

Al concluir las discusiones de los resultados tanto para ácido sulfúrico como para ácido clorhídrico podemos observar que estas dos sustancias tienen un comportamiento muy similar en cuanto a sus mecanismos de degradación, por ejemplo la forma en como se desarrolla la infiltración de estas sustancias al interior de las probetas, pero que debido a diferencias que dependen de la naturaleza de la misma sustancia sus efectos en la resistencia a compresión diametral, así como en la forma en que se manifiestan las deformaciones es diferente. Lo que si es similar es la variación con respecto al peso inicial ya que conforme avanza el proceso el peso de las probetas se incrementa en ambos casos, a diferencia que los hidrocarburos donde la variación del peso inicial es por disminución del mismo atribuible a la pérdida de agregados como efecto del poder solvente de la gasolina y el diesel con el asfalto, restando propiedades de aglutinante y que además se refleja en una pérdida de sección geométrica.

### **5.5 Auscultación y diagnóstico por contacto con ácido acético.**

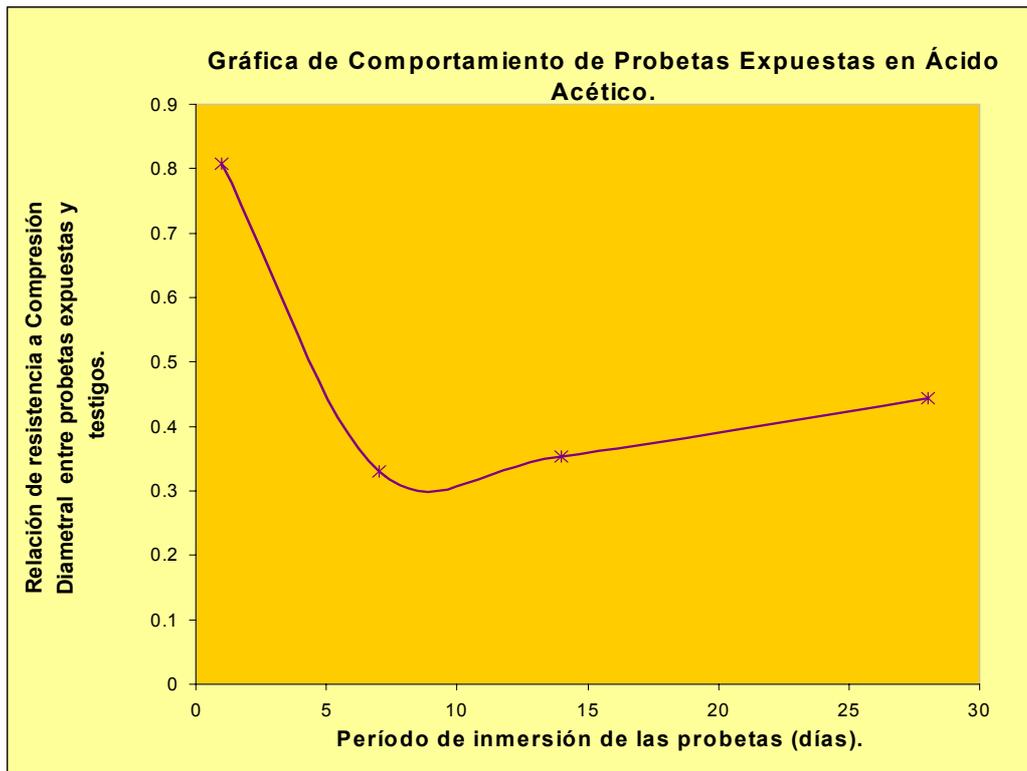
El ácido acético es un hidrocarburo aunque de carácter menos agresivo que el diesel y la gasolina, pero con características de volatilidad similares a la gasolina, lo que como consecuencia lo hace tener una alta velocidad de infiltración, aunque no tiene características de reaccionar como un solvente al contacto con el asfalto, es decir que tiene un bajo poder de disolver los componentes del asfalto, lo que impide que haya desprendimiento de material pétreo por la falta de aglutinante en la mezcla.

El comportamiento del concreto asfáltico en cuanto a la resistencia a compresión diametral por contacto con ácido acético es muy similar al que se tiene por contacto con gasolina aunque los valores de la pérdida de resistencia a compresión diametral menores en todos los casos de exposición comparando con los que se obtuvieron por contacto con gasolina. Existe también una recuperación en la resistencia a compresión diametral a partir del momento en que deja de existir presencia de ácido acético en contacto con el perímetro de las probetas, manteniendo la tendencia de recuperación hasta el final del proceso de exposición ya que el efecto interno del ácido acético no es tan solvente como en el caso de la gasolina, aunque esto no significa de ninguna manera que se pueda llegar a alcanzar una recuperación total de la resistencia a compresión diametral en el

concreto asfáltico por lo que la atención que se de para la solución de un problema por contacto con ácido acético de una forma pronta y oportuna será determinante.

La deformación de las probetas es también progresiva hasta el período de exposición a 14 días ya que en los primeros lapsos de tiempo se manifestaba una mayor deformación por la presencia tanto interna como externa del ácido acético en las probetas de concreto asfáltico, para el proceso de 14 días el efecto interno del ácido acético provoco el mayor efecto que se tubo en cuanto a deformación vertical de probetas expuestas en ácido acético, a los 28 días de exposición se manifestó una recuperación en la resistencia a compresión diametral por la pérdida de contacto superficial con ácido acético y a la disminución de la cantidad del mismo presente en la estructura interna de las probetas.

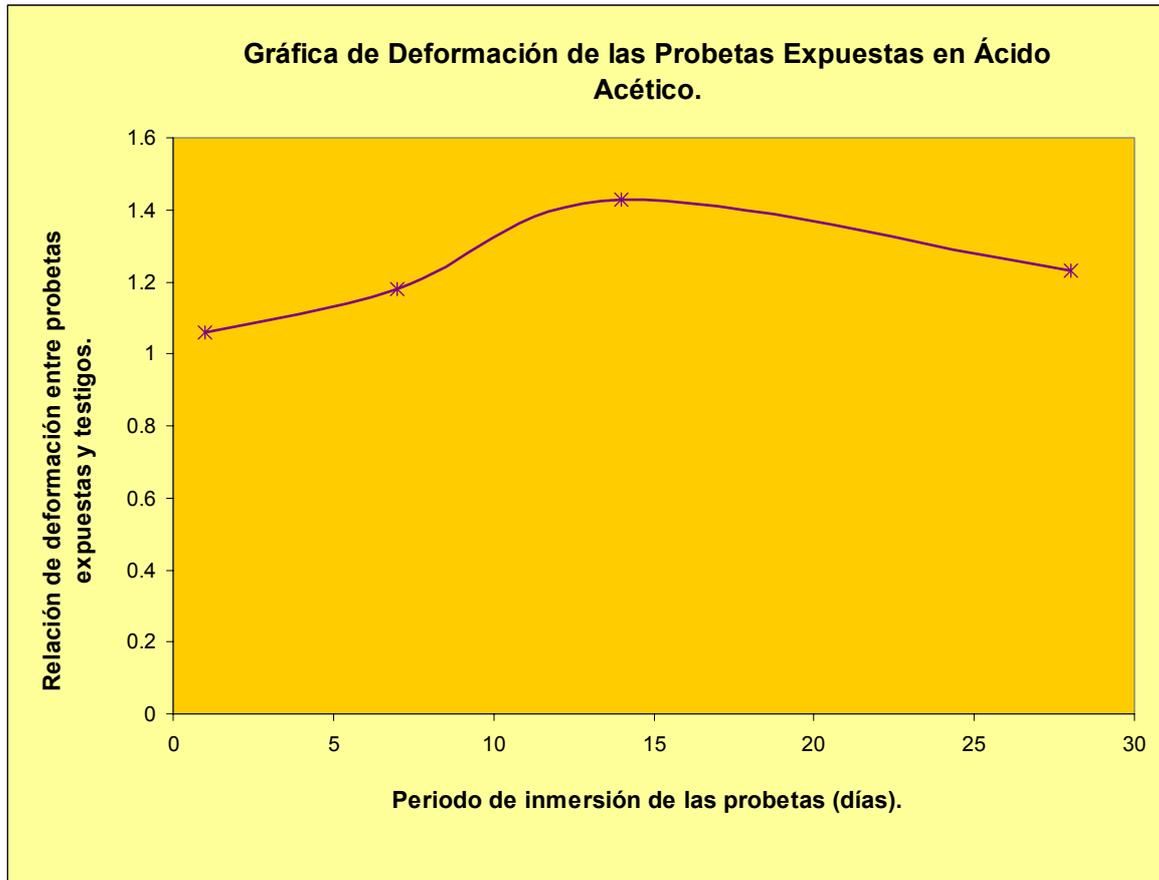
Aunque el ácido acético presenta diferencias notorias en relación con los otros ácidos por ser además un hidrocarburo, se conserva la tendencia de provocar el mayor efecto en la resistencia a compresión diametral, así como en la deformación vertical que experimentan las probetas, es el lapso de tiempo cuando se tiene también la máxima variación del peso inicial debido al incremento que se tiene del mismo por la infiltración de la sustancia al interior de las probetas manifestando una fuerte relación entre la variación del peso inicial de las probetas y los efectos causados por el ácido acético ya que al perderse el contacto de esta sustancia y el concreto asfáltico la variación por aumento de peso en las probetas con respecto al inicial disminuye notoriamente, es decir, empieza a perderse el efecto interno del ácido acético, recuperando de esta forma sus propiedades mecánicas que han sido analizadas en este trabajo de tesis como lo son la deformación vertical y más puntualmente la perdida de resistencia a compresión diametral.



**Gráfica 5.5-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en Ácido Acético. Ácido acético 1 día.**

A pesar de que el ácido acético es además un hidrocarburo tiene un menor efecto en cuanto a la resistencia a compresión diametral de las probetas que el que se tiene por contacto con diesel y gasolina, lo que podemos distinguir claramente en este caso de 24 horas de exposición donde por el menor grado que tiene de poder solvente con el asfalto y que es aún más bajo que el ácido sulfúrico, para el mismo período de exposición, los valores que se tienen en cuanto a resistencia a compresión diametral son los siguientes: las probetas expuestas arrojaron valores de  $2.56\text{kg/cm}^2$  mientras que de sus correspondientes testigos se obtuvieron resistencias de  $3.17\text{kg/cm}^2$ , para lo que se tiene una relación de 0.807 que es indicativo de una pérdida de resistencia de 19.3%.

Muy coincidentalmente en lo que respecta a la deformación de las probetas expuestas, se tiene la misma deformación que tienen las probetas expuestas en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico en el mismo período de exposición, de forma contraria se tiene que es muy diferente a la deformación de probetas expuestas en diesel y gasolina de igual manera en el mismo período de exposición. La deformación de las probetas expuestas 24 hrs. En ácido acético es de 2.67mm mientras que la de sus correspondientes testigos fue de 2.52mm, por lo que se tiene un 6% de mayor deformación en probetas expuestas.



**Gráfica 5.5-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en ácido acético.**

Debido a la infiltración que se tiene de ácido acético al interior de las probetas y a que no se tiene pérdida de agregados por desprendimiento, y que además de que la volatilidad del ácido acético se a manifestado en el tirante que se tenia en la bandeja, se tiene una variación en el peso inicial de las probetas por incremento de este, atribuible a la infiltración del ácido acético al interior de las probetas de 1.37%, ya que se tiene un peso final de probetas expuestas de 1231.80gr que es evidentemente mayor al que se tenia al iniciar el proceso de inmersión que era de 1215.10gr.

