PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO

"CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS ECUATORIANOS TANTO CONVENCIONALES COMO MODIFICADOS MEDIANTE EL MÉTODO UNIVERSAL DE CARATERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL®)"

AUTORAS:

DEL POZO PÁEZ MARÍA DOLORES

PALACIO LUDEÑA VANESSA MERCEDES

DIRECTOR:

ING. JOSÉ SALVADOR U.

QUITO, 2003

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS ECUATORIANOS TANTO CONVENCIONALES COMO MODIFICADOS MEDIANTE EL MÉTODO UNIVERSAL DE CARATERIZACIÓN DE LIGANTES (UCL®)”

_____

Ing. José Salvador U.

DIRECTOR DE TESIS

_____

_____

Ing. Gustavo Yánez Ing. Fredi Paredes

CORRECTOR CORRECTOR

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ELEMENTO	Nº	DESCRIPCIÓN	Pág.
CAPÍTULO 1			
Foto	1.1	Magnabond 2700	13
Foto	1.2		14
Foto	1.3	Dosificación del aditivo	14
Foto	1.4		15
Tabla	1.5	Proceso de mezclado	15
Foto	1.6		16
Foto	1.1	Polímero SBR (70% sólidos)	16
Foto	1.7		18
Foto	1.8	Dosificación del polímero	18
Foto	1.9		19
Gráfica	1.10	Proceso de mezclado	21
Gráfica	1.11		22
	1.1	Tipos de granulometría	26
ANEXO 1	1.2	Porcentaje de asfalto	30
Tabla		Peso por briqueta	
Figura		Control de temperaturas	
Mapa			
Mapa		Compactación de briquetas	
Figura	1.1		205
Mapa	1.1	Desmolde de briquetas	211
	1.1		217
	1.2	Curva de estado	226
ANEXO 2	1.2		232
	1.3	Curva de envejecimiento	236
Figura			
Figura			
Figura			
Gráfica			
Gráfica	2.1		269
	2.2	Clasificación del petróleo	270
	2.3		276
Figura	2.1	Perforación en la producción primaria	277
Figura		Oleoductos del Ecuador	
	2.2		279
ANEXO 3		Oleoducto de crudos pesados	
Figura	2.4	Refinación del petróleo	285

Figura	2.5	Refinerías del Ecuador	291
Figura			
	3.1		302
	3.2	Composición química del asfalto	304
	3.3		321
		Macroestructura de los asfaltenos	
		Comportamiento del asfalto	
		Relación viscosidad temperatura de un cemento asfalto	
		Curva de susceptibilidad térmica de cementos asfálticos	
		Oxidación del asfalto	
		Durabilidad y envejecimiento del asfalto	
		Relación viscosidad temperatura	
		Estructura del los polímero	
		Beneficios de los aditivos adherencia	

ÍNDICE

GENERALIDADES 1
Introducción 2
Objetivos 3

CAPÍTULO 1

MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES

1.1. Introducción 5
1.2. Definición del método 6
1.3. Justificación del método 7
8
1.4. Descripción del método 9
10
1.5. Criterio de la clasificación del método 11
12
1.6. Características de los materiales empleados 13
13
1.6.1. Áridos 16
1.6.2. Ligantes 17
1.6.2.1. Proceso de modificación del asfalto 22
23
1.7. La mezcla patrón 24
25
1.7.1. Preparación de probetas para el ensayo Marshall 26
28
1.8. Alcance del método 30
33
1.9. Propiedades evaluadas

1.9.1. Cohesión o poder aglomerante

1.9.2. Susceptibilidad térmica

1.9.3. Adhesividad
1.9.4. Envejecimiento
1.10. Desarrollo del trabajo experimental

1.11. Ejecución del ensayo cántabro

CAPÍTULO 2

RESULTADOS

2.1. Agregados 35

2.2. Ligantes asfálticos 36

44

2.2.1. Asfalto convencional 46

63

2.2.2. Asfalto aditivado 80

97

2.2.3. Asfalto aditivado - polimerizado 99

2.3. Selección de granulometría 104

108

2.3.1. Agregado de la mina de Pifo 111

122

2.3.2. Agregado de la mina de Guayllabamba 133

2.4. Evaluación de las pérdidas por desgaste

2.4.1. Asfalto convencional

2.4.2. Asfalto aditivado

2.4.3. Asfalto aditivado - polimerizado

144

145

147

152

CAPÍTULO 3 161

174

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Características de los cementos asfálticos

3.2. Cohesión

3.3. Adhesividad

3.4. Susceptibilidad térmica 185

186

3.5. Envejecimiento 189

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones 192

Recomendaciones 193

194

197

ANEXO 1 201

EL PETRÓLEO 202

1.1. Introducción 204
1.2. Definición 205
1.3. Origen 208
1.4. Composición 209
1.5. Características 212
1.6. Tipos de petróleo 214
1.7. Exploración y prospección 216
1.8. Perforación 230
1.8.1. Perforación en la producción primaria 231
1.8.2. Recuperación mejorada del petróleo 237
1.8.3. Perforación submarina 239
1.9. Almacenamiento y transporte 242
1.10. Refinación 246
1.10.1. Destilación básica, primaria o atmosférica 246
1.10.2. Refinería Estatal de Esmeraldas 248
1.10.3. Refinería La Libertad
1.10.4. Complejo Industrial Shushufindi
1.11. Asfalto de producción nacional
1.11.1. Características
1.11.2. Usos

ANEXO 2 249

EL ASFALTO 250

2.1. Origen 257
2.2. Asfaltos naturales 262
2.3. El asfalto derivado del petróleo 264
265

2.4. Obtención de asfaltos en refinerías 265
266
2.4.1. Destilación primaria 266
269
2.4.2. Destilación al vacío 271
272
2.4.3. Desasfaltización con propano butano 274
277
2.5. Composición química 278
2.5.1. Los asfaltenos 282
284
2.5.2. Los maltenos 287
2.5.3. Las resinas y los aceites 288
2.6. Propiedades reológicas y comportamiento en servicio
2.6.1. Influencia de la temperatura en la viscosidad 292
2.6.2. La susceptibilidad térmica del cemento asfáltico 294
2.7. Durabilidad
2.7.1. Factores que afectan la durabilidad
2.7.2. Envejecimiento del cemento asfáltico durante el proceso de mezclado en planta
2.7.3. Proceso de envejecimiento del cemento asfáltico en el pavimento
2.7.4. Efecto del envejecimiento del cemento asfáltico en las propiedades reológicas
2.7.5. Métodos de ensayo para medir la durabilidad del cemento asfáltico

ANEXO 3

ASFALTO MODIFICADO

3.1. Introducción 296
297
3.2. Objetivo de la modificación 298
299
3.3. Beneficios que se buscan con la modificación el asfalto 301
303
3.4. La mezcla asfáltica ideal 303

3.5. Polímeros 304
3.5.1. Introducción 305
3.5.2. Estructura de los polímeros 306
3.5.3. Síntesis 308
3.6. Clasificación de los polímeros 308
3.6.1. Termo-endurecibles 312
3.6.2. Termo-plásticos 313
3.7. Propiedades de los polímeros 313
3.7.1. Peso molecular 314
3.7.2. Propiedades mecánicas 315
3.7.3. Influencia de la temperatura 316
3.7.4. Durabilidad 318
3.8. Aditivos 319
3.9. Los aditivos para polímeros 322
3.10. Beneficios de usar aditivos de adherencia 324
3.11. Magnabond 2700 325
3.11.1. Especificaciones del Magnobond 2700 327
3.12. Compatibilidad 328
3.12.1. Polímeros compatibles
3.12.2. Evaluación de la compatibilidad

BIBLIOGRAFÍA 329

Generalidades

Introducción

Objetivos

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el Ecuador, la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de tecnología en el área de los pavimentos asfálticos ha tenido un avance muy lento ya que se siguen realizando las mismas prácticas de mucho tiempo atrás.

Por otro lado, los diseños de las mezclas asfálticas se han visto limitadas a un solo tipo de mezcla, situación que para unos casos funciona de una manera adecuada y para otros no. Por último, los materiales empleados y los procedimientos de construcción no siempre tienen o cumplen con especificaciones que, bajo un buen control de calidad,

garanticen una alta durabilidad de los pavimentos dentro de los rangos aceptables de confiabilidad.

El conocer las características del ligante asfáltico con los agregados, mediante el método UCL permitirá evaluar las propiedades de un ligante en su condición inicial como en condiciones de servicios.

Esta investigación busca implementar una nueva alternativa segura, rápida y efectiva para la caracterización del ligante asfáltico, la cual beneficiara a la comunidad interesada en el área de vías y como un incentivo para el desarrollo de nuevas alternativas en el área de pavimento de la PUCE. Además se pretende dar la iniciativa para que se continúen

realizando investigaciones que nos permitan ampliar el conocimiento de este ámbito y estar en un nivel competitivo con otros países.