### **Ácido acético 7 días.**

Para esta edad de exposición es cuando se tiene el mayor efecto provocado por el contacto del ácido acético con el concreto asfáltico ya que en el caso contrario del ácido sulfúrico y ácido clorhídrico en los que las reacciones que se daban entre los componentes del asfalto y estas sustancias provocaban una mayor rigidez en las

probetas, en este caso el ácido acético por ser un hidrocarburo continua degradando al concreto asfáltico, además que como se había mencionado anteriormente es en esta edad cuando se tiene la mayor variación del peso inicial de las probetas, por la infiltración del ácido acético antes de que este se volatilice en su totalidad, lo anterior va en relación con lo que sucede en el ácido sulfúrico y en el ácido clorhídrico cuando se tiene el mayor grado de variación en el peso inicial por lo que esta sustancia se puede decir que tiene un comportamiento dual es decir sigue un mecanismo de ataque tanto de un ácido al igual que el de un hidrocarburo.

Se tiene una pérdida de resistencia a compresión diametral del 67%, que es apenas menor en 0.60% a la pérdida que se tiene por contacto con diesel, cuando este provoca el peor efecto al concreto asfáltico, a la edad de 28 días con lo que se observa que la velocidad de ataque del ácido acético es mayor que la del diesel, los valores de la resistencia a compresión diametral de probetas expuestas fue de  $1.13\text{kg/cm}^2$ , y la de sus correspondientes testigos de  $3.42\text{kg/cm}^2$ , por lo que la atención que se debe dar para la mitigación de un problema por contacto con ácido acético se debe dar de inmediato, siendo lo más oportuno en las primeras 24 horas del derrame como lo es en el caso de la gasolina, ya que posteriormente el efecto es más grave a pesar de que en el ácido acético se tiende a una recuperación en la resistencia a compresión diametral.

En cuanto a la deformación de las probetas expuestas por 7 días en ácido acético tiene una deformación de 3 veces más que la de las expuestas 24hrs ya que estas tienen deformaciones del 18% más que la de sus testigos pasando de 3.02mm de deformación a 3.57mm que se obtuvieron en probetas expuestas.

Nuevamente es preciso comentar que en esta edad es cuando se tiene la mayor variación del peso inicial de las probetas expuestas en ácido acético siendo esta del 2.36% de incremento con respecto al peso inicial y que por esta circunstancia, se derivan características que se han mencionado ya con anterioridad, el peso inicial de las probetas antes del proceso de inmersión fue de 1216.77gr, y al finalizar el proceso de inmersión se llegó a un peso de 1245.53gr.

A pesar de que el ácido acético, tiene un efecto similar al de la gasolina, este no tiene el mismo poder solvente que la gasolina al contacto con el asfalto por lo que no existe desprendimiento de material pétreo en las probetas de concreto asfáltico, y por ende no hay pérdida de sección geométrica en las mismas, como se muestra en la (Figura 5.5-1).



Figura 5.5-1 Aspecto de las probetas expuestas por 7 días en ácido acético.

#### Ácido acético 14 días.

Por el grado de volatilidad que tiene el ácido acético, al llegar al onceavo día de haber iniciado el proceso de exposición de las probetas en ácido acético no hay presencia de esta sustancia en las bandejas que contienen tanto las probetas expuestas 14 días como las expuestas 28 días (Figura 5.5-2), por lo que en la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas 14 días se detecta una recuperación, debida al contacto que existe entre las probetas y el oxígeno que provoca una rigidización en las probetas, la resistencia a compresión diametral de probetas expuestas fue de  $0.99\text{kg/cm}^2$ , mientras que la de sus correspondientes testigos fue de  $2.80\text{kg/cm}^2$ , que corresponde a una pérdida de resistencia a compresión diametral de 64.7%, recuperando un 2.3% de resistencia con respecto a las expuestas 7 días, pero si comparamos con el daño provocado por el diesel a 14 días se tiene que el ácido acético es más agresivo en el mismo período disminuyendo la resistencia a compresión diametral en 4% más.



**En esta figura se muestra como en las bandejas que contienen las probetas Figura 5.5-2 expuestas por 14 y 28 días en ácido acético, este a desaparecido completamente del interior de las mismas.**

A pesar de manifestarse una recuperación en cuanto a resistencia a compresión diametral no ocurre lo mismo en relación a la deformación de las probetas expuestas en ácido acético ya que tanto el efecto del oxígeno en contacto con el concreto asfáltico por la infiltración del ácido acético al interior de las probetas hacen que la mezcla no sea lo bastante rígida para no experimentar deformaciones inferiores a 43% a la edad de 14 días de exposición ya que las probetas testigo tuvieron deformaciones de 2.92mm que apreciablemente es menor a 4.17mm de deformación vertical sufrida por las probetas expuestas.

El efecto de volatilidad del ácido acético, hace que la variación en cuanto al peso inicial debido a la infiltración del ácido acético al interior de las probetas se reduzca en comparación, con la que se tenía a los 7 días de exposición, siendo esta reducción del 0.88% lo que conduce a determinar una variación del peso inicial de las probetas de 1.48%, pues al tener las probetas un peso inicial de 1217.40gr, llegaron a pesar al finalizar el proceso de exposición 1235.40gr.

Las probetas expuestas 14 días en ácido acético, han permanecido 3 días en contacto con el oxígeno, lo que a propiciado una rigidez en el perímetro de las probetas, por lo que presentan un aspecto bastante aceptable y que conduce a pensar que se encuentran en buenas condiciones de operación (Figura 5.5-3).



**Figura 5.5-3 Condiciones de las probetas expuestas en ácido acético por período de 14 días.**

### **Ácido acético 28 días.**

La tendencia a recuperar resistencia a compresión diametral es manifiesta a esta edad de exposición ya que el grado de rigidez por contacto con oxígeno a aumentado y el contenido de ácido acético en el interior de las probetas a disminuido teniendo una recuperación también en lo que se refiere a la deformación vertical.

Las probetas expuestas tienen una resistencia a compresión diametral de  $1.17\text{kg/cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos muestran una resistencia a compresión diametral de  $2.64\text{kg/cm}^2$ , lo que corresponde a una relación de probetas expuestas entre probetas testigo de 0.443, es decir, una disminución en la resistencia a compresión diametral del 55.7%, manifestándose una recuperación del 9% con respecto a la obtenida después de 14 días de exposición. Pero sin ser menor que la pérdida de resistencia a compresión diametral que provoca el diesel a la edad de 7 días que es de 51.30%, por lo que se puede decir que la resistencia con que cuenta el concreto asfáltico a la edad de 7 días por contacto con ácido

acético que es de 33%, es muy similar a la que tiene el concreto asfáltico por contacto con diesel a la edad de 28 días es de 32.4%.

Y viceversa la resistencia con que cuenta el concreto asfáltico a la edad de 7 días por contacto con diesel que es de 48.7%, es muy similar a la que tiene el concreto asfáltico por contacto con ácido acético a la edad de 28 días que es de 44.3%.

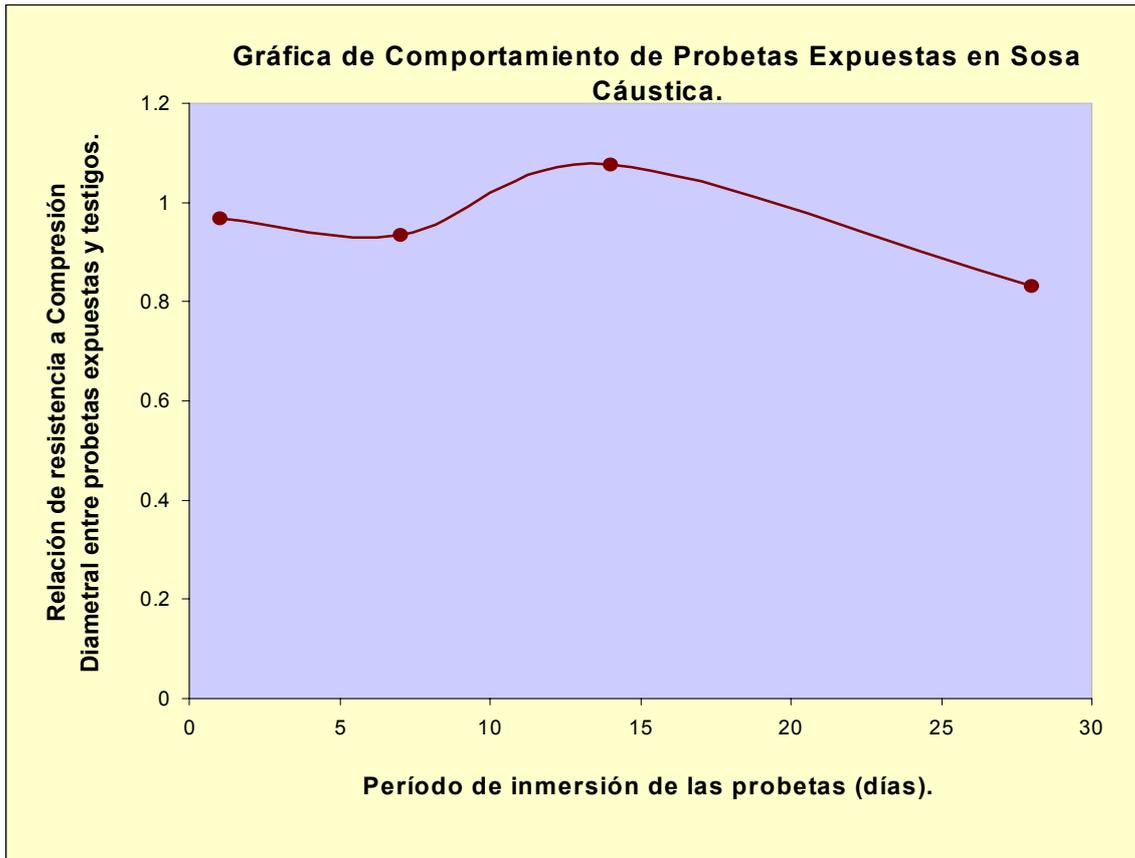
Por lo que se puede concluir que el ácido acético y el diesel tienen un comportamiento similar que depende del tiempo de exposición y de la velocidad en que penetran las sustancias al interior de las probetas. Siendo más agresivo en términos generales el ácido acético en el concreto asfáltico que el mismo diesel.

Derivado del mayor lapso de tiempo que a permanecido el concreto asfáltico en contacto con el oxígeno, la rigidez de las probetas a aumentado con lo que se tienen deformaciones en probetas expuestas de 3.83mm mientras que en probetas testigo se tienen deformaciones de 3.10mm es decir un 23% menos deformación que las probetas expuestas.

A la edad de 28 días de exposición en ácido acético es cuando se tiene la mínima variación del peso inicial de las probetas ya que se a perdido volumen de ácido acético en el interior de las probetas debido al contacto de las probetas con el oxígeno y a la nula presencia de ácido acético en el interior de las bandejas con lo que se tiene una variación de 1.28%, ya que al finalizar el proceso de exposición se tiene un peso en las probetas de 1227.80gr, incrementado con respecto al inicial de 1212.20gr, por lo que el ácido acético tanto el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico, adicionan una variación en peso debido a la infiltración de las sustancias al interior de las probetas, de forma contraria en que lo hacen el diesel y la gasolina.

## **5.6 Auscultación y diagnóstico por contacto con sosa cáustica.**

La Sosa Cáustica es después del ácido clorhídrico, la sustancia que menos daña al concreto asfáltico en relación a la resistencia a compresión diametral, en algo que es muy interesante comentar en lo que se refiere a que la deformación vertical que experimentan las probetas expuestas es en todos los casos menor que la deformación que tienen los testigos por lo que la sosa cáustica a resultado ser una sustancia que proporciona estabilidad a la mezcla asfáltica, debido probablemente a la consistencia de la sustancia que es un tanto viscosa incluso con un comportamiento similar al de una emulsión ya que después de cierto tiempo, hay una separación entre el fluido y una nata que se forma en la superficie del liquido derivado de la posible separación de los componentes de la emulsión (Figura 5.6-1), la que al actuar como tal proporciona rigidez al concreto asfáltico, determinando de esta manera que se produzca menos deformación en las probetas expuestas.



**Gráfica 5.6-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en sosa cáustica.**



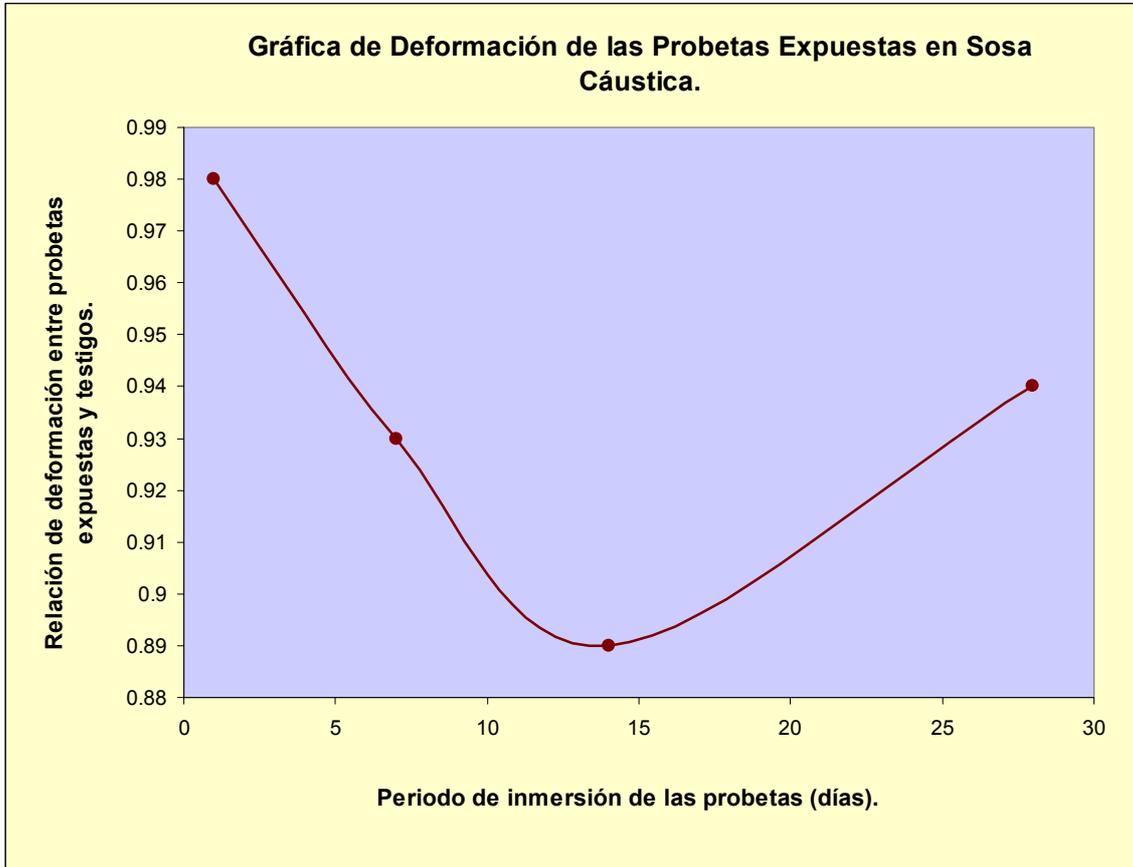
**Figura 5.6-1** En esta figura se muestra la formación de la nata en la superficie de la sosa cáustica como resultado de la posible separación de sus componentes emulsificantes.

La variación del peso inicial de las probetas en sosa cáustica también es variante por el aumento debido a la infiltración de la sosa cáustica al interior de las probetas, el cual permanece casi constante después del primer día de exposición lo que hace pensar que también por la viscosidad de la sosa cáustica llega el momento en el cual ya no es posible tener un mayor grado de infiltración al interior de las probetas.

#### **Sosa cáustica 1 día.**

Después de permanecer las probetas por 24 horas de exposición en sosa cáustica se tiene una resistencia a compresión diametral de probetas expuestas de  $3.86\text{kg/cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos arrojan una resistencia de  $3.99\text{kg/cm}^2$ , con lo que se tiene una relación de 0.967, que equivale a una reducción en la resistencia a compresión diametral de 3.3% que es muy similar a la pérdida de resistencia a compresión diametral que se obtuvo por las exposición del concreto asfáltico en ácido clorhídrico a la edad de 28 días donde la resistencia a compresión diametral de las probetas se redujo en 3.8% con lo que se determina que la sosa cáustica no adiciona propiedades de rigidez sino que actúa degradando al concreto asfáltico desde las primeras 24 horas de exposición.

La deformación que se tiene en las probetas expuestas por 24 horas en sosa cáustica es menor que la de sus correspondientes testigos en 2% ya que las probetas testigo tienen deformaciones de 2.83mm, mientras que las expuestas tienen deformaciones de 2.77mm, lo que se atribuye al grado de infiltración que se a tenido de sosa cáustica en las probetas.



Gráfica 5.6-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Sosa Cáustica.

La variación del peso inicial que se tiene en las probetas expuestas 24 horas en sosa cáustica es de 1.63% mayor que en ácido acético, ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, para el mismo período de exposición lo que se determino de comparar el peso inicial de las probetas antes del proceso de inmersión que fue de 1216.60gr, con el peso final de las mismas después del proceso de inmersión que fue de 1236.40gr.

Al retirar las probetas expuestas en sosa cáustica de los recipientes que las contienen, en el perímetro de las probetas se observa que queda una costra producto del rompimiento del emulsificante, lo que funciona como una capa protectora de la superficie de la probeta, que a su vez evita que haya desprendimiento de material pétreo, es decir, la sección geométrica de las probetas se mantiene íntegra (Figura 5.6-2).



**Figura 5.6-2** Apreciación que se tiene de las probetas expuestas en sosa cáustica por un lapso de 24 horas.

### **7 Días sosa cáustica.**

Después de permanecer las probetas de concreto asfáltico en contacto con sosa cáustica por 7 días se continua con la tendencia en la disminución de la resistencia a compresión diametral que en este caso se tiene una resistencia a compresión diametral de probetas expuestas de  $3.61\text{kg/cm}^2$ , y de  $3.86\text{kg/cm}^2$ , para probetas testigo, lo que numéricamente tiene una relación de 0.935 lo que corresponde a una pérdida de resistencia a compresión diametral de probetas expuestas de 6.5%, un 3.2% más que las expuestas 24 horas.

A pesar de la disminución en la resistencia a compresión diametral que tienen las probetas expuestas por 7 días tienen una deformación menor que la de sus testigos y que estriba en un 7%, por lo que se puede decir que la sosa cáustica tiene un efecto doble, ya que por una parte hace que se reduzca la resistencia a compresión diametral de las probetas, pero por otra parte estabiliza la mezcla de

concreto asfáltico ya que las probetas testigo experimentaron deformaciones de 4.15mm y las probetas expuestas arrojaron deformaciones de 3.87mm.

Es en este caso es cuando se presenta la mayor variación en cuanto al peso inicial provocado por la infiltración de la sosa cáustica al interior de las probetas, pero en este caso no se cumple con la tendencia que veníamos observando que cuando se tiene la mayor variación en cuanto al peso por tener el mayor nivel de infiltración en las probetas, es cuando se manifestaban los mayores efectos en las características de las probetas ya que como se vera más adelante estas se tienen a la edad de 28 días. Aquí solo se tiene una variación de 2.97% con respecto al peso final de las probetas que fue de 1252.63gr, y el inicial de las mismas el cual fue determinado en 1216.53gr.

En la (Figura 5.6-3), se aprecia como la costra a la que se hacia mención en la figura 5.6-2, es ya más visible, atribuible seguramente al mayor tiempo que han permanecido las probetas expuestas en sosa cáustica, donde la sección geométrica de las probetas continua como al inicio del proceso de inmersión.



**Figura 5.6-3 Impresión que se tiene de las probetas expuestas en sosa cáustica después de concluir el proceso de exposición a 7 días.**

### **Sosa cáustica 14 días.**

Antes de empezar a discutir los resultados obtenidos del proceso de exposición de las probetas expuestas en sosa cáustica por 14 días es preciso mencionar lo siguiente: Al terminar el proceso de exposición en la sustancia, las probetas son retiradas del recipiente para proceder a un proceso de secado superficial, con la finalidad de que el excedente de líquido que rodea el perímetro de las probetas sea eliminado, con lo que la manipulación de las probetas se hace más cómoda y segura.

Por cuestiones ajenas al desarrollo del experimento en este caso el lapso de tiempo en que permanecieron las probetas después de haber sido retiradas del recipiente se prolongo por espacio de 15 minutos, tiempo que permanecieron en contacto con oxígeno lo que provocó que las probetas se rigidizaran, rompiendo con la tendencia que se tenía anteriormente en edades de 1 y 7 días, manifestando un comportamiento como se describe a continuación:

Las probetas expuestas en sosa cáustica por 14 días arrojaron valores de la resistencia a compresión diametral de  $2.51\text{kg/cm}^2$ , mientras que de sus correspondientes testigos se obtuvieron valores de  $2.33\text{kg/cm}^2$ , para obtener una relación de probetas expuestas entre probetas testigo de 1.077, que equivale a un 7.7% de mayor resistencia para probetas expuestas.

En lo que se refiere a la deformación de las probetas expuestas es manifiesto también un mejor comportamiento que la de sus correspondientes testigos ya que para probetas testigo se determinan deformaciones de 2.99mm y para probetas expuestas se tienen deformaciones de 2.68mm lo que corresponde a un 11% de menor deformación en probetas expuestas.

Es atribuible también al tiempo que permanecieron las probetas en contacto con el oxígeno el hecho de que la variación del peso inicial de las probetas haya disminuido en relación con el obtenido a 7 días de exposición el cual disminuyó en 0.60%, lo que se determina al comparar el peso inicial de las probetas antes del proceso de inmersión el cual fue de 1212.10gr y el peso final de las probetas después del proceso de inmersión fue de 1210.83gr, con lo que se tiene una variación de 2.37% con respecto al peso inicial.

Se desprende también del hecho de que las probetas permanecieron en contacto con oxígeno por un espacio de tiempo considerable después de haber sido extraídas del recipiente que las contenía, el que las probetas muestren un mucho mejor aspecto además de que la costra que envuelve a la probeta se desprende de la misma, efecto atribuible seguramente también a la acción del oxígeno (Figura 5.6-4).



**Figura 5.6-4 Imagen de las probetas expuestas en sosa cáustica al finalizar el proceso de inmersión a 14 días.**

### **Sosa cáustica 28 días.**

Al finalizar el proceso de exposición de probetas por 28 días en sosa cáustica, se retoma la tendencia mostrada por las probetas expuestas 1 y 7 días, ya que en este caso no ocurrió lo mismo que en el caso de 14 días y la exposición de las probetas para su escurrimiento superficial fue tan solo por unos segundos.