OBJETIVOS

La presente investigación tiene como objetivo general analizar el comportamiento del asfalto convencional 60-70, el mismo que será modificado con polímero tipo SBR y aditivado con un promotor de adherencia, por medio del método UCL®, con el fin de evaluar las propiedades de los ligantes como son cohesión, adherencia, envejecimiento y susceptibilidad térmica a través de las curvas de estado y envejecimiento.

Así mismo se pretende conocer las ventajas que ofrece el Método UCL® en relación con los métodos de caracterización utilizados actualmente en nuestro país.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el agregado mineral a emplearse en la fabricación de la mezcla patrón ha realizarse con el asfalto convencional 60-70.

- Caracterizar de una forma sencilla y completa los tres tipos de asfaltos a utilizarse, y determinar cuál es el más idóneo, con un pétreo de referencia.

- Estudiar el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas bituminosas, empleando la máquina de los ángeles.

Para el desarrollo de la investigación se empleó un asfalto convencional 60-70 proporcionado por la empresa CHOVA DEL ECUADOR, el cual fue modificado con el aditivo de adherencia Magnabond 2700 y el polímetro SBR (70 % sólidos), los cuales fueron proporcionados por BREM Cía. Ltda.

Los agregados pétreos, los cuales son seleccionados de acuerdo a su disponibilidad, provienen de la mina de Guayllabamba.

CAPÍTULO 1

Método Universal de

Caracterización de Ligantes

Introducción

Definición del método

Justificación del método

Descripción del método

Criterio de la clasificación del método UCL

Características de los materiales empleados

La mezcla patrón

Alcance del método

Propiedades evaluadas

Desarrollo del trabajo experimental

Ejecución del ensayo Cántabro

¶

¶

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.

¶

~~1.2. INTRODUCCIÓN¶~~

¶

El asfalto convencional que se produce en el Ecuador y el cual es utilizado tanto en la construcción como rehabilitación de vías, hasta hace un tiempo tenían una aceptable respuesta ante las acciones del clima y del transito. Sin embargo, el constante aumento de solicitaciones debidas al mayor número de cargas por eje, a la mayor presión de inflado, a las mayores velocidades, la heterogeneidad del producto asfáltico, la calidad de

los agregados, etc., hace que se requiera considerar la interacción de los agregados como elemento fundamental para caracterizar al ligante.

Existen distintas técnicas— de base empírica y científica de caracterización de cementos asfálticos, entre ellas se pueden mencionar los métodos empíricos tradicionales y los mas recientes desarrollados por el proyecto SHRP, los cuales son métodos indirectos que no valoran la propiedad fundamental de los ligantes asfálticos, su capacidad para envolver y aglomerar los agregados.

Recientemente han aparecido nuevas técnicas que tratan de reproducir los procesos de transformación que sufren los ligantes ~~bituminosos~~ asfálticos cuando se degradan por envejecimiento en las

mezclas, contemplándose así no solo la variación de sus características intrínsecas sino también la influencia ejercida por la interacción con los agregados y el filler. Una de éstas técnicas es la desarrollada por el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), la cual se basa en una valoración directa y sencilla de la cohesión que los ligantes asfálticos proporcionan a la mezcla y su variación con la temperatura, humedad y envejecimiento.

Ésta técnica es conocida como el método UCL® cuyas siglas significan “Universal de Caracterización de Ligantes”, registrado por los doctores Félix Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens, basado y fundamentado en el ensayo Cántabro de abrasión por desgaste, para evaluar la respuesta funcional de los asfaltos.

¶

¶

¶

1.2. ~~Đ~~DEFINICIÓN DEL MÉTODO

¶

El método UCL se ha desarrollado enfocando la caracterización de los ligantes tanto en su condición inicial, es decir en mezcla nueva, como en situación de ligante envejecido, incluyendo el transcurso entre estos dos estados, además esta orientado desde el punto de vista de su utilización de carreteras; donde no se ha tenido en cuenta su consistencia, su composición, su viscosidad, sino aquellas propiedades que están

relacionadas con el comportamiento de la mezcla en obra~~el firme~~.

Además el método ofrece un novedoso procedimiento de selección de ligantes, el cual se basa en las siguientes premisas:

- Diferenciar y valorar el comportamiento de ligantes convencionales de similares características ~~convencionales~~.

- Poner de manifiesto las diferencias de comportamiento de diversos asfaltos modificados, comparándolos con los asfaltos convencionales.

¶

¶

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO

Las limitaciones e inquietudes existentes con los métodos actualmente empleados para caracterizar los ligantes asfálticos fueron las que conllevaron a la investigación de éste método, aplicándolo en el estudio de las propiedades adherentes de los ligantes asfálticos. Los ensayos comúnmente utilizados para la caracterización de los asfaltos convencionales y modificados, son los de punto de ablandamiento, penetración, ductilidad, punto de inflamación, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática y envejecimiento en película delgada. El definir las propiedades reológicas de un asfalto utilizando con este tipo de ensayos, no es lo más adecuado, pues su comportamiento a diferentes temperaturas dependerá, entre otros factores, de su composición química, la cual tiene

que ver con los procesos de destilación y con las propiedades del crudo de procedencia. De tal manera, por ejemplo, no se puede afirmar que dos asfaltos que tienen igual penetración a una temperatura establecida, posean propiedades mecánicas, reológicas y adhesivas iguales.

Se han presentado casos en que un asfalto cumpla las especificaciones de ensayos convencionales y no posea buenas propiedades dentro de la mezcla, ya que en esta se considera ael ligante asfáltico por separado. Este inconveniente se ve resuelto por el método UCL.

¶

1.4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El método UCL consiste de forma muy general en elaborar probetas Marshall de granulometría abierta y someterla al ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles sin ningún tipo de carga abrasiva. Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los áridos más superficiales de la probeta, determinándose tras un número de revoluciones 100, 200 y 300, la pérdida de peso de la probeta referida en tanto por ciento, al peso inicial:

$$P_c = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

¶

De donde:

¶

P_c: pérdidas al cántabro

P_i: peso inicial en gramos

P_f: peso final en gramos

El ensayo cántabro por ser un ensayo experimental, no determina ningún parámetro fundamental de la mezcla, como podría ser el ángulo de rozamiento, el módulo, etc., pero si da una idea clara de la capacidad del ligante para mantener unidos los áridos de la mezcla, como, cuando estas uniones son dúctiles y tenaces, las perdidas son bajas, y cuando se convierten en frágiles o poco consistentes las pérdidas aumentan.

¶

¶

1.5. CRITERIO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO UCL

El método UCL propone un criterio de clasificación de ligantes basado en el análisis de las curvas de estado en función de las pérdidas que definen su fragilidad a bajas temperaturas y su inconsistencia a altas temperaturas, para distintos porcentajes de vacíos, así este método propone los siguientes límites:

- Temperatura de fragilidad, cuando las pérdidas a bajas temperaturas alcanzan el 60 %
- Temperaturas de inconsistencia, cuando las pérdidas a altas temperaturas alcanzan el 75%

Estos dos valores sirven para definir el intervalo de temperaturas en que los ligantes mantienen propiedades de flexibilidad y consistencia adecuadas.

¶

¶

¶

1.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEÁDOS

El poder aglomerante existente en una muestra depende del tipo y propiedades del agregado a utilizarse. Existen otros factores que influyen en la pérdida por desgaste como son:

- Porcentaje de árido fino
- Granulometría del árido fino
- Tipo y naturaleza del árido fino
- Porcentaje de filler
- Tipo y naturaleza de filler
- Granulometría del árido grueso
- Tipo y naturaleza del árido grueso
- Porcentaje de ligantes
- Tipo y naturaleza del ligante
- Temperatura de ensayo

De acuerdo a los autores del método, los primeros cinco factores pueden ser eliminados si se ensayan probetas fabricadas únicamente con el árido grueso y el ligante.

¶

La influencia de la granulometría, tipo y naturaleza del árido grueso, porcentaje de ligante y temperatura de ensayo pueden ser descartadas si se mantienen constantes durante todo el proceso, quedando como única variable el tipo y naturaleza del ligante, de las que dependerán las propiedades de la mezcla

1.6.1. Áridos

~~2.~~ ¶

~~3. Áridos~~¶

¶

Se utilizaron agregados pétreos graníticos de trituración, procedentes de las canteras situadas en Guayllabamba y Pifo en la provincia de Pichincha. De acuerdo a los ensayos realizados el agregado que ~~da~~ menor dispersión presenta es el de la ~~cantera~~ mina de Guayllabamba.

~~El agregado se sometió a los siguientes ensayos, cuyos resultados se describen en el capítulo 5.~~¶

¶

- ~~Granulometría~~¶
- ~~Equivalente de arena~~¶
- ~~Peso específico~~¶

- ~~Abrasión~~¶

¶

~~3.1.1.~~1.6.2. Ligantes

Se utilizaron tres tipos de asfaltos: un asfalto convencional proporcionado por CHOVA del Ecuador, un asfalto aditivado y un asfalto aditivado-polimerizado, donde sus modificadores fueron proporcionados por BREM Cia. Ltda.

¶

~~3.1.1.1. Los ensayos realizados a los tres tipos de asfaltos son:~~¶

¶

- ~~Penetración 25 ºC (0.1 mm)~~¶

- ~~Punto de ablandamiento (ºC)~~¶
- ~~Ductilidad (cm) a 25ºC~~¶
- ~~Recuperación elástica (%)~~¶
- ~~Viscosidad (poises) a 135ºC~~¶
- ~~Envejecimiento en película delgada~~¶
    - ~~Penetración 25ºC (0.1 mm)~~¶
    - ~~Punto de ablandamiento (ºC)~~¶
    - ~~Ductilidad (cm) a 25ºC~~¶
    - ~~Recuperación elástica (%)~~¶

¶

~~3.1.1.2.~~1.6.2.1. ~~1.6.2.1.~~ Proceso de modificación del asfalto

Asfalto aditivado.- Se utilizó un aditivo de adherencia para mezclas asfálticas en caliente, ~~conocido con el nombre de~~ Magnabond 2700.

Foto Nº 1.1. Magnabond 2700~~Foto aditivo~~¶

Se lo incorpora mediante agitación mecánica en una relación del 1% con respecto al peso del asfalto.



Foto Nº 1.2. Dosificación del aditivo

La mezcla se debe realizar a una temperatura ~~que no~~la cual supere a la de mezclado del asfalto convencional (85 ± 10 Segundos Saybolt Furol). El tiempo de mezclado varía de acuerdo a la cantidad de asfalto a mezclar, para la cantidad empleada en esta investigación es de aproximadamente 20 minutos.



Foto Nº 1.3. Proceso de mezclado

¶

¶

Asfalto aditivado – polimerizado.- El polímero utilizado es del tipo elastómero SBR con 0.7 % de sólidos.



Foto Nº 1.4. Polímero SBR (70% Sólidos)

~~Foto polímero~~¶

¶

De acuerdo a las especificaciones del polímero por cada 100 g de asfalto se debe colocar 4.29 g de polímero. Ya que el asfalto a utilizarse es ~~doblemente~~ un asfalto aditivado-polimerizado~~modificado~~ el asfalto base debe estar aditivado previamente.



Foto Nº 1.5. Dosificación del polímero

El tiempo y temperatura de mezclado del asfalto aditivado con el polímero se mantienen iguales que en el caso de la preparación de un asfalto aditivado.



Foto Nº 1.6. Proceso de mezclado

~~1.2.~~1.7. LA MEZCLA PATRÓN

¶

¶

¶

~~LA MEZCLA PATRÓN~~¶

La mezcla patrón se fabrica a partir de uno áridos sanos y limpios. Los autores del método proponen utilizar la granulometría T5 y T10,~~D~~ ~~e acuerdo a~~ otras investigaciones realizadas acerca de éste método en otros países de ~~Europa y~~ América Latina~~, se~~ recomiendan utilizar la ~~las siguientes~~ granulometría T12.~~s:~~

¶

TAMIZ	% PASA		
	T5	T10	T12
1/ 2	100	100	100
3/ 8	100	82	100
Nº 4	100	38	100
Nº 8	20	6	80
Nº 30	0	0	0

Tabla Nº 1.1. Tipos de granulometrías

¶

¶

~~Se recomienda~~De las cuales se debe utilizar la granulometría que menor dispersi~~ó~~ón ~~dé~~ presente en el ensayo cántabro y proporcione un mayor porcentaje de ~~huecos~~ vacíos en la mezcla, lo que facilita la circulación del aire en el ensayo de oxidación y el agua en el ensayo de adherencia.

~~De acuerdo a los ensayos realizados en esta investigación la granulometría que menor dispersión presenta en el ensayo cántabro es la T10.~~¶

¶

TAMIZ	% PASA	% RETIENE	% PARCIAL	PESO/PROBETA
1/2	100	0	0	0
3/8	82	18	18	180
Nº4	38	62	44	440
Nº8	6	94	32	320
Nº30	0	100	6	60

¶

¶

La probeta se fabricará siguiendo el procedimiento Marshall, pero empleando en la compactación únicamente 50 golpes por cara. El peso de los áridos para la elaboración de la probeta ~~suele~~ esser de 1000 gramos, el porcentaje de asfalto es de 4.5 % sobre los áridos.

¶

~~3.2.1.~~1.7.1. Preparación de probetas para el ensayo Marshall

~~**1.7.1. Preparación de probetas para el ensayo Marshall**~~¶

Para la realización de las briquetas se siguió la norma~~Corresponde al ensayo~~ ASTM D-1559.

Número de briquetas.- Como mínimo se prepararan 3 briquetas para cada ensayo.

Cantidad de materiales.- Para cada probeta se necesitan ~~aproximadamente~~ 1000 g de agregados y ~~alrededor de~~ 45 g de asfalto.

Foto Nº 1.7. Porcentaje de asfalto

¶

Preparación de los agregados.- Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105_°C y 110_°C (221_°F y 230_°F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados.



Foto Nº 1.8. Peso por briqueta

¶

Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación.- La temperatura a la cual se calentará el cemento asfáltico para las

mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 85 ±10 Segundos Saybolt Furol (Ver Gráficos 2.2.1.1, 2.2.2.1 y 2.2.3.1).

~~(Ver Capítulo 5).~~ ¶

¶

La temperatura ~~a la cual deberá calentarse~~de compactación será la que t~~el cemento asfáltico para que t~~enga una viscosidad de 140 ± 15 Segundos Saybolt Furol~~, será la temperatura de compactación.~~. (Ver Gráficos 2.2.1.1, 2.2.2.1 y 2.2.3.~~Ver Capítulo 5~~).



Foto Nº 1.9. Control de temperaturas

Preparación de las mezclas.- En bandejas ~~taradas~~ enceradas separadas para cada muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que ésta resulte con una altura de 63.5 ± 1.3 mm. Se calentarán los agregados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C (50°F) por encima de la temperatura de compactación, para mezclas con cemento asfáltico. Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites. A continuación se mezclan los

materiales preferiblemente con mezcladora mecánica, o en su defecto, a mano con espátula. –De todas formas, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. –El asfalto no deberá permanecer a la temperatura de mezcla por más de una hora.

Compactación de las Probetas.- Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collarín, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93°C y 149°C (200°F y 300°F).

Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

Colóquese toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpéese vigorosamente con una espátula ~~o palustre~~ caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos.

¶

Aplíquense 50 golpes, empleando el martillo de compactación con una caída libre de 457 mm (18"). Manténgase el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Retírense la placa de base y el collarín e inviértase; vuélvase a montar el molde, y aplíquese el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.



Foto Nº 1.10. Compactación de briquetas

¶

Después de la compactación, retírese la base y déjese enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Pueden utilizarse ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que se coloque la muestra en una bolsa plástica.

~~Sáquese~~ Retírese la muestra del molde por medio de un gato u otro dispositivo apropiado, luego colóquese en una superficie plana, lisa.



Foto Nº 1.11. Desmolde de briquetas

¶

Las condiciones de ensayo de la probeta varían según la variable estudiada, cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad o envejecimiento.

¶

~~1.3.~~1.8. ALCANCE DEL MÉTODO

~~ALCANCE DEL MÉTODO~~¶

El método UCL propone trazar las curvas de estado de cada ligante (Pérdidas por desgaste vs. Temperatura de probetas), las curvas de envejecimiento (Pérdidas por desgaste vs. Tiempo de envejecimiento de probetas) y la valoración de la pérdida de adherencia con el ensayo cántabro tras inmersión en agua. De esta manera, es posible seleccionar el

ligante que presente mejor comportamiento ante una serie de condiciones de obra preestablecidas.

El método UCL evalúa los ligantes en función de una serie de propiedades que éstos proporcionan a las mezclas:

- Poder aglomerante o cohesión
- Susceptibilidad térmica
- Adhesividad
- Envejecimiento

¶

Es necesario aclarar que el método UCL, no es un método de diseño ni de clasificación de ligantes, sino, como lo indica su nombre, caracteriza y

analiza directamente su respuesta mecánica. Si se lo desea mirar como un método de clasificación éste consistiría en establecer si un ligante pega o no con un pétreo dado, incluso en presencia de agua– y con la evolución del envejecimiento del ligante.

Este método se basa en el ensayo cántabro por desgaste, el cual evalúa la cohesión de la mezcla como una medida indirecta de la pérdida alcanzada.