Al tener la misma tendencia en cuanto a resistencia a compresión diametral las probetas expuestas tuvieron resistencias de  $3.35\text{kg/cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos mostraron valores de resistencia a compresión diametral de  $4.03\text{kg/cm}^2$ , lo que muestra una relación de 0.831, es decir, una disminución en la resistencia de probetas expuestas de 16.90%, con lo que se tiene a esta edad el peor efecto causado por la sosa cáustica al concreto asfáltico por contacto, como se observa en ningún caso se rebasa un 20% de pérdida de resistencia por lo que un tramo que tenga sosa cáustica no representará un mayor riesgo de operación lo que no quiere decir, que no deba atenderse prontamente un problema de esta naturaleza.

En lo que se refiere a la deformación vertical que experimentan las probetas expuestas en sosa cáustica también se retoma la tendencia que mostraban las probetas expuestas un día y 7 días y que es del 6% menos para las probetas expuestas 28 días ya que se tuvo una deformación en probetas testigo de 3.15mm mientras que las probetas expuestas tuvieron deformaciones del orden de 2.97mm.

Como se menciona al inicio de la discusión referente a sosa cáustica después del proceso de exposición a 1 día la variación del peso inicial de las probetas para edades de 7,14 y 28 días permanece prácticamente constante ya que por las características de la sosa cáustica se llega a la máxima variación y el incremento ya no puede darse más allá de cierto grado de infiltración que estriba en no más del 3% de variación con respecto al peso inicial, en este período de exposición se tiene un 2.81% de variación de peso de las probetas antes de la inmersión que fue de 1218.07gr y al finalizar el proceso de inmersión llegó a ser de 1252.27gr.

### **5.7 Auscultación y diagnóstico por contacto con agua.**

El efecto del agua lo podemos comparar con el efecto que provoca en ácido clorhídrico, pero para el agua se tomaron las siguientes consideraciones: el agua tiende a evaporarse por la acción de la temperatura y los agentes del intemperismo que actúan en ella, por ello el tirante de agua en los recipientes disminuye con el paso del tiempo razón por la cual a la edad de 14 días se recupero el tirante inicial que se tenia en las bandejas que contienen las probetas expuestas 14 y 28 días.

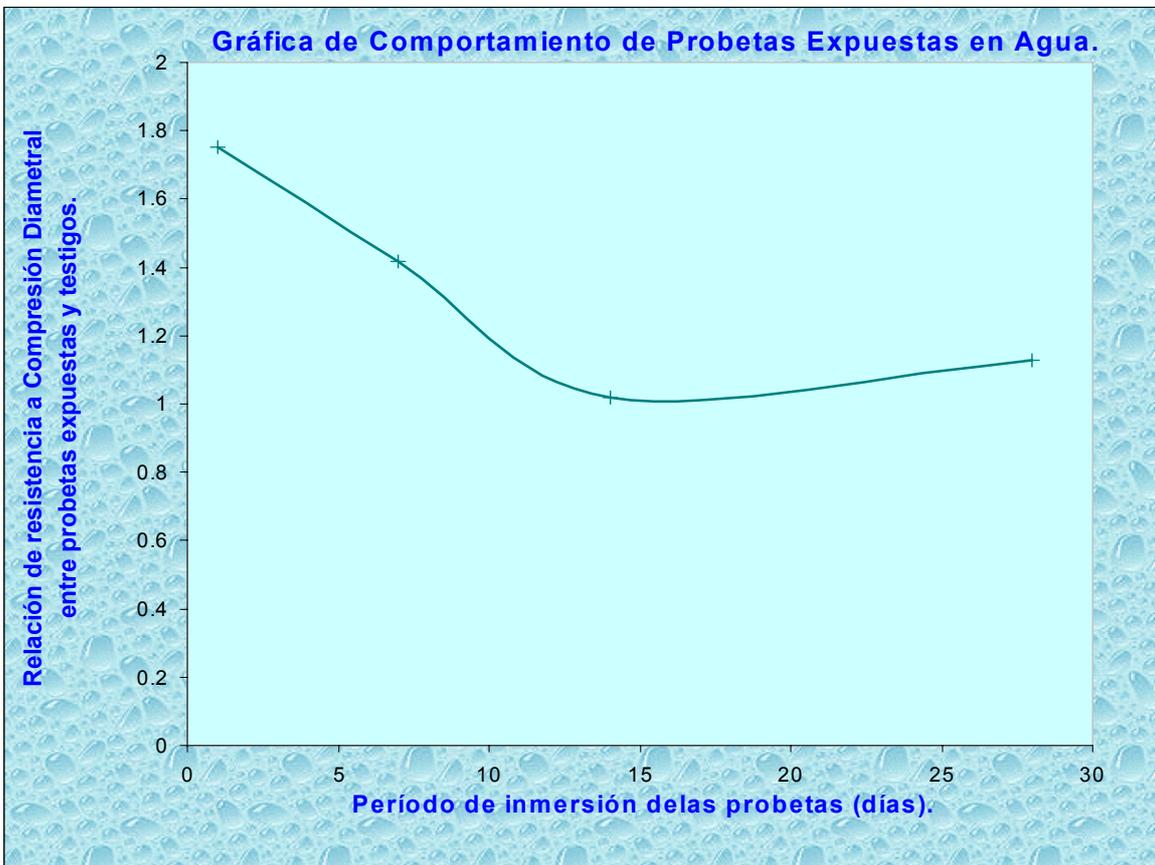
Podrá pensarse por que no se recuperó el tirante en aquellas sustancias que sufrieron también pérdida de tirante en las bandejas, la razón es que, como se mencionaba en la sección referente a la selección de las sustancias que son consideradas como agresivas para el concreto asfáltico, la ocurrencia del agua, así como su aparición es de manera natural, es decir, por el efecto de las lluvias ya que en la temporada de éstas, es fácil que llueva un día, así como al día siguiente y así continuar lloviendo por un período continuo, lo que pensando positivamente es difícil pensar que ocurra un derrame de una sustancia un día en un punto específico y que al día siguiente ocurra en ese mismo punto otro derrame, razón por la cual, se hizo factible recuperar el tirante en los recipientes con agua que en recipientes con otras sustancias volátiles.

En lo que se refiere a resistencia a compresión diametral el agua actúa muy similarmente que en el caso del Concreto Hidráulico, es decir, mejora sus condiciones de fraguado y por lo tanto mejora su resistencia en todos los lapsos de tiempo en que se exponen las probetas, lo cual es notorio principalmente en las edades de 1 y 7 días, cuando el tirante de agua en las bandejas es alto ya que a medida que se pierde el tirante por efecto de evaporación disminuye también la resistencia a compresión diametral haciéndose notorio a la edad de 14 días y cuando se recupera el tirante se aprecia nuevamente una recuperación en la resistencia a compresión diametral tal es el caso del proceso de exposición a 28 días.

Lo anterior plantea la hipótesis de que el deterioro que da el agua al concreto asfáltico no es por el primer contacto que se tiene, es decir, no se atribuye al primer período de lluvias que actúa sobre el concreto asfáltico, ya que el agua mientras está presente actúa deteriorando hasta el momento en que desaparece totalmente por el efecto de la evaporación o el efecto del tránsito que disipa el volumen de agua en el asfalto, cuando desaparece totalmente el agua, el concreto asfáltico queda afectado por la acción de esa temporada de lluvias, cuando otra temporada de lluvias actúa en el concreto asfáltico, se inicia nuevamente un proceso de incremento de resistencia a compresión diametral, lo mismo ocurre cuando se recupera el tirante, pero sin llegar al máximo valor al que se llego en la temporada de lluvias anterior, hasta llegar al momento en que por el efecto de "N" lluvias en el concreto asfáltico, el efecto de las lluvias ya no actúa como mejorador de las características del concreto asfáltico, sino que ahora actúa deteriorando por

lo que el concreto asfáltico no se deteriora por el primer contacto con agua, sino que es por la acumulación de varias lluvias, por lo que es importante que un pavimento cuente con un buen sistema de drenaje, es decir, con un buen bombeo, manejo de sobreelevaciones adecuadas en zonas de curva o el empleo de cunetas, además de construir carpetas de textura abierta en zonas donde se tengan registros de alta precipitación pluvial, ya que si no se cuenta con las condiciones anteriormente mencionadas, más pronto se tendrá un deterioro del pavimento por la acción del agua.

La deformación que se tiene en las probetas, es mayor en las probetas expuestas que en las probetas testigo a pesar de que estas tienen una mayor resistencia a compresión diametral la cual se mantiene casi constante a partir del séptimo día de exposición lo que nos indica que la deformación que se da en este lapso de tiempo tiene un nivel máximo, y otra época de lluvias seguramente provocará una deformación mayor, hasta llegar a la falla del pavimento.

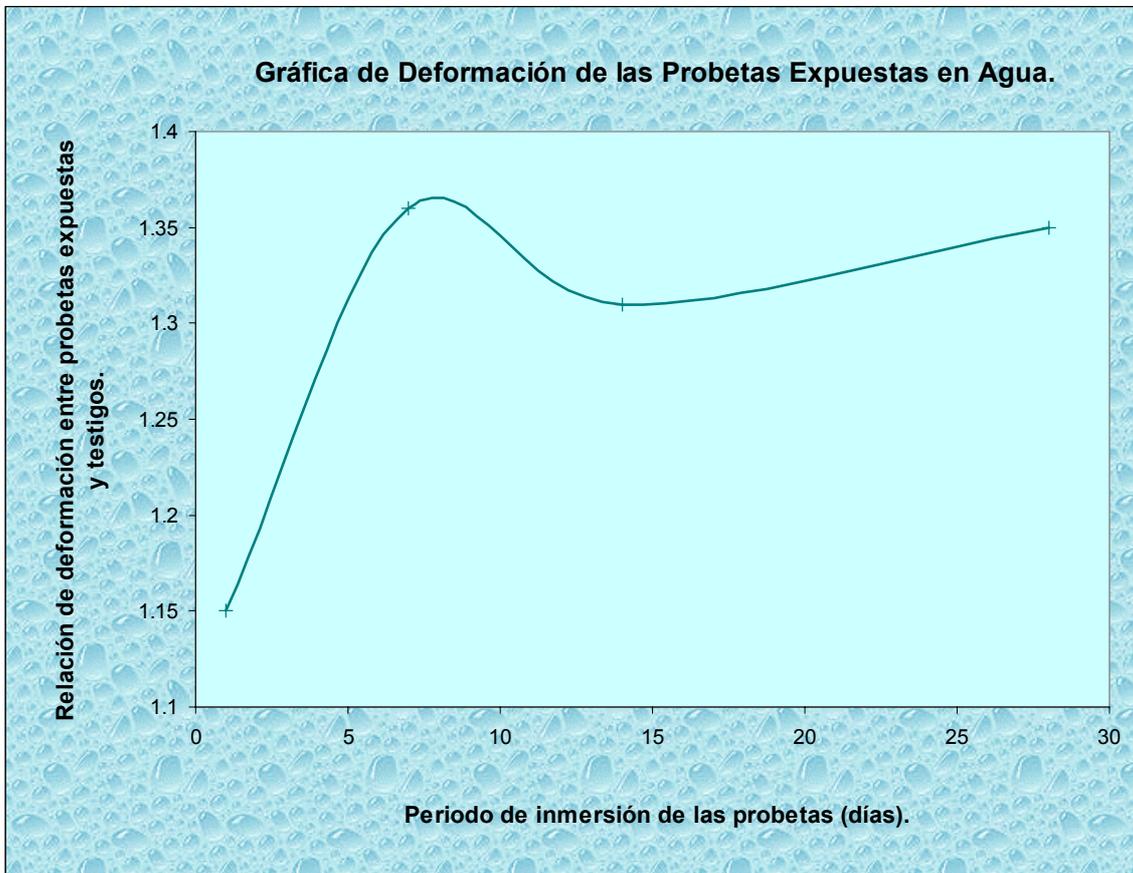


Gráfica 5.7-A Gráfica de comportamiento de probetas expuestas en Agua.