¶

1.4.1.9. PROPIEDADES EVALUADAS

~~1.3. PROPIEDADES EVALUADAS~~¶

¶

Los parámetros que considera el método UCL son los siguientes:

¶

~~3.4.1.~~1.9.1. Cohesión o poder aglomerante

~~COHESIÓN O PODER AGLOMERANTE~~¶

El empleo de ligantes bituminosos en la construcción de carreteras se debe principalmente a su capacidad para aglomerar los materiales granulares, dando lugar a un material estable y resistente, mezcla bituminosa, adecuado para la construcción de las capas de base y rodadura de los firmes asfálticos, sobre las que circulan los vehículos y camiones con gran comodidad y seguridad, sin deformarlas ni fisurarlas.

Cada aplicación de carga da lugar a un proceso de deterioro. Hay una energía de deterioro que es absorbida en parte en la deformación elástica del material, otra parte se elimina en su deformación plástica y el resto es la que produce su fisuración o rotura.

Es esta propiedad la que verdaderamente nos interesa en la caracterización de un ligante. Por ello se ha definido esta propiedad como una característica fundamental del ligante, y se la ha valorado ha partir de la resistencia a la abrasión que el ligante proporciona a un mezcla patrón, de granulometría y composición definida, mediante el ensayo cántabro en seco a 25º C.

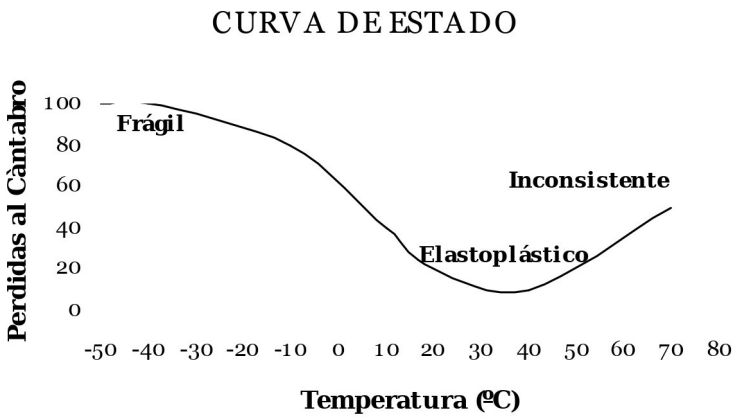
~~3.4.2.~~1.9.2. Susceptibilidad térmica

¶

~~**SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA**~~¶

El asfalto debe su poder aglomerante a su susceptibilidad térmica. Al aumentar su temperatura aumenta su fluidez, lo que le permite mejorar y envolver sus áridos. Al enfriarse, recobra su consistencia manteniendo los áridos unidos. La cohesión proporcionada por el ligante a la mezcla aumenta con su compacidad, y por ello es importante proceder a su compactación cuando el asfalto esta caliente, lo que facilita la aproximación entre las partículas de los áridos.

Si la capacidad del asfalto para mojar y aglomerar a los áridos se debe a su susceptibilidad térmica, su comportamiento en obra también va asociado con ella. A las temperaturas medias de servicio a las que suelen encontrarse la mezcla en la carretera, 15 – 30 ºC, el asfalto tiene un comportamiento visco-elástico y posee una gran ductilidad y tenacidad. Al ir disminuyendo la temperatura el asfalto va aumentando su rigidez, convirtiéndose en un material frágil lo que da lugar, entre otros fallos, a la fisuración de la mezcla por retracción térmica. Cuando aumenta la temperatura del firme, el ligante pierde la consistencia y la mezcla su estabilidad convirtiéndose en un material deformable.



Gráfica Nº 1.1. Curva de estado

¶

~~GRÁFICO~~¶

¶

Para la evaluación de esta propiedad se empleó el ensayo cántabro en seco a -5, 0, 25, 40, 60, 80 ºC.

~~3.4.3.~~ ¶

~~1.3.1. ADHESIVIDAD¶~~

~~3.4.4.~~1.9.3. Adhesividad

Para que un ligante proporcione cohesión a un material granular debe en primer lugar envolver y recubrir a éste quedándose adherido. Si no hay adherencia ~~árido~~árido ligante difícilmente permanecerán las partículas del árido unidas, siendo fácilmente disgregada la mezcla. Esta unión árido ligante que se produce ~~fácilmente~~simplemente cuando el árido esta seco y el ligante tiene consistencia fluida, se puede perder en presencia de agua. El árido tiene mayor avidez por el agua que por el asfalto y poco a poco se va interponiendo entre éste y por el árido, dando lugar a un proceso de desenvuelta.

¶

En el proceso de desenvuelta se ve afectado por muchos factores, entre ellos la acidez y textura de los áridos y la viscosidad y naturaleza del asfalto. Para mejorar la cohesión proporcionada por el asfalto se recurre en el proceso de fabricación de las mezclas a la adición de filler que se mezcla íntimamente con el asfalto, dando lugar al mástico bituminoso, y que presenta una mayor viscosidad y tenacidad que el ligante original. Este efecto beneficioso del filler puede resultar altamente perjudicial en el caso de emplear filleres hidrófilos que tienen una gran avidez por el agua y que aceleran enormemente el proceso de desenvuelta.

Por ello suele limitarse su finura y densidad aparente, con la que esta relacionada su actividad con el agua. Pero esta depende no solo de las

características físicas de las partículas, sino también de su naturaleza química, que no es tenida en consideración en los métodos tradicionales.

Para la evaluación de ésta propiedad se realiza una comparación de resultados obtenidos en la medida de la resistencia al desgaste de probetas mantenidas al aire frente a otro grupo de probetas, fabricadas de igual manera, pero sometidas a condiciones de inmersión durante un determinado tiempo el cual puede ser 4 días a 35 ºC o 1 día a 60ºC.

¶

~~1.3.2. ENVEJECIMIENTO~~¶

~~3.4.5.~~1.9.4. Envejecimiento

El envejecimiento es un fenómeno complejo, en el cual existe una degradación y transformación de los componentes iniciales de cada

ligante, perdiendo éstos sus propiedades en el que influyen mucho las acciones individuales o superpuestas de los rayos ultravioletas del sol, el agua de lluvia, el calor y el aire entre otras. La manifestación más evidente de éste proceso es la rigidización de éste material, traducido esto en una pérdida de la capacidad cohesiva del asfalto.

Esta evolución se inicia con las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de fabricación de las mezclas, estando asociado con las reacciones de oxidación, deshidrogenización y volatilización, sumado a otros fenómenos que se producen durante su vida de servicio, como polimerización o tixotropía. Los ensayos más comunes de laboratorio para valorar el envejecimiento de los ligantes asfálticos se basan en someter al asfalto a unas condiciones similares a las del proceso de fabricación y

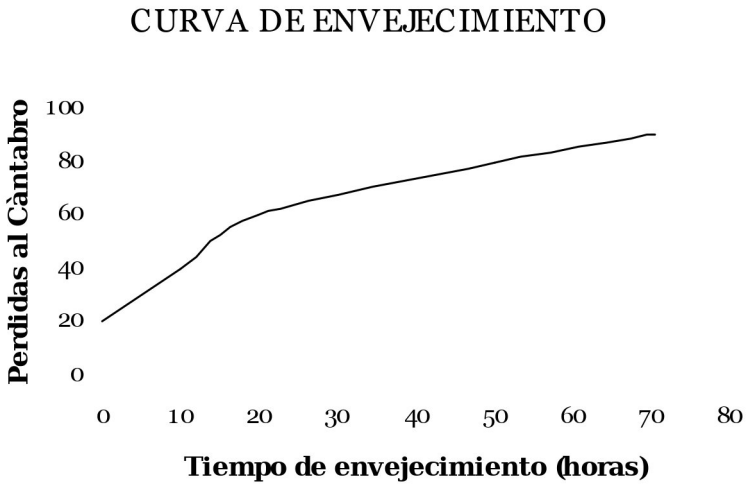
determinar los cambios experimentados en sus propiedades físicas mediante los ensayos convencionales, que muchas veces no permiten evaluarlas con suficiente precisión.

La valoración de la resistencia al envejecimiento de un ligante bituminoso mediante el método UCL se basa en determinar la evolución de la resistencia a la disgregación de una mezcla patrón, pérdidas al cántabro, a medida que se produce su envejecimiento.

La valoración del envejecimiento por el procedimiento desarrollado se diferencia de los existentes en la forma de llevarlo a cabo y en su evaluación:

- El envejecimiento del ligante se hace directamente en la mezcla, en película fina dada la alta porosidad de la granulometría empleada y la ausencia de finos y filler, manteniendo las probetas fabricadas en horno.~~,~~ ~~a~~ Se puede evaluar en diferentes condiciones: manteniendo las briquetas a 163 ºC durante 0 y 24 horas o a 80 ºC durante 0 y 72 horas ~~una temperatura de 80 ºC durante 0, 5, 10, 15, 20 horas~~. El tiempo a envejecerse depende del tipo de asfalto a utilizarse

- La evaluación se hace mediante el ensayo al cántabro de éstas probetas, sin tener que acudir a la recuperación del ligante, dado que en laboratorio se ha observado una correlación entre las pérdidas por desgaste y el envejecimiento del ligante como se ve en la siguiente figura.