### Agua 1 día.

La resistencia a compresión diametral que tienen las probetas expuestas por 24 horas es de  $4.77\text{kg/cm}^2$ , mientras que sus correspondientes testigos tienen una resistencia de  $2.72\text{kg/cm}^2$ , para los que se tiene una relación de 1.75, que corresponde a un 75% de mayor resistencia a compresión diametral de probetas expuestas.

En lo que respecta a la deformación vertical que experimentan las probetas expuestas se tiene una deformación de 2.97mm, a su vez las probetas testigo tuvieron deformaciones de 2.57mm, lo que significa un 15% de mayor deformación sufrida por las probetas expuestas.



**Gráfica 5.7-B Gráfica de deformación de probetas expuestas en Agua.**

La variación del peso inicial de las probetas, con respecto al peso que se obtuvo de las mismas al finalizar el proceso de inmersión fue de 1.51%, ya que se registró un aumento de 18.45gr al pasar de 1218.25gr antes de la inmersión en agua a 1236.70gr al finalizar el proceso de inmersión.

La infiltración del agua al interior las probetas, además de incrementar el peso de las mismas, provoca que las probetas adquieran cierto lustre, derivado del agua contenida (Figura 5.7-1).



**Figura 5.7-1 Apariencia que mostraron las probetas expuestas en agua al concluir el proceso de exposición a 24 hrs.**

### **Agua 7 días.**

Al ir evaporándose el agua se pierde contacto completamente con la superficie de la probeta de esta forma una sección de la probeta entra en contacto con el oxígeno lo que provoca oxidación de la mezcla asfáltica, o el mismo efecto del agua a influido para que la resistencia a compresión diametral decrezca, con respecto a la que se obtuvo después de 24 horas de exposición ya que para 7 días de exposición se tiene una resistencia de  $4.10\text{kg/cm}^2$ , y de probetas testigo de  $2.89\text{kg/cm}^2$ , para las que se tiene una relación de 1.42 equivalente a 42% de mayor resistencia para las probetas expuestas.

Con lo descrito en el párrafo anterior podemos observar como existe una diferencia en cuanto a lo que provoca el contacto del oxígeno con probetas que fueron inmersas en gasolina o en ácido acético donde existía una rigidez en las probetas, en el caso del agua hay una disminución en cuanto a la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas en agua 7 días.

Para esta edad de exposición se tiene una deformación en probetas expuestas de 36% más que las probetas testigo, lo que es palpable al observar la deformación

en probetas testigo que es de 2.65mm mientras que la de las probetas expuestas lo es de 3.60mm.

La variación del peso inicial en las probetas expuestas 7 días en agua a aumentado con respecto a la que se tenía 24 horas después de la exposición, ya que a esta edad se tiene un peso final de las probetas después del proceso de inmersión de 1219.30gr.

#### **Agua 14 días.**

Para esta edad de exposición el tirante de agua en las bandejas se a reducido prácticamente a la mitad del que se tenía al iniciar el proceso de inmersión tanto para 14 como para 28 días, lo que provocó que una mayor sección de la probeta entrara en contacto con el oxígeno, de esta forma la relación de resistencia de probetas expuestas y probetas testigo a disminuido a 1.02, es decir, que las probetas expuestas tienen una resistencia a compresión diametral de 2% más que los testigos, lo que podemos observar , en la resistencia a compresión diametral de probetas expuestas que fue de  $4.18\text{kg/cm}^2$ , y la de sus testigos que fue de  $4.11\text{kg/cm}^2$ , donde solo hay una diferencia de  $0.07\text{kg/cm}^2$  de mayor resistencia en probetas expuestas.

Se observa que en este caso prácticamente se tienen los mismos valores tanto en probetas expuestas como en probetas testigo, por el efecto de la evaporación del agua con lo que se cree que cuando el agua se evapora totalmente las probetas tendrán alguna pérdida de resistencia a compresión diametral por el efecto del agua, quedando de esta manera el concreto asfáltico más vulnerable para la siguiente temporada de lluvias.

Como se mencionó anteriormente después de las 24 horas de exposición la deformación que experimentan las probetas expuestas en agua 7,14 y 28 días es prácticamente la misma ya que en este caso se tienen deformaciones en probetas expuestas de 3.60mm que notoriamente es mayor de 2.75mm de deformación sufrido por probetas testigo con lo que se tiene un porcentaje de deformación menor en probetas testigo que en expuestas de 31%.

Debido a la disminución en el tirante de agua en las bandejas la variación del peso inicial de las probetas expuestas por 14 días a disminuido con respecto al que se tenía a 7 días de exposición ya que se tiene una variación de 1.98% de mayor peso en probetas expuestas. El peso inicial de las probetas antes del proceso de inmersión fue de 1220.90gr y el peso al finalizar el proceso de inmersión fue de 1245.10gr.

### **Agua 28 días.**

Cabe mencionar que después de haber ensayado las probetas expuestas 14 días se recuperó el tirante de agua en las bandejas con las probetas expuestas 28 días, por las razones que se comentan al inicio de estas discusiones lo que provocó una recuperación en la resistencia a compresión diametral de las probetas expuestas, aunque en menor grado que la que se tuvo en las primeras edades como 1 y 7 días ya que las probetas expuestas tuvieron resistencias de  $5.63\text{kg/cm}^2$ , y sus respectivos testigos tuvieron resistencias de  $4.99\text{kg/cm}^2$ , con lo que se tiene una relación de 1.13, esto es 13% de mayor resistencia en probetas expuestas.

Seguramente en el momento en que se evapore totalmente el agua producto de otra temporada de lluvia se tendrán valores en la resistencia a compresión diametral menores que el obtenido a la edad de 14 días por lo que el ataque del agua en el concreto asfáltico es cíclico.

La deformación de las probetas expuestas en agua por 28 días mantienen el mismo rango de deformación mostrado por las probetas expuestas 7 y 14 días a pesar de haber recuperado el tirante en las bandejas con lo que se refuerza la hipótesis de decir que la deformación de las probetas tiene un límite, el cual estriba en un 35% ya que es este el caso de las probetas expuestas 28 días ya que se tiene una deformación vertical en probetas expuestas de 4.07mm, mientras que en probetas testigo se tiene 3.02mm de deformación.

Es atribuible también a la recuperación del tirante de agua a las bandejas el hecho de que a la edad de 28 días se tenga la mayor variación con respecto al peso inicial que tenían las probetas antes de iniciar el proceso de inmersión que en este caso fue de 1217.50gr y al finalizar el proceso de inmersión se obtuvo un peso de 1259.75gr para los cuales se tiene una variación de 3.47% con respecto al peso inicial, siendo de este modo el mayor índice de variación que se tiene en las probetas expuestas en agua.

## Conclusiones

---

Las conclusiones de este trabajo se desprenden del análisis a las discusiones ya que es en estas donde se detallan los cambios y efectos más importantes, que sufre el concreto asfáltico cuando existe un contacto con sustancias agresivas.

Al analizar los valores en que principalmente la resistencia a compresión diametral se ve afectada por el contacto con los hidrocarburos como la gasolina, el diesel y el ácido acético, es fácil pronosticar el grave riesgo al que pueden estar expuestos los pavimentos de concreto asfáltico, que presente características de deterioro como las expuestas en la sección de discusiones, cuando por el circulen vehículos articulados como lo son: el T3-S2, T3-S3, T3-S2-R-4 y vehículos rígidos como el C-2, C-3, B-2, B-3, que por la intensidad de carga que transmiten al pavimento, con toda seguridad provocarán la destrucción del mismo.

Incluso, el simple tránsito de vehículos ligeros implicaría un riesgo para la integridad de un pavimento, ya que el poder solvente que ejercen los hidrocarburos con el asfalto, es tan drástico que lo hace muy vulnerable al efecto de cualquier carga por mínima que sea esta.

La pérdida de agregados (Material Pétreo), que sufre el concreto asfáltico derivado de la pérdida de cohesión que se tiene en la mezcla, por la degradación que sufre el asfalto en sus propiedades aglutinantes, provocadas también por el poder solvente de los hidrocarburos, es también un problema considerable que se tiene cuando existe contacto de concreto asfáltico con los hidrocarburos y que se hace más agudo en función de la infiltración que se tiene de las sustancias al interior del concreto asfáltico.

Sin lugar a dudas la gasolina es de los hidrocarburos el que más daño causa al concreto asfáltico ya que además de reducir la capacidad de resistencia a compresión diametral en corto tiempo, provoca que el concreto asfáltico tenga deformaciones de magnitudes considerables. Seguido del ácido acético ya que a un lapso menor de tiempo que el diesel provoca los daños que el diesel causa en periodos más prolongados.

Además de los daños que el diesel provoca al concreto asfáltico en relación a la pérdida de resistencia a compresión diametral, así como en la pérdida de agregados y las deformaciones que se tienen, existe otro riesgo derivado de la poca o nula volatilidad que tiene el diesel a diferencia de la gasolina y el ácido acético, ya que el volumen del diesel permanece casi constante durante todo el proceso, la superficie de rodamiento se vuelve resbaladiza siendo un factor para la ocurrencia de futuros accidentes que pueden derivar en derrames.

Pese a la misma naturaleza de la gasolina y el ácido acético se tiene un efecto distinto, después de que la sustancia se volatiliza en su totalidad y entra en contacto con el oxígeno ya que en el caso del ácido acético se tiende a una recuperación de la resistencia a compresión diametral y en el caso de la gasolina al final del proceso es cuando se tienen los peores efectos por contacto con gasolina.

El ácido sulfúrico es una sustancia que tiene sus peores efectos por contacto con concreto asfáltico a edades avanzadas, es decir, hasta los 14 y 28 días que es además cuando se tiene la mayor cantidad de infiltración de esta sustancia al interior de las probetas, reflejada en la variación del peso inicial de las probetas contra el peso que se tiene de los mismos después del proceso de inmersión.

Por lo que si un pavimento de concreto asfáltico que haya tenido contacto con ácido sulfúrico se atiende prontamente su remediación no implicaría trabajos de gran magnitud y además costosos, caso contrario si no es atendido con la debida prontitud se pueden alcanzar valores de pérdida de resistencia a compresión diametral mayores al 50% lo que implicaría trabajos de reparación sofisticados y costosos.

La sosa cáustica es una sustancia que tiene un bajo efecto destructivo en el concreto asfáltico, ya que en ningún caso de exposición se tiene una pérdida de resistencia a compresión diametral mayor al 17% aunque no por ello deja de representar un riesgo para la integridad de un pavimento ya que a corto plazo como lo es en 24 horas disminuye la resistencia igual a la que provoca el ácido clorhídrico en 28 días.

Debe mencionarse que por la forma de los recipientes que contenían las probetas, durante el proceso estas no tenían ningún contacto con el oxígeno, pero cuando hubo contacto con este por un período eventualmente prolongado por las razones que se comentaron en la sección de discusiones, las probetas mostraron un aumento en su capacidad de resistencia a compresión diametral de casi 8% en relación a sus testigos.

De manera interesante debe comentarse que las deformaciones de las probetas expuestas en todos los casos fue menor en probetas expuestas que en probetas testigo.

El ácido clorhídrico es una sustancia que a despertado mucho interés ya que a resultado ser una sustancia que mejora las propiedades de un concreto asfáltico principalmente las que se refieren a resistencia a compresión diametral, donde se tienen valores de casi 50% de mayor resistencia en probetas expuestas y no es hasta la edad de 28 días cuando existe un decremento muy mínimo en la resistencia a compresión diametral que es además cuando se tiene la mayor variación en cuanto al peso de las probetas al finalizar el proceso de inmersión.