Gráfica Nº 1.2. Curva de envejecimiento

~~Figura~~¶

¶

Además, dado que el envejecimiento del ligante se produce cuando está en contacto con el árido, una vez fabricada y compactada la mezcla, el procedimiento permite poner en manifiesto el efecto de la naturaleza de los áridos en el proceso de envejecimiento del ligante.

¶

~~1.5.~~1.10. DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

~~1.4. DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL~~¶

Cohesión.- Para evaluar la cohesión se elaboran 3 briquetas por cada tipo de asfalto, las cuales se mantienen en el horno a una temperatura de 25 ºC durante 24 horas y se las lleva a la máquina de Los Ángeles para ser ensayadas a 100, 200 y 300 revoluciones.

Susceptibilidad Térmica.- Se fabrica 18 briquetas por cada tipo de asfalto, agrupadas en 6 grupos de 3 briquetas cada uno. Cada grupo de

briquetas se mantiene durante 12 horas a las temperaturas de -5, 0, 25, 40, 60 y 80ºC respectivamente.

Debido a la elevada temperatura a la que estarán sometidas las probetas por encima del punto de ablandamiento de los ligantes, podría producirse el desmoronamiento de la misma en el interior del horno, siendo imposible proceder a su ensayo. Es por este motivo que se confinaron las probetas mediante un molde de malla metálica, con una tapa en una de sus caras, con tamaño de malla suficientemente grande para permitir la circulación del aire caliente dentro del horno, y suficientemente pequeño para evitar las posibles pérdidas de material.

~~Previo al ensayo en la máquina de Los Ángeles se mantiene las briquetas durante 24 horas a una temperatura de 25 ºC, luego de lo cual serán ensayadas a 100, 200 y 300 revoluciones.~~¶

¶

Adhesividad.- Se elaboran 3 briquetas por cada tipo de asfalto. Debido a la sensibilidad que éstas presentan frente a la acción del agua, las briquetas fueron colocadas en mallas metálicas para evitar su desmoronamiento. Se pueden evaluar dos condiciones de inmersión, la primera sumergiendo la briqueta un día a 60 ºC siendo ésta la utilizada en esta investigación, y la segunda condición, al sumergir la briqueta durante 4 días a una temperatura de 35 ºC. Acto seguido al período de inmersión, las probetas permanecerán secándose a 25 ºC durante 24 horas, tiempo después del cual se fallarán a 100, 200 y 300 revoluciones.

¶

Envejecimiento.- Con cada tipo de ligante asfáltico, se fabrican 15 briquetas distribuidas en 5 grupos de 3 briquetas cada uno. Un grupo de briquetas se evalúa sin someterlo a ningún período de envejecimiento, con el fin de disponer de una muestra sometida únicamente a las condiciones de mezcla. Los grupos restantes permanecieron durante 5, 10, 15 y 20 horas respectivamente a 80 ºC. Para que cada grupo de briquetas adquieran la temperatura de 80 ºC se mantienen durante 12 horas, a partir de la cual se empieza a contabilizar las horas antes mencionadas.

Ya que todas las briquetas se ensayan sobre el punto de ablandamiento es necesario colocar una malla metálica a cada briqueta para evitar el desmoronamiento de las mismas. Además, en el proceso de

envejecimientote se puede prever gracias a estudios anteriores, que debido a la alta temperatura del ensayo 80 ºC, cada briqueta tendería a formar una estructura cónica, causada por cierto escurrimiento del ligante, creándose una vez enfriada la briqueta, una zona con un mayor contenido de ligante, que presentaba una mayor resistencia a la disgregación que el resto de la briqueta, restándole credibilidad a los resultados obtenidos.

¶

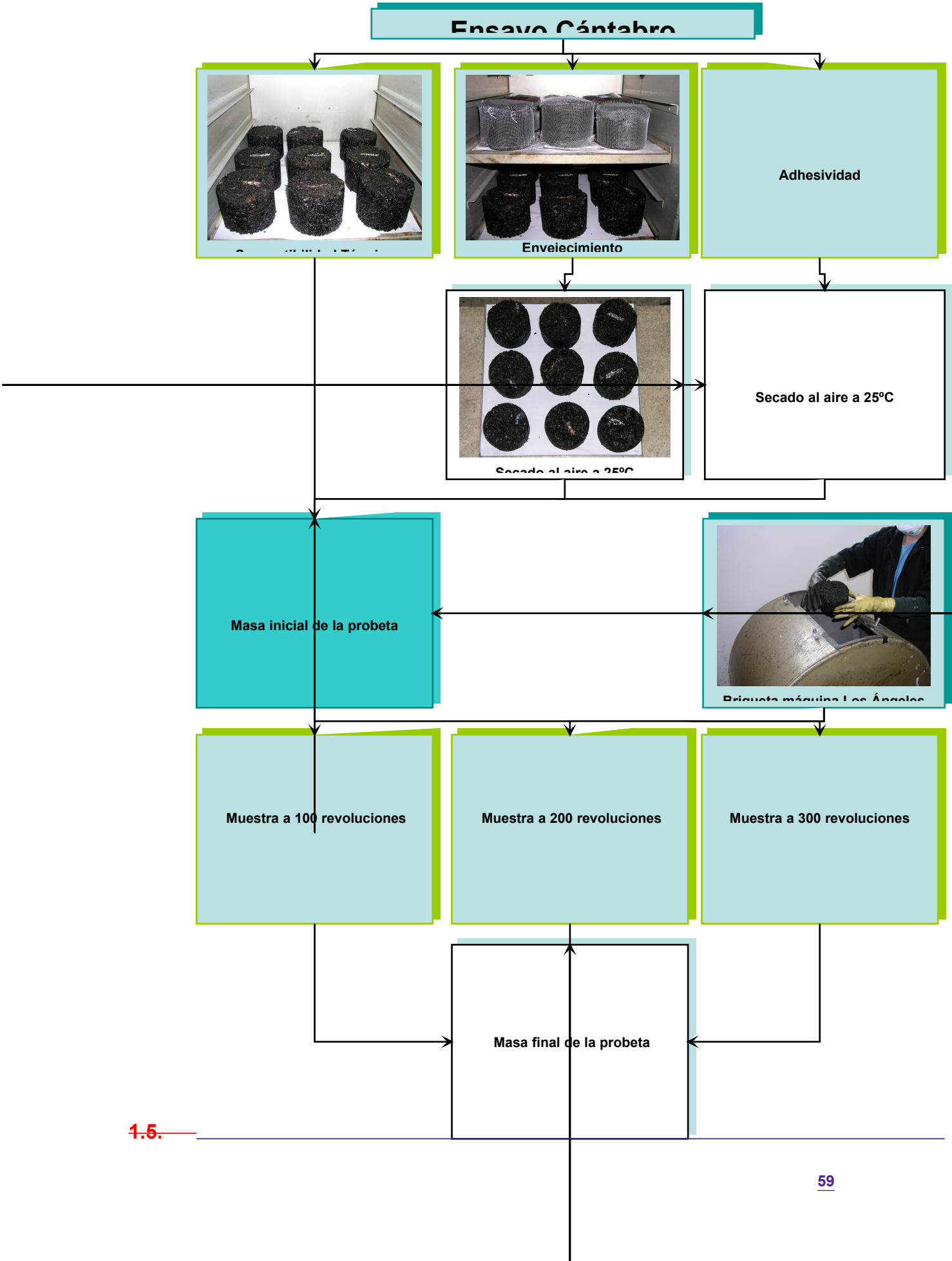
Por esto fue necesario realizar un procedimiento, el cual consistió en invertir la posición de la briqueta cada 2.5 horas para así poder invertir el sentido del escurrimiento que pueda producirse, evitando de ésta manera la acumulación de ligante en una única zona de la briqueta, como la posible pérdida del material.

~~1.6.~~ **Como en los procedimientos descritos en la evaluación de las propiedades anteriores, las briquetas deben reposar durante 24 horas a 25 ºC para luego ser ensayadas en la máquina de Los Ángeles a 100, 200 y 300 revoluciones.**¶

~~1.7.~~1.11. DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

¶

¶


Ensayo Cántabro
Envejecimiento
Adhesividad
Secado al aire a 25ºC
Masa inicial de la probeta
Muestra a 100 revoluciones
Muestra a 200 revoluciones
Muestra a 300 revoluciones
Masa final de la probeta

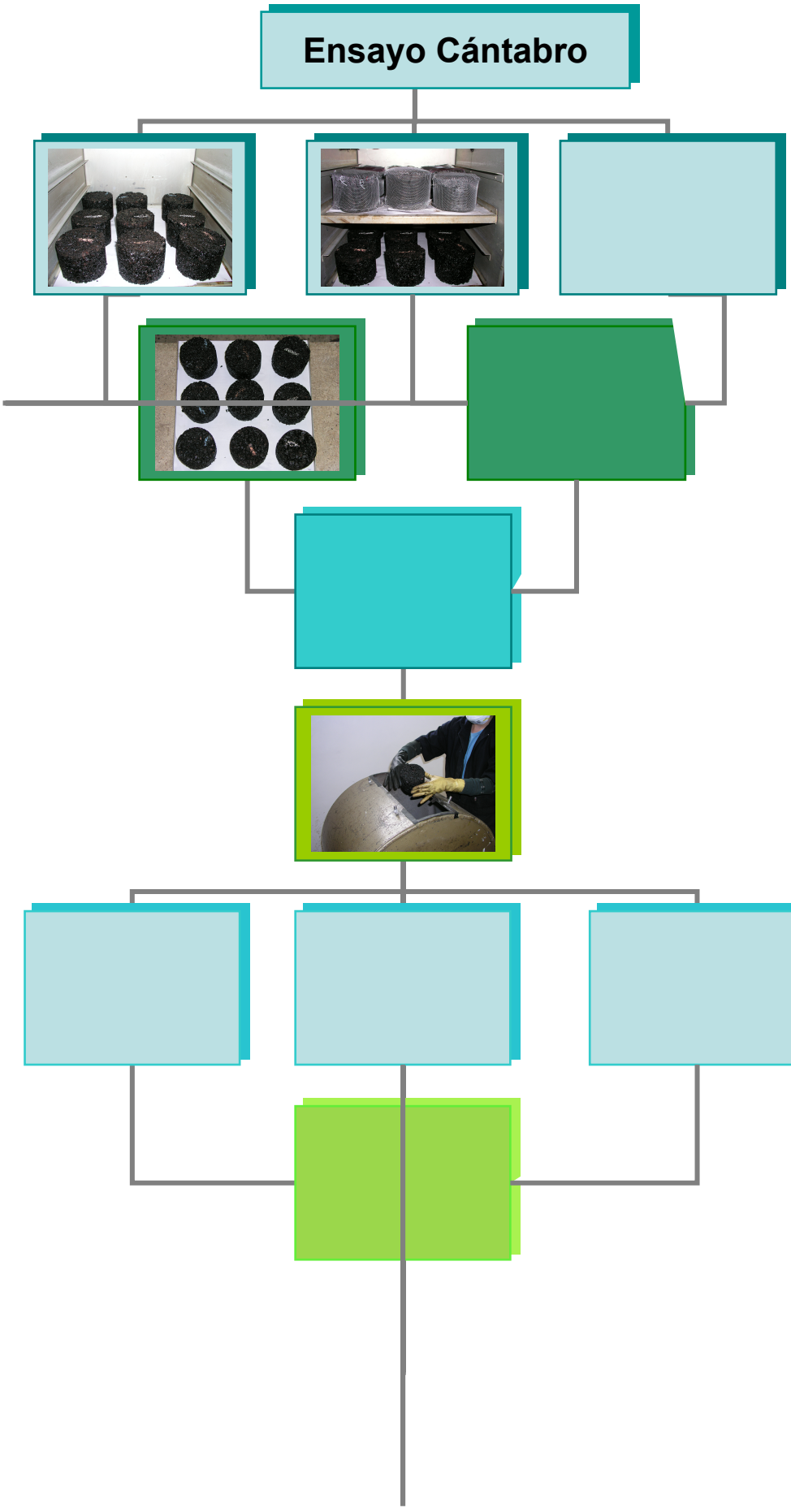
1.5.

~~EJECUCIÓN DEL ENSAYO CÁNTABRO~~¶

¶

~~Corresponde a la norma NLT-352/86~~¶

¶


Ensayo Cántabro

CAPÍTULO 2

Resultados

Agregados

Ligantes asfálticos

Selección de la granulometría

Evaluación de las pérdidas por desgaste

2.1. Agregados

Introducción

Granulometría

Gravedad específica y absorción

Abrasión

INTRODUCCIÓN

El agregado a emplearse en la determinación de las propiedades que evalúa el método UCL proviene de la mina de Guayllabamba.

El agregado se sometió a los siguientes ensayos:

- Granulometría: determina las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en los áridos. Es necesaria para la selección de tamaños máximos y mínimos de las granulometrías que el método UCL propone para la realización de la mezcla patrón.

- Equivalente de arena: para mejorar la adherencia entre el árido y el ligante los autores del método proponen la eliminación del filler y es ésta propiedad la que nos permite determinar el contenido de filler del agregado.

- Peso específico: generalmente se lo determina por dos razones fundamentales:
    - Para permitir el calculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
    - Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla bituminosa para pavimentos cuando el peso especifico varia considerablemente.

Además nos permite determinar el porcentaje de absorción que poseen los áridos, el cual es fundamental para el ensayo de adhesividad ya que este se lo realiza en condiciones de inmersión.

- Abrasión: se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o la abrasión. Un bajo porcentaje de perdidas por abrasión es una característica deseable en los áridos que se han de emplear en un pavimento bituminoso.

Estos ensayos nos permiten caracterizar de forma tradicional a los agregados y sus resultados son presentados a continuación:

Tabla 2.1.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado*

DESCRIPCIÓN: *Agregado Fino*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Guayllabamba*

NORMA: *AASHTO T-27*

ASTM C-136

ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

Vanessa Palacio

FECHA: *Oct-03*

GRANULOMETRÍA

Peso Muestra: 500.00 g

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO		PORCENTAJE		
		PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	RETENIDO	PASA
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.76	0.22	0.22	0.04	0.04	99.96
N°8	2.36	68.40	68.61	13.68	13.72	86.28
N°16	1.19	91.76	160.37	18.35	32.07	67.93
N°30	0.59	72.11	232.48	14.42	46.50	53.50
N°50	0.29	57.95	290.42	11.59	58.08	41.92
N°100	0.15	104.49	394.91	20.90	78.98	21.02
N°200	0.07	47.57	442.49	9.51	88.50	11.50
PASA N°200		47.66	490.15	9.53	98.03	1.97

OBSERVACIONES:

Gráfica 2.1.1.

Granulometría del agregado fino de la mina de Guayllabamba

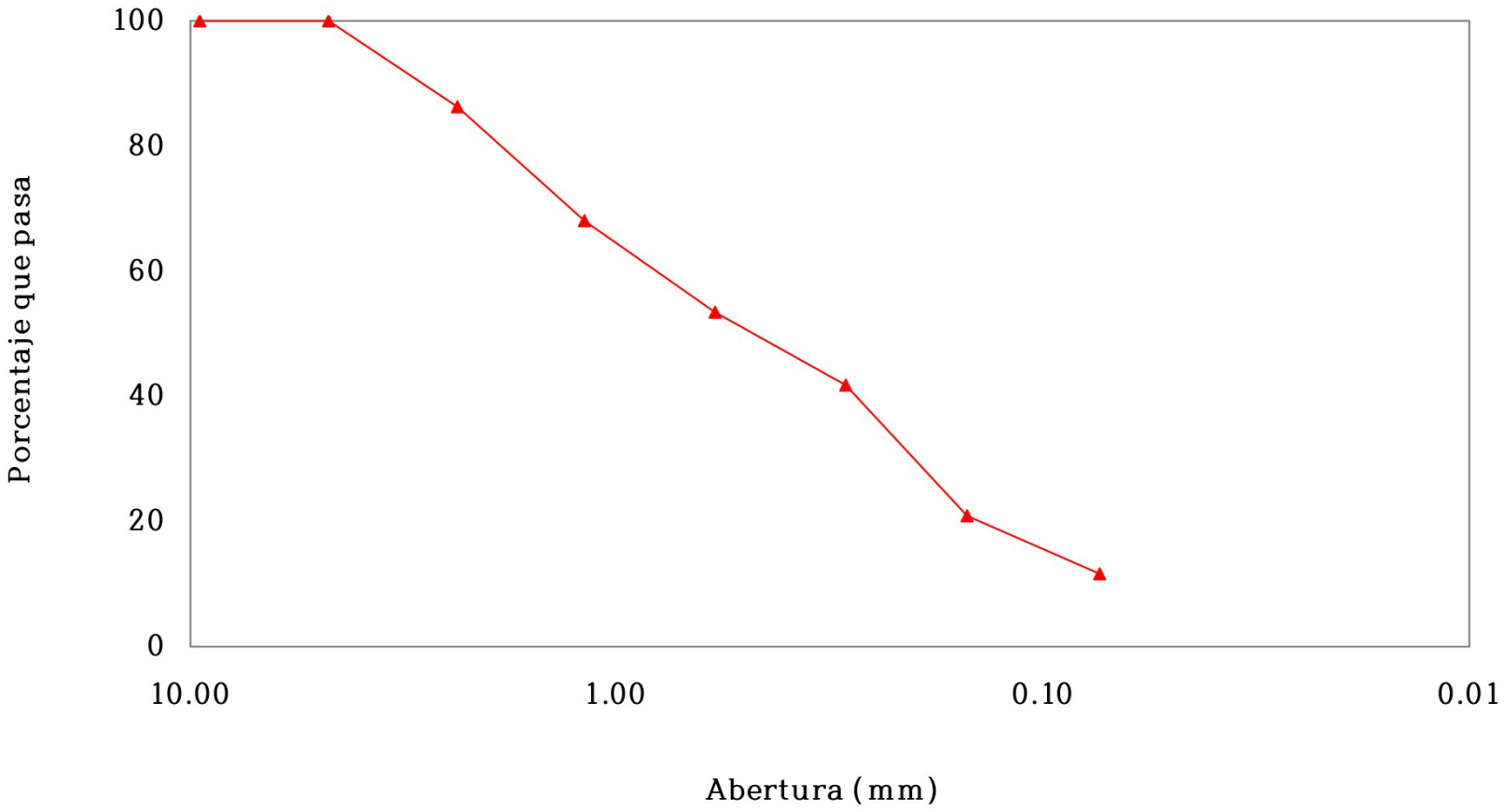


Tabla 2.1.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Agregado Fino*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*		
NORMA:	*AASHO T-27*	FECHA:	*Oct-03*
	ASTM C-136		