**Gráfica 5.8-A Gráfica de variación del peso inicial de las probetas expuestas en las sustancias agresivas analizadas (Al finalizar los tiempos de exposición).**

A diferencia de la variación que se tiene del peso inicial de las probetas en los hidrocarburos, que es por disminución de este, atribuible a la pérdida de material pétreo en el concreto asfáltico en el caso del ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico y la sosa cáustica se tiene una variación en peso por aumento que se tiene debido a la infiltración de las sustancias al interior de las probetas.

En el caso del agua como se ha dicho en las discusiones el daño provocado por el agua no es atribuible a la primera vez que hay contacto del concreto asfáltico con el agua, independientemente del tiempo que permanezca en contacto, pero si es cierto que el concreto asfáltico se degrada al finalizar el contacto, pero sin llegar al punto de que las condiciones de operación de un tramo sean de rechazo por un primer contacto con agua, sino que la falla de un pavimento se debe a la acumulación de efectos provocados por temporadas de lluvia que actuaron sobre el concreto asfáltico hasta provocar su deterioro.

Finalmente se concluye con la siguiente idea: Con la elaboración de este trabajo se cuenta con información, respaldada en comprobación experimental, donde se exponen los daños y efectos que se tienen en el concreto asfáltico, cuando se tiene contacto con sustancias agresivas, para demostrar, precisamente estos efectos.

Podemos clasificar por orden de agresividad las sustancias que se han analizado en relación a la evaluación de la pérdida de resistencia en concretos asfálticos por contacto de sustancias agresivas.

SUSTANCIA	VALOR DE AGRESIVIDAD AL CONCRETO ASFALTICO
GASOLINA	7X
ÁCIDO ACÉTICO	6X
DIESEL	5X
ÁSIDO SULFÚRICO	4X
SOSA CÁUSTICA	3X
ÁCIDO CLORHÍDRICO	2X
AGUA	X

**Tabla 5.8- I VALOR DE AGRESIVIDAD DE LAS SUSTANCIAS ANALIZADAS CON REFERENCIA AL CONCRETO ASFÁLTICO.**

## Recomendaciones

---

La recomendación más importante que a consideración personal es preciso establecer es:

Se debe tratar de conocer con la mayor exactitud y precisión posible el tiempo transcurrido a partir del contacto de una sustancia con el concreto asfáltico, para tomar las medidas pertinentes para el cuidado del tramo como lo son, el cerrarlo definitivamente al tránsito, la aplicación de algún tratamiento o procesos de prevención pertinentes, ya que como se mencionaba en el caso de la gasolina y el ácido acético que son sustancias volátiles, cuando ocurre la desaparición total de estas sustancias en las bandejas, entran en contacto con el oxígeno con lo que se provoca una rigidez en las probetas que provoca que se tenga una apariencia en el concreto asfáltico de buena funcionalidad, ya que externamente las probetas tienen un buen aspecto principalmente en aquellas expuestas 14 y 28 días, pero las condiciones internas son de total deterioro y nula capacidad estructural, por lo que conocer el tiempo es determinante para las acciones que se tomen en torno a un problema de contacto de sustancias agresivas con el concreto asfáltico.

Independientemente del mecanismo de ataque que se tenga por parte de las sustancias agresivas con el concreto asfáltico, la rapidez con que se atienda un problema de contacto con el concreto asfáltico es un factor determinante para la pronta solución, ya que entre más pronto se tomen acciones lo complejo y costoso de las mismas será minimizado.

Otro aspecto que es importante cuidar es que los procesos constructivos que se siguen en la elaboración de concretos asfálticos sean los recomendados por entidades normativas, como es el caso de la S.C.T. dentro de los aspectos que deben cuidarse principalmente son los siguientes: La granulometría que se emplee en la elaboración de las probetas debe ser la que recomienda el manual de calidad de materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros, otra condición que se debe cumplir es que los materiales pétreos cumplan con pruebas índice de calidad mínimas exigidas por las normas, respetar los contenidos de asfalto recomendados para una mezcla, cuidar que tanto la temperatura de mezclado como de compactación sean las recomendables para tales efectos y que además la carga de compactación sea la adecuada estos son algunos parámetros de construcción que garantizan periodos de vida útil más prolongados y que los concretos asfálticos tengan índices de resistencia más altos por contacto de sustancias agresivas.

Se debe fomentar una cultura de seguimiento a reglamentos y normas que rigen el transporte de sustancias agresivas esto es respetar los niveles máximos de concentración de las sustancias para su transporte terrestre, el empleo de códigos de colores para identificar las sustancias y de esta manera saber como proceder para combatir un derrame, el empleo de autotanques que respeten tanto los materiales que se exigen para su construcción así como las dimensiones que deben cumplir entre otros muchos factores.

El seguimiento adecuado de procesos de conservación tanto rutinario como periódico que impidan la aparición de baches, calaveras, agrietamientos, roderas, deformaciones, desprendimiento de agregados son un factor muy importante que minimiza los riesgos que puede provocar el contacto de sustancias agresivas con el concreto asfáltico, ya que el que un pavimento este muy agrietado, facilita el ingreso de las sustancias al interior de este, facilitando así su pronta degradación.

El empleo de carpetas asfálticas con textura abierta son recomendables para controlar los efectos provocados por agua, principalmente en lugares donde se tienen altos índices de precipitación pluvial, ya que estas carpetas favorecen el drenaje del agua a traves de su superficie.

Se debe tener precaución en el sentido de que la sustancia o elemento con que se combata un derrame y controlar su propagación no provoque una mayor reacción en el momento de su adición. Además se deben seguir los procedimientos recomendados por los fabricantes de los productos como los que se indican en el capítulo III de este trabajo de tesis donde se especifican algunas acciones que son recomendable seguir para el control de derrames de sustancias agresivas.

## Anexo 1

### **Tablas de resultados de los ensayos a tensión indirecta de las probetas expuestas en las sustancias agresivas**

Tabla donde se indica de manera porcentual la pérdida de resistencia que sufren las probetas expuestas a las sustancias agresivas.

EVALUACIÓN DE LA PERDIDA DE RESISTENCIA DE CONCRETO ASFALTICO POR CONTACTO DE SUSTANCIA AGRESIVAS.				
SUSTANCIA AGRESIVA.	PERIODO DE INMERSIÓN (DIAS).	RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIÁMETRAL DE PROBETAS EXPUESTAS Y SUS CORRESPONDIENTES TESTIGOS.		% PORCENTAJE DE PERDIDA DE RESISTENCIA DE PROBETAS EXPUESTAS
		$\frac{Re}{Ro}$	Donde: Re: Resistencia a Compresión Diámetro de Probetas Expuestas. Ro: Resistencia a Compresión Diámetro de Probetas Testigos..	
GASOLINA.	1	0.241		75.90
	7	0.040		96.00
	14	0.053		94.70
	28	0.028		97.20
DIESEL.	1	0.765		23.50
	7	0.487		51.30
	14	0.393		60.70
	28	0.324		67.60
ÁCIDO SULFÚRICO.	1	0.708		29.20
	7	0.802		19.80
	14	0.674		32.60
	28	0.489		51.10
ÁCIDO CLORHÍDRICO.	1	1.158		(+) 15.8
	7	1.446		(+) 44.6
	14	1.011		(+) 1.1
	28	0.962		3.80
ÁCIDO ACÉTICO.	1	0.807		19.3
	7	0.330		67.00
	14	0.353		64.70
	28	0.443		55.70
SOSA CÁUSTICA.	1	0.967		3.30
	7	0.935		6.50
	14	1.077		(+) 7.73
	28	0.831		16.90
AGUA.	1	1.753		(+) 75.37
	7	1.418		(+) 41.87
	14	1.017		(+) 1.70
	28	1.128		(+) 12.82

Nota: Los porcentajes a los que antecede el signo (+) corresponde a aquellos en que se obtuvo ganancia de resistencia.

Tabla donde se indica de manera porcentual el aumento en la deformación vertical que sufren las probetas expuestas en relación con sus testigos.

PERDIDA DE RESISTENCIA DE CONCRETO ASFALTICO POR CONTACTO DE SUSTANCIA AGRESIVAS.				
SUSTANCIA AGRESIVA.	PERIODO DE INMERSIÓN (DIAS).	RELACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE PROBETAS EXPUESTAS Y SUS CORRESPONDIENTES TESTIGOS.		% PORCENTAJE DE AUMENTO DE DEFORMACIÓN DE PROBETAS EXPUESTAS
		De	Do	
		Donde: De: Deformación de Probetas Expuestas. Do: Deformación de Probetas Testigos..		
GASOLINA.	1		1.33	33.00
	7		4.08	308.00
	14		2.27	127.00
	28		1.64	64.00
DIESEL.	1		1.14	14.00
	7		1.12	12.00
	14		0.90	-10.00
	28		1.11	11.00
ÁCIDO SULFÚRICO.	1		1.06	6.00
	7		0.85	-15.00
	14		0.96	-4.00
	28		1.35	35.00
ÁCIDO CLORHÍDRICO.	1		1.06	6.00
	7		1.08	8.00
	14		1.09	9.00
	28		1.44	44.00
ÁCIDO ACÉTICO.	1		1.06	6.00
	7		1.18	18.00
	14		1.43	43.00
	28		1.23	23.00
SOSA CÁUSTICA.	1		0.98	-2.00
	7		0.93	-7.00
	14		0.89	-11.00
	28		0.94	-6.00
AGUA.	1		1.15	15.00
	7		1.36	36.00
	14		1.31	31.00
	28		1.35	35.00

Nota: Los porcentajes a los que antecede el signo (-) corresponde a aquellos en que se obtuvo menor deformación en las probetas expuestas que en los testigos.

**RESUMEN CONCENTRADO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS DESPUES DEL PROCESO DE INMERSIÓN Y ENSAYE A TENSIÓN INDIRECTA.**

"EVALUACIÓN DE LA PERDIDA DE RESISTENCIA EN CONCRETOS ASFÁLTICOS POR CONTACTO DE SUSTANCIAS AGRESIVAS"										
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS DESPUES DEL PROCESO DE INMERSIÓN Y ENSAYE A TENSIÓN INDIRECTA"										
TIPO DE SUSTANCIA.	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS (EXPUESTAS).	PERIODOS DE EXPOSICION A LAS SUSTANCIAS AGRESIVAS.				CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS (TESTIGO).	PERIODOS DE EXPOSICION A LAS SUSTANCIAS AGRESIVAS.			
		1 Día.	7 Dias.	14 Dias.	28 Dias.		1 Día.	7 Dias.	14 Dias.	28 Dias.
GASOLINA	Resistencia a Compresión Diametral	0.84 kg/cm2	0.094 kg/cm2	0.26 kg/cm2	0.13 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	3.48 kg/cm2	2.37 kg/cm2	4.94 kg/cm2	4.47 kg/cm2
	Deformación	4.73 mm	11.43 mm	6.78 mm	4.90 mm	Deformación	3.56 mm	2.80 mm	2.98 mm	2.98 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.090 Ton	0.010 Ton	0.028 Ton	0.014 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.372 Ton	0.252 Ton	0.530 Ton	0.478 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1213.03 gr	1213.00 gr	1217.07 gr	1215.03 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1214.37 gr	1214.17 gr	1216.67 gr	1213.73 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1056.30 gr	846.27 gr	1016.47 gr	1012.27 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1217.00 gr	1217.33 gr	1223.13 gr	1221.57 gr
DIESEL	Resistencia a Compresión Diametral	2.02 kg/cm2	2.35 kg/cm2	1.28 kg/cm2	1.17 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	2.64 kg/cm2	4.82 kg/cm2	3.26 kg/cm2	3.61 kg/cm2
	Deformación	3.12 mm	3.40 mm	2.75 mm	3.37 mm	Deformación	2.73 mm	3.02 mm	3.05mm	3.03 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.215 Ton	0.250 Ton	0.137 Ton	0.125 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.282 Ton	0.520 Ton	0.350 Ton	0.387 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1216.07 gr	1216.67 gr	1215.43 gr	1219.57 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1216.97 gr	1215.77 gr	1216.87 gr	1216.80 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1197.53 gr	1170.73 gr	1138.00 gr	1098.80 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1218.90 gr	1220.93 gr	1222.17 gr	1224.40 gr
ÁCIDO SULFÚRICO	Resistencia a Compresión Diametral	2.11 kg/cm2	2.79 kg/cm2	2.98 kg/cm2	1.42 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	2.98 kg/cm2	3.48 kg/cm2	4.42 kg/cm2	2.90 kg/cm2
	Deformación	2.77 mm	2.60 mm	3.00 mm	4.10 mm	Deformación	2.60 mm	3.06 mm	3.12 mm	3.03 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.223 Ton	0.298 Ton	0.320 Ton	0.152 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.318 Ton	0.373 Ton	0.473 Ton	0.312 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1219.40 gr	1218.17 gr	1217.23gr	1216.87 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1219.07 gr	1216.67 gr	1215.27 gr	1220.20 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1232.57 gr	1249.33 gr	1267.47 gr	1284.30 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1220.27 gr	1220.37 gr	1221.47 gr	1226.93 gr
ÁCIDO CLORHÍDRICO	Resistencia a Compresión Diametral	4.53 kg/cm2	3.79 kg/cm2	3.77 kg/cm2	2.77 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	3.91 kg/cm2	2.62 kg/cm2	3.73 kg/cm2	2.88 kg/cm2
	Deformación	3.48 mm	3.23 mm	3.33 mm	4.43 mm	Deformación	3.28 mm	2.98 mm	3.05 mm	3.08 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.485 Ton	0.407 Ton	0.407 Ton	0.298 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.420 Ton	0.282 Ton	0.402 Ton	0.310 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1216.57 gr	1217.37 gr	1216.87 gr	1220.60 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1221.83 gr	1218.17 gr	1217.87 gr	1216.70 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1229.73 gr	1245.26 gr	1252.87 gr	1262.77 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1223.60 gr	1222.13 gr	1222.83 gr	1222.77 gr
ÁCIDO ACÉTICO	Resistencia a Compresión Diametral	2.56 kg/cm2	1.13 kg/cm2	0.99 kg/cm2	1.17 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	3.17 kg/cm2	3.42 kg/cm2	2.80 kg/cm2	2.64 kg/cm2
	Deformación	2.67 mm	3.57 mm	4.17 mm	3.83 mm	Deformación	2.52 mm	3.02 mm	2.92 mm	3.10 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.275 Ton	0.122 Ton	0.106 Ton	0.126 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.342 Ton	0.368 Ton	0.302 Ton	0.283 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1215.10 gr	1216.77 gr	1217.40 gr	1212.20 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1215.40 gr	1216.10 gr	1217.37 gr	1216.83 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1231.80 gr	1245.53 gr	1235.40 gr	1227.80 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1216.50 gr	1219.30 gr	1223.10 gr	1223.47 gr
SOSA CÁUSTICA	Resistencia a Compresión Diametral	3.86 kg/cm2	3.61 kg/cm2	2.51 kg/cm2	3.35 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	3.99 kg/cm2	3.86 kg/cm2	2.33 kg/cm2	4.03 kg/cm2
	Deformación	2.77 mm	3.87 mm	2.68 mm	2.97 mm	Deformación	2.83 mm	4.15 mm	2.99 mm	3.15 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.415 Ton	0.387 Ton	0.268 Ton	0.360 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.428 Ton	0.415 Ton	0.250 Ton	0.433 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1216.60 gr	1216.53 gr	1212.10 gr	1218.07 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1217.57 gr	1219.10 gr	1215.63 gr	1217.00 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1236.40 gr	1252.63 gr	1240.83 gr	1252.27 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1218.57 gr	1222.40 gr	1220.60 gr	1224.53 gr
AGUA.	Resistencia a Compresión Diametral	4.77 kg/cm2	4.10 kg/cm2	4.18 kg/cm2	5.63 kg/cm2	Resistencia a Compresión Diametral	2.72 kg/cm2	2.89 kg/cm2	4.11 kg/cm2	4.99 kg/cm2
	Deformación	2.97 mm	3.60 mm	3.60 mm	4.07 mm	Deformación	2.57 mm	2.65 mm	2.75 mm	3.02 mm
	Carga Máxima de ruptura.	0.510 Ton	0.440 Ton	0.450 Ton	0.607 Ton	Carga Máxima de ruptura.	0.292 Ton	0.310 Ton	0.440 Ton	0.537 Ton
	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1218.25 gr	1219.30 gr	1220.90 gr	1217.50 gr	Peso inicial (Antes de Inmersión).	1217.45 gr	1215.70 gr	1215.50 gr	1216.60 gr
	Peso final (Después de Inmersión).	1236.70 gr	1245.20 gr	1245.10 gr	1259.75 gr	Peso final (Después de Inmersión).	1218.40 gr	1218.00 gr	1220.20 gr	1222.95 gr



### ***Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos***

Una vez que se concluye el proceso de exposición de las probetas en las sustancias agresivas, los residuos de las sustancias en los recipientes que contenían las probetas son devueltas a los porrones, donde se encontraban inicialmente.

Cuando se procedió a devolver los residuos de las sustancias al proveedor de las mismas, nos hizo saber que existe una entidad acreditada por la SEMARNAT, encargada de la captación de todo tipo de residuos y materiales peligrosos.

Esta empresa se encarga de realizar los siguientes tratamientos dependiendo de la naturaleza de las sustancias:

NEUTRALIZACIÓN.- En el caso del Ácido Clorhídrico y el Ácido Acético.

RECICLAJE.- En el caso del Ácido Sulfúrico.

CONFINAMIENTO .- En el caso de la Sosa Cáustica.

Es decir aquellas sustancias, que es posible neutralizar con la aplicación de algún otra sustancia para desactivar sus propiedades corrosivas, se procede a hacer esta acción, también aquellas sustancias las que son posibles de reutilizar son tratadas por procesos químicos para lograr que estos puedan ser empleados nuevamente.

En el peor de los casos aquellos residuos los cuales no es posible neutralizar ni reciclar son confinados a un cementerio de residuos peligrosos, tal como nos lo hicieron saber los encargados de la empresa receptora de los residuos generados en el Laboratorio de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, en la unidad de Pavimentos.

La misma empresa receptora, nos entrego un documento denominado “Manifiesto de entrega, Transporte y Recepción de Residuos Peligrosos”, el cual contiene 3 partes que son y constan de:

1: GENERADOR.- Donde aparecen los datos de la empresa generadora de los residuos peligrosos, además una descripción de los mismos .

2: TRANSPORTISTA.- Donde aparecen los datos de la empresa que se encargara de transportar los residuos, hasta el lugar donde se traten las sustancias es decir se neutralicen, se reciclen o definitivamente se confinen.

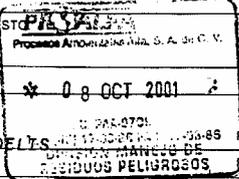
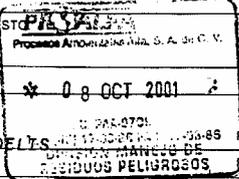
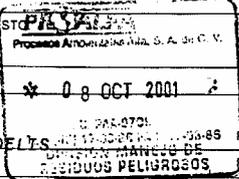
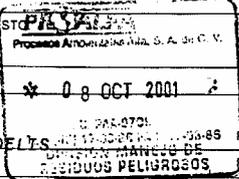
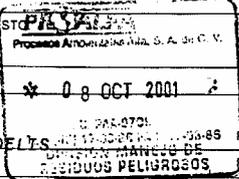
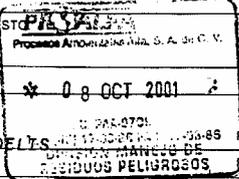
3: DESTINATARIO.- En esta sección aparecen los datos de la empresa receptora que se encargara de procesar los residuos.

Es pues así como en los párrafos anteriores se describe el proceso que se debe seguir para la eliminación de residuos peligrosos y el cual deben seguir todas aquellas empresas que generen este tipo de residuos.



SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA  
DIRECCION GENERAL DE MATERIALES,  
RESIDUOS Y ACTIVIDADES RIESGOSAS