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

Masa del matraz:	157.88	g
Masa del matraz, agua y muestra:	719.75	g
Masa de la muestra saturada con superficie seca:	100.00	g
Masa de la muestra seca:	99.54	g
Masa de agua añadida el matraz:	461.87	g
Gravedad específica Bulk:	**2.61**	
Gravedad específica saturada con superficie seca:	2.62	
Gravedad específica aparente:	2.64	
Porcentaje de absorción:	**0.46**	**%**

OBSERVACIONES:

Tabla 2.1.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Agregado Fino*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guaytlabamba*		
NORMA:	*AASHO T-27*	FECHA:	*Oct-03*
	ASTM C-136		

ABRASIÓN

Tipo de gradación:	C	
Número de esferas:	8.00	
Masa de esferas:	3300.00	g
Masa inicial de la muestra:	5000.00	g
Masa retenida en el tamiz N°12 después de 500 revoluciones	3714.00	g
Masa que pasa el tamiz N°12:	1286.00	g
Porcentaje de desgaste:	**25.72**	**%**

OBSERVACIONES:

Tabla 2.1.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Agregado Fino*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guaytlabamba*		
NORMA:	*AASHO T-27*	FECHA:	*Oct-03*
	ASTM C-136		

EQUIVALENTE DE ARENA

Lectura de arcilla:	4.70
Lectura de arena:	3.20
Equivalente de arena:	68.09 %

OBSERVACIONES:

2.2. Ligantes asfálticos

Introducción

Asfalto convencional

Asfalto aditivado

Asfalto aditivado - polimerizado

INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de las propiedades se van a emplear tres tipos de asfaltos: convencional, aditivado y aditivado – polimerizado. Los ensayos realizados a los tres tipos de asfaltos son:

- Penetración 25 ºC y 35 ºC (0.1 mm)
- Punto de ablandamiento (ºC)
- Ductilidad (cm) a 25ºC
- Recuperación elástica (%)
- Viscosidad (poises)
- Envejecimiento en película delgada
    - Penetración 25ºC (0.1 mm)

- Punto de ablandamiento (ºC)
- Ductilidad (cm) a 25ºC
- Recuperación elástica (%)

Los ensayos descritos anteriormente son los que comúnmente se utilizan para caracterizar los asfaltos. Estos métodos tradicionales, como se los conoce, no proporcionan datos precisos del comportamiento en obra de la mezcla ya que se acostumbra a ensayar por separado los agregados pétreos del ligante asfáltico lo que no nos asegura de ninguna manera su compatibilidad.

2.2.1. Asfalto convencional

Penetración a 25 ºC y 35 ºC (0.1 mm)

Ductilidad 25 ºC (cm)

Recuperación elástica (%)

Punto de ablandamiento (ºC)

Viscosidad Saybolt Furol (poises)

Envejecimiento en película delgada

- *Penetración (0.1 mm) a 25 ºC y 35 ºC*
- *Ductilidad (cm) a 25 ºC*
- *Recuperación elástica (%)*
- *Punto de ablandamiento (ºC)*

Tabla 2.2.1.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 35 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	140	140
2	0	139	139
3	0	140	140

PROMEDIO: 140

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	63	63
2	0	63	63
3	0	62	62

PROMEDIO: 63

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.2.1.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado*

DESCRIPCIÓN: *Cemento Asfáltico*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Convencional*

NORMA: *ASTM D-5*

AASHTO T49

NLT 124

ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

Vanessa Palacio

FECHA: *Jul-03*

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	20.00	2.70	13.50
2	20.00	2.50	12.50
3	20.00	2.90	14.50

PROMEDIO: 13.50

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	39
2	40
3	40

PROMEDIO: **40**

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.6.

Tabla 2.2.1.7.

Gráfico 2.2.1.1. DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN
ASFALTO CONVENCIONAL

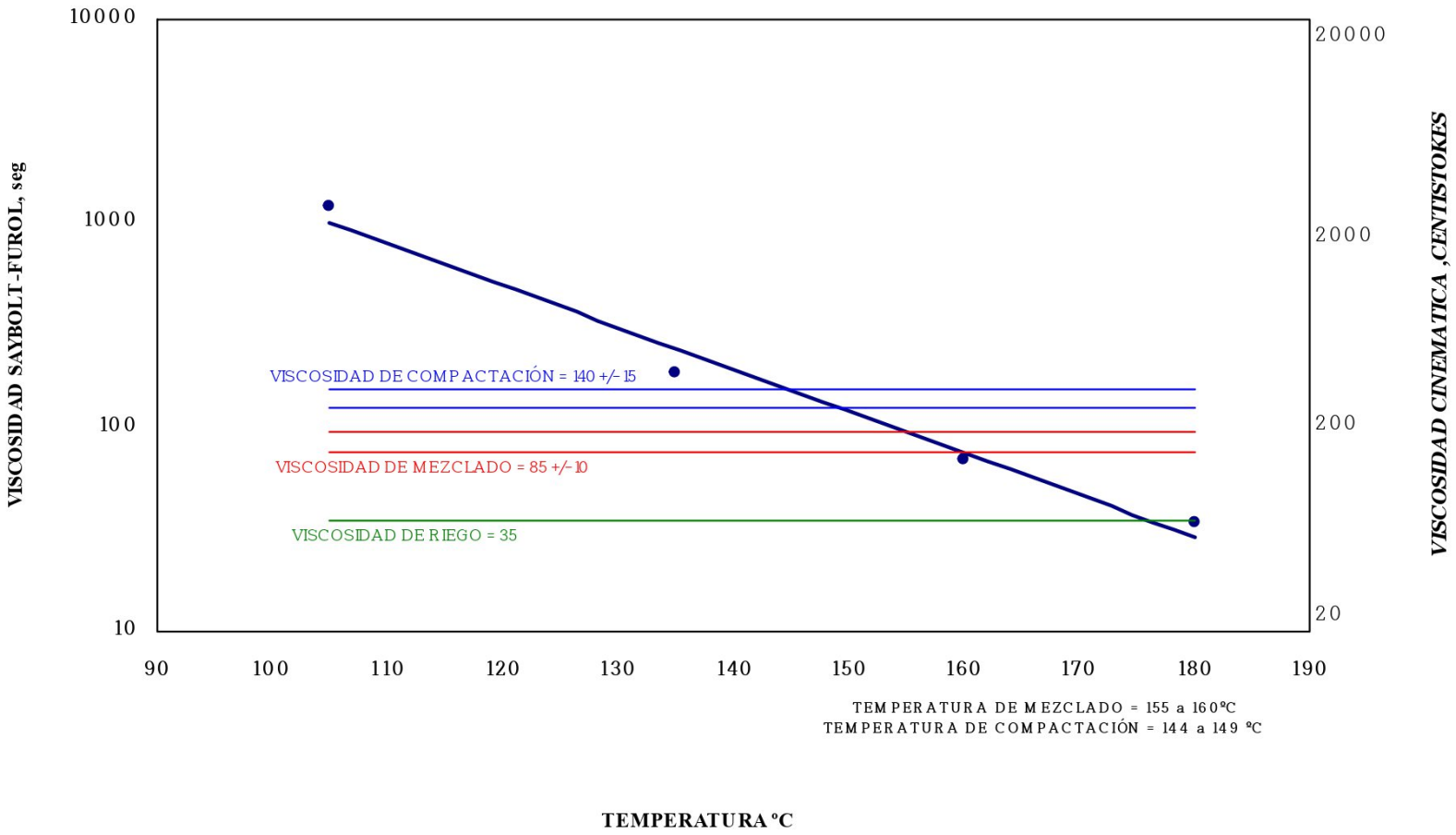


Tabla 2.2.1.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Cemento Asfáltico* *Vanessa Palacio*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Convencional* FECHA: *Jul-03*