MANIFIESTO DE ENTREGA, TRANSPORTE Y RECEPCION  
DE RESIDUOS PELIGROSOS

<b>G</b>	No DE REGISTRO AMBIENTAL	No MANIF GENERADOR	No MANIF DESTINATARIO <b>No. 1854/01</b>	PAGINA																																																																																													
<b>E</b>	RAZON SOCIAL DE LA EMPRESA <b>SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES</b>																																																																																																
	DOMICILIO Y C.P. <b>AV. UNIVERSIDAD Y XOLA S/N. COL. NARVARTE</b>																																																																																																
	MPIO <b>MEXICO, D.F.</b>	EDO <b>D.F.</b>	TEL																																																																																														
	<b>MEXICO, D.F.</b>																																																																																																
<b>N</b>	DESCRIPCION (Nombre del Residuo)	CRETIB	TRATAMIENTO	CONTENEDOR CAPACIDAD TIPO	CANTIDAD TOTAL DE RESIDUOS	UNIDAD VOL/PESO																																																																																											
	ACIDO MURIARICO	T.I.	NEUTRALIZACION		10	LTS.																																																																																											
	ACIDO ACETICO	T.I.	NEUTRALIZACION		3	LTS.																																																																																											
	ACIDO SULFURICO	T.I.	RECICLAJE		18	LTS.																																																																																											
	SOSA LIQUIDA	T.I.	CONFINAMIENTO		18	LTS.																																																																																											
<b>R</b>	INSTRUCCIONES ESPECIALES E INFORMACION ADICIONAL PARA EL MEANEJO SEGURO: UTILIZAR EQUIPO DE SEGURIDAD																																																																																																
	CERTIFICACION DEL GENERADOR: DECLARO QUE EL CONTENIDO DE ESTE LOTE ESTA TOTAL Y CORRECTAMENTE DESCRITO MEDIANTE EL NOMBRE DEL RESIDUO, CARACTERISTICAS CRETIB, BIEN EMPACADO, MARCADO Y ROTULADO, Y QUE SE HAN PREVISTO LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA SU TRANSPORTE POR VIA TERRESTRE DE ACUERDO A LA LEGISLACION NACIONAL VIGENTE.																																																																																																
	NOMBRE Y FIRMA DEL RESPONSABLE: <u>ING. Fco. JAVIER R. RAEZ AUDBANE</u>																																																																																																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>T</b></td> <td colspan="5">NOMBRE DE LA EMPRESA TRANSPORTADORA: <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. TEL: (91 42) 17-05-57</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><b>R</b></td> <td colspan="5">DOMICILIO: <b>CALLE 2 NUM. 8, FRACC. IND. BENITO JUAREZ, QUERETARO, QRO.</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">No. DE REG. S.C.T. <b>22101012</b></td> <td colspan="3">AUTORIZACION SEMARNAT: <b>22-14-PS-U-01-94</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO PARA SU TRANSPORTE:</td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><b>A</b></td> <td colspan="2">NOMBRE: <b>AMADO MEJIA MEJIA.</b></td> <td colspan="2">CARGO: <b>CHOFER</b></td> <td style="text-align: center;"><b>A. Mejia</b> FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">FECHA DE EMBARQUE: <b>08 / 10 / 01</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><b>S</b></td> <td colspan="5">RUTA DE LA EMPRESA GENERADORA HASTA SU ENTREGA: <b>MEXICO, D.F./QUERETARO, QRO.</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TIPO DE VEHICULO <b>CAMIONETA FORD</b></td> <td colspan="3">No. DE PLACA <b>ST 00308</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>D</b></td> <td colspan="5">NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><b>E</b></td> <td colspan="5">DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO</td> </tr> <tr> <td rowspan="4"><b>S</b></td> <td colspan="5">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b></td> <td colspan="2">CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b></td> <td style="text-align: center;"><b>[Firma]</b> FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>						<b>T</b>	NOMBRE DE LA EMPRESA TRANSPORTADORA: <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. TEL: (91 42) 17-05-57</b>					<b>R</b>	DOMICILIO: <b>CALLE 2 NUM. 8, FRACC. IND. BENITO JUAREZ, QUERETARO, QRO.</b>					No. DE REG. S.C.T. <b>22101012</b>		AUTORIZACION SEMARNAT: <b>22-14-PS-U-01-94</b>			RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO PARA SU TRANSPORTE:					<b>A</b>	NOMBRE: <b>AMADO MEJIA MEJIA.</b>		CARGO: <b>CHOFER</b>		<b>A. Mejia</b> FIRMA	FECHA DE EMBARQUE: <b>08 / 10 / 01</b>					<b>S</b>	RUTA DE LA EMPRESA GENERADORA HASTA SU ENTREGA: <b>MEXICO, D.F./QUERETARO, QRO.</b>					TIPO DE VEHICULO <b>CAMIONETA FORD</b>		No. DE PLACA <b>ST 00308</b>			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>D</b></td> <td colspan="5">NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><b>E</b></td> <td colspan="5">DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO</td> </tr> <tr> <td rowspan="4"><b>S</b></td> <td colspan="5">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b></td> <td colspan="2">CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b></td> <td style="text-align: center;"><b>[Firma]</b> FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____</td> </tr> </table>					<b>D</b>	NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b>					<b>E</b>	DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b>					TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b>					RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO					<b>S</b>	OBSERVACIONES:										NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b>		CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>		<b>[Firma]</b> FIRMA	FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____			
<b>T</b>	NOMBRE DE LA EMPRESA TRANSPORTADORA: <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. TEL: (91 42) 17-05-57</b>																																																																																																
<b>R</b>	DOMICILIO: <b>CALLE 2 NUM. 8, FRACC. IND. BENITO JUAREZ, QUERETARO, QRO.</b>																																																																																																
	No. DE REG. S.C.T. <b>22101012</b>		AUTORIZACION SEMARNAT: <b>22-14-PS-U-01-94</b>																																																																																														
	RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO PARA SU TRANSPORTE:																																																																																																
<b>A</b>	NOMBRE: <b>AMADO MEJIA MEJIA.</b>		CARGO: <b>CHOFER</b>		<b>A. Mejia</b> FIRMA																																																																																												
	FECHA DE EMBARQUE: <b>08 / 10 / 01</b>																																																																																																
<b>S</b>	RUTA DE LA EMPRESA GENERADORA HASTA SU ENTREGA: <b>MEXICO, D.F./QUERETARO, QRO.</b>																																																																																																
	TIPO DE VEHICULO <b>CAMIONETA FORD</b>		No. DE PLACA <b>ST 00308</b>																																																																																														
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>D</b></td> <td colspan="5">NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3"><b>E</b></td> <td colspan="5">DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b></td> </tr> <tr> <td colspan="5">RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO</td> </tr> <tr> <td rowspan="4"><b>S</b></td> <td colspan="5">OBSERVACIONES:</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">  </td> </tr> <tr> <td colspan="2">NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b></td> <td colspan="2">CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b></td> <td style="text-align: center;"><b>[Firma]</b> FIRMA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____</td> </tr> </table>					<b>D</b>	NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b>					<b>E</b>	DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b>					TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b>					RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO					<b>S</b>	OBSERVACIONES:										NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b>		CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>		<b>[Firma]</b> FIRMA	FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____																																																					
<b>D</b>	NOMBRE DE LA EMPRESA <b>PROCESOS AMBIENTALES ALFA, S.A. DE C.V. AUTORIZACION SEMARNAT: 22-14-PS-U-01-94</b>																																																																																																
<b>E</b>	DOMICILIO: <b>CALLE 2 No. 8, FRACC. IND. B. JUAREZ QUERETARO, QRO.</b>																																																																																																
	TELS. <b>(42) 17-0557 17-0141</b>																																																																																																
	RECIBI LOS RESIDUOS DESCRITOS EN EL MANIFIESTO																																																																																																
<b>S</b>	OBSERVACIONES:																																																																																																
																																																																																																	
	NOMBRE: <b>ING. ALEJANDRO MOISIDE</b>		CARGO: <b>DIR. MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS</b>		<b>[Firma]</b> FIRMA																																																																																												
	FECHA DE RECEPCION: _____ DIA _____ MES _____																																																																																																

## Bibliografía

---

[Asphalt Institute; 1992] Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

[D.G.A.F. y Dptos. de Autotransporte Federal ( S.C.T ); 2000] Sistema Integral de Información de Autotransporte Federal.

[F. S Rostler and R.M White; 1962] Composición and Changes in composition of Highway Asphalts, 85 – 100 Penetración Grade. Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologist, Vol. 31, pp. 35 – 89.

[GENIUM'S Handbook of Safety, Health, and Enviromental Data for Common Hazardous Substances; 1999] Mc. Graw Hill U.S.A.

[Harold A. Wittcoff, Bryan G. Reuben; 1985] Productos Químicos Orgánicos Industriales, Vol 1. Primera Edición. Ed. LIMUSA.

[H. E. Schweyer and E.L, Chipley; 1967] Composición Studies on Asphalt Cements: A progress Report High way Research Record No. 178, pp 30 – 59.

[H. E. Schweyer and R.N Traxler; 1953] Separating Asphalt Materials Butanol – Acetone Method. Oil Gas Journal, Vol. 52, pp 133.

[Hoja de datos de Seguridad, Ácido Acético; 2001] Dirección Internet, pp 1-4 <http://www.monfel.com/HDS/Ácido%20acético%20glacial.html>.

[Hoja de Seguridad III, Ácido Clorhídrico; 2001] Dirección Internet, pp 1-5 <http://www.fquim.unam.mx/html/portales/Seguridad/hojas/hoja3.html>.

[Hoja de Seguridad II, Hidróxido de Sodio Sosa Cáustica; 2001] Dirección Internet pp 1-5 <http://www.fquim.unam.mx/html/portales/seguridad/hojas/hoja2.html>.

[H. Plancher, E.L. Green, and J.C. Petersen; 1976] Reduction of Oxidative Hardening of Asphalts by Treatment with hydrated Lime Mechanistic Study Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologist, Vol.45, pp. 1- 24.

[James G. Speight; 1991] The Chemistry and Technology of Petroleum Second Edition Marcel Decker Inc.

[J. W. Coock; 1950] J. Am . Chem. Soc, pp 1210 – 1219.

[J. W Ramsey, F.R. Mc Donald, and J.C. Petersen; 1967] Structural Study of Asphalt by Nuclear Magnetic Resonance. Industrial and Engineering Chemistry, Product Research and Development, Vol. 6, pp 231 – 236.

[J. Y. Welborn , F.R. Oglio, and J.A. Zenewitz; 1966] A study of Viscosity – Graded Asphalt Cements Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologist, Vol. 35, pp 19 – 60.

[L. W. Corbett; 1969] Composition of Asphalt Based on Generic Fractionation Using Solvent Deasphalting, Elution – Adsorption Chromatography, and Densimetric Characterization. Analytical Chemistry, Vol. 41, pp 576 – 579.

[L. W. Corbett; 1967] Densimetric Method for Characterizing Asphalt. Analytical Chemistry, Vol. 36.

[Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros; 1991] Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes . Documento técnico 1. Coordinación de Infraestructura. A. Rico R; J.M. Orozco, R. Téllez G. Y A. Pérez G.

[Manual de Operación y Mantenimiento Máquina de Compresión Mecánica Versa Tester].

[Maury Schlossman, Wesley, a Parker, Lewis C. Yen; 1994] Chemtech, February, pp 41- 46.

[Milton L. Lee, Bob, W. Wright;1980 ] Chromatographic. Scr, pp 345 – 358

[ NOM – 010 – STP ; 1998] Condiciones de Seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente.

[Normas NLT; 1992] Volumen I.-Ensayos de carreteras, 2ª edición, Madrid 1992: Centro de Estudios y Experimentos de Obras Públicas (CEDEX). Gabinete de Formación y Documentación. Editorial CEDEX.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991] Contenido óptimo de asfalto. “Método Marshall para el proyecto de mezclas asfálticas”. Inciso 012-D.05.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I; 1991 ] “Determinación de Absorción y Densidad de materiales pétreos”.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991] “Determinación del contenido de asfalto y granulometría en mezclas asfálticas mediante lavado por centrifugado”. Inciso 012 – I.04.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 1; 1991] “Determinación de la forma de las partículas de materiales pétreos”. Capítulo 110-15.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I; 1991] “Determinación de la Granulometría” Capítulo 110-9.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos I; 1991] “Determinación del Peso Volumétrico”. Capítulo 109-12.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 2; 1991] “Prueba de desgaste Los Ángeles”. Capítulo 110-13.

[Normas S.C.T. Libro 6, Pavimentos II, Tomo 1; 1991] “Viscosidad Saybolt – Furol en cementos asfálticos”. Inciso 011 -C. 03.

[Oil and Gas Journal; 1992] June 8, pp 30-31.

[Productos Tóxicos Corrosivos Gases Tóxicos, Clase 26 Ácido Sulfúrico; 2001] Dirección Internet, pp 29 – 31 <http://www.emersis.org/apuntes/toxicorr.html>.

[Ronald F. Probst, R . Edwin Hicks; 1982] Synthetic Fuels. Second Edition. Mc Graw Hill Book Co.

[Ronald L. Williams, Joseph M. Perez, Margaret E. Griffing; 1985] SAE Technical Series 85 2081.

[The Merk Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals; 1983] Tenth Edition. Merk and Co; INC. Rahway, NJ; U.S.A.

[W. R West, Philip A. Smith, Gary M. Booth, Stephen A. Wise, Milton Lee; 1985] Arch. Environ. Contam, pp 241 – 249.

<http://inegi.gob.mx>

[http://www.uned.es/cristamene/min\\_descr/grupos/anfibol/anfib\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamene/min_descr/grupos/anfibol/anfib_gr.htm)

<http://www.uned.es/cristamine/fichas/calcita/calcita.htm>

[http://www.uned.es/cristamine/min\\_descr/grupos/feldespatos/feldespatos\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamine/min_descr/grupos/feldespatos/feldespatos_gr.htm)

[http://www.uned.es/cristamine/min\\_descr/grupos/olivino/olivino\\_gr.htm](http://www.uned.es/cristamine/min_descr/grupos/olivino/olivino_gr.htm)

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683  
Col. Mixcoac  
03730, México, D. F.  
Tel. (55) 56 15 35 75  
55 98 52 18  
Fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

Km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro.  
Tel. (442) 2 16 97 77  
2 16 96 46  
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)