NORMA: *ASTM D-1754*

PELÍCULA DELGADA

MUESTRA	PESO PLATO (g)	PESO (g)		PÉRDIDA (%)
		INICIAL	FINAL	
1	41.87	91.87	91.65	0.44
2	41.48	91.48	91.26	0.44
3	41.85	91.85	91.63	0.44

PROMEDIO: 0.44

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	32	32
2	0	32	32
3	0	30	30

PROMEDIO: 31

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-213*		
	AASHTO T51		
	NLT 126		

DUCTILIDAD

PRUEBA Nº	DUCTILIDAD (cm)
1	51
2	46
3	55

PROMEDIO: 51

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.11.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	20.00	3.00	15.00
2	20.00	2.70	13.50
3	20.00	3.40	17.00

PROMEDIO: 15.17

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.12.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ºC)
1	48
2	48
3	47

PROMEDIO: 48

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.13.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Oct-03*

PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (MÉTODO RICE)

Peso del recipiente:	1368.40	g
Peso del recipiente con agua a 25ºC:	5254.00	g
Peso de la muestra:	1024.46	g
Peso del recipiente más muestra y agua a 25ºC:	5824.00	g
Peso específico máximo	**2.25**	

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.14.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Convencional*	FECHA:	*Oct-03*

PESO ESPECÍFICO BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Peso en el aire:	1011.94	g
Peso saturado con superficie seca:	1053.17	g
Peso sumergido en el agua	528.31	g
Peso específico bulk	1.93	

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.1.15.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

2.2.2. Asfalto aditivado

Penetración a 25 ºC y 35 ºC (0.1 mm)

Ductilidad 25 ºC (cm)

Recuperación elástica (%)

Punto de ablandamiento (ºC)

Viscosidad Saybolt Furol (poises)

Envejecimiento en película delgada

- *Penetración (0.1 mm) a 25 ºC y 35 ºC*
- *Ductilidad (cm) a 25 ºC*
- *Recuperación elástica (%)*
- *Punto de ablandamiento (ºC)*

Tabla 2.2.2.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 35 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	126	126
2	0	125	125
3	0	127	127

PROMEDIO: 126

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Cemento Asfáltico* *Vanessa Palacio*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Aditivado* FECHA: *Jul-03*

NORMA: *ASTM D-5*

AASHTO T49

NLT 124

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	60	60
2	0	61	61
3	0	60	60

PROMEDIO: 60

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.2.2.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	24.00	3.30	13.75
2	24.00	3.30	13.75
3	24.00	2.40	10.00

PROMEDIO: 12.50

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.5.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ºC)
1	44
2	45
3	45

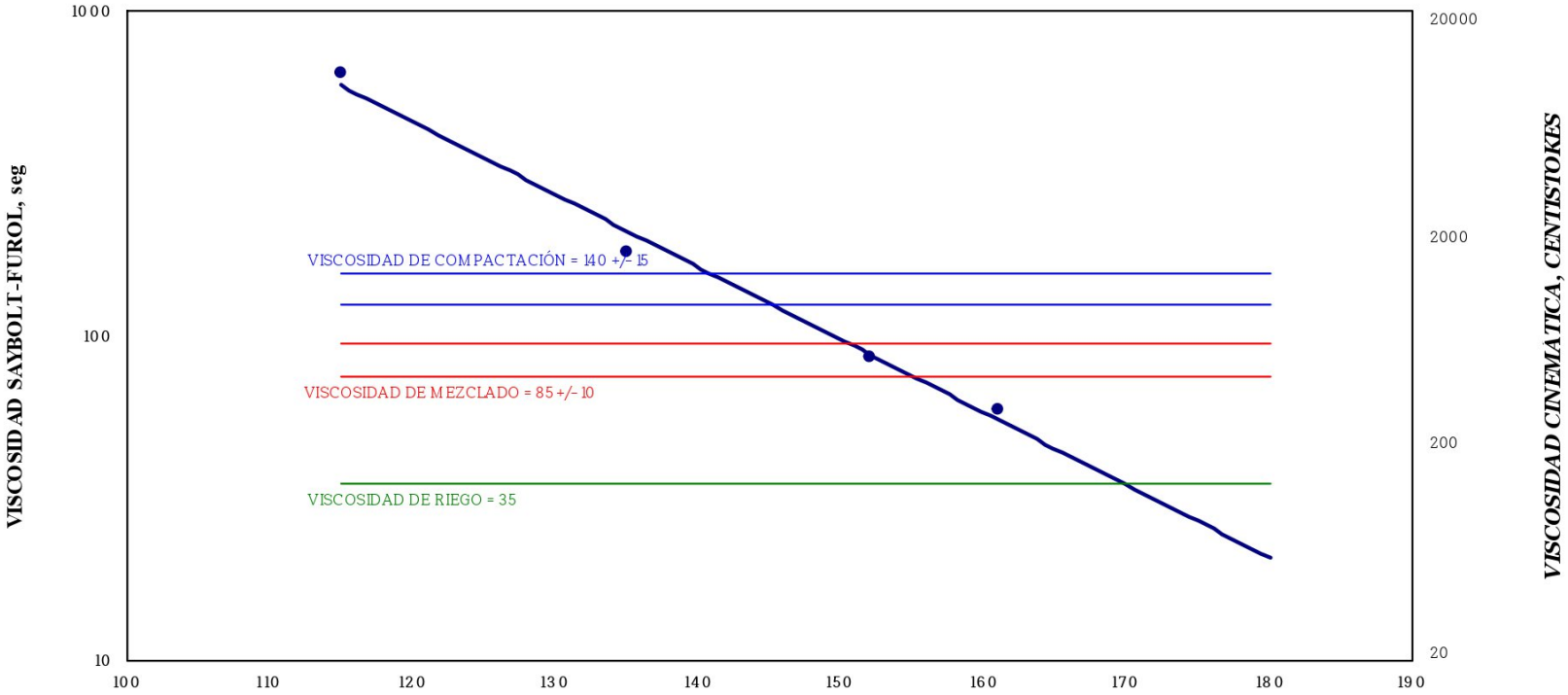
PROMEDIO: **45**

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.6.

Tabla 2.2.2.7.

Gráfica 2.2.1.1.. DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN
ASFALTO ADITIVADO



TEMPERATURA DE MEZCLADO = 151 a 155ºC
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN = 141 a 145 ºC

Tabla 2.2.2.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Cemento Asfáltico* *Vanessa Palacio*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Aditivado* FECHA: *Jul-03*

NORMA: *ASTM D-1754*

PELÍCULA DELGADA

MUESTRA	PESO PLATO (g)	PESO (g)		PÉRDIDA (%)
		INICIAL	FINAL	
1	41.86	91.86	91.56	0.60
2	41.47	91.47	91.19	0.56
3	41.80	91.80	91.45	0.70

PROMEDIO: 0.62

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	37	37
2	0	38	38
3	0	38	38

PROMEDIO: 38

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-213*		
	AASHTO T51		
	NLT 126		

DUCTILIDAD

PRUEBA Nº	DUCTILIDAD (cm)
1	76
2	82
3	80

PROMEDIO: 79

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.11.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	20.00	4.60	23.00
2	20.00	4.80	24.00
3	20.00	4.90	24.50

PROMEDIO: 23.83

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.12.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ºC)
1	52
2	51
3	51

PROMEDIO: 51

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.13.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado*	FECHA:	*Oct-03*

PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (MÉTODO RICE)

Peso del recipiente:	1368.40	g
Peso del recipiente con agua a 25ºC:	5254.00	g
Peso de la muestra:	1030.04	g
Peso del recipiente más muestra y agua a 25ºC:	5820.00	g
Peso específico máximo	**2.22**	

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.2.14.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.2.2.15

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

2.2.3. Asfalto aditivado - polimerizado

Penetración a 25 ºC y 35 ºC (0.1 mm)

Ductilidad 25 ºC (cm)

Recuperación elástica (%)

Punto de ablandamiento (ºC)

Viscosidad Saybolt Furol (poises)

Envejecimiento en película delgada

- *Penetración (0.1 mm) a 25 ºC y 35 ºC*
- *Ductilidad (cm) a 25 ºC*
- *Recuperación elástica (%)*
- *Punto de ablandamiento (ºC)*

Tabla 2.2.3.1

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 35 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	106	106
2	0	107	107
3	0	106	106

PROMEDIO: 106

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	59	59
2	0	58	58
3	0	59	59

PROMEDIO: 59

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.2.3.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	20.00	4.90	24.50
2	20.00	4.80	24.00
3	20.00	5.20	26.00

PROMEDIO: 24.83

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ºC)
1	50
2	49
3	50

PROMEDIO: 50

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.6.

Tabla 2.2.3.7.

Gráfica 2.2.3.1. DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN
ASFALTO ADITIVADO-POLIMERIZADO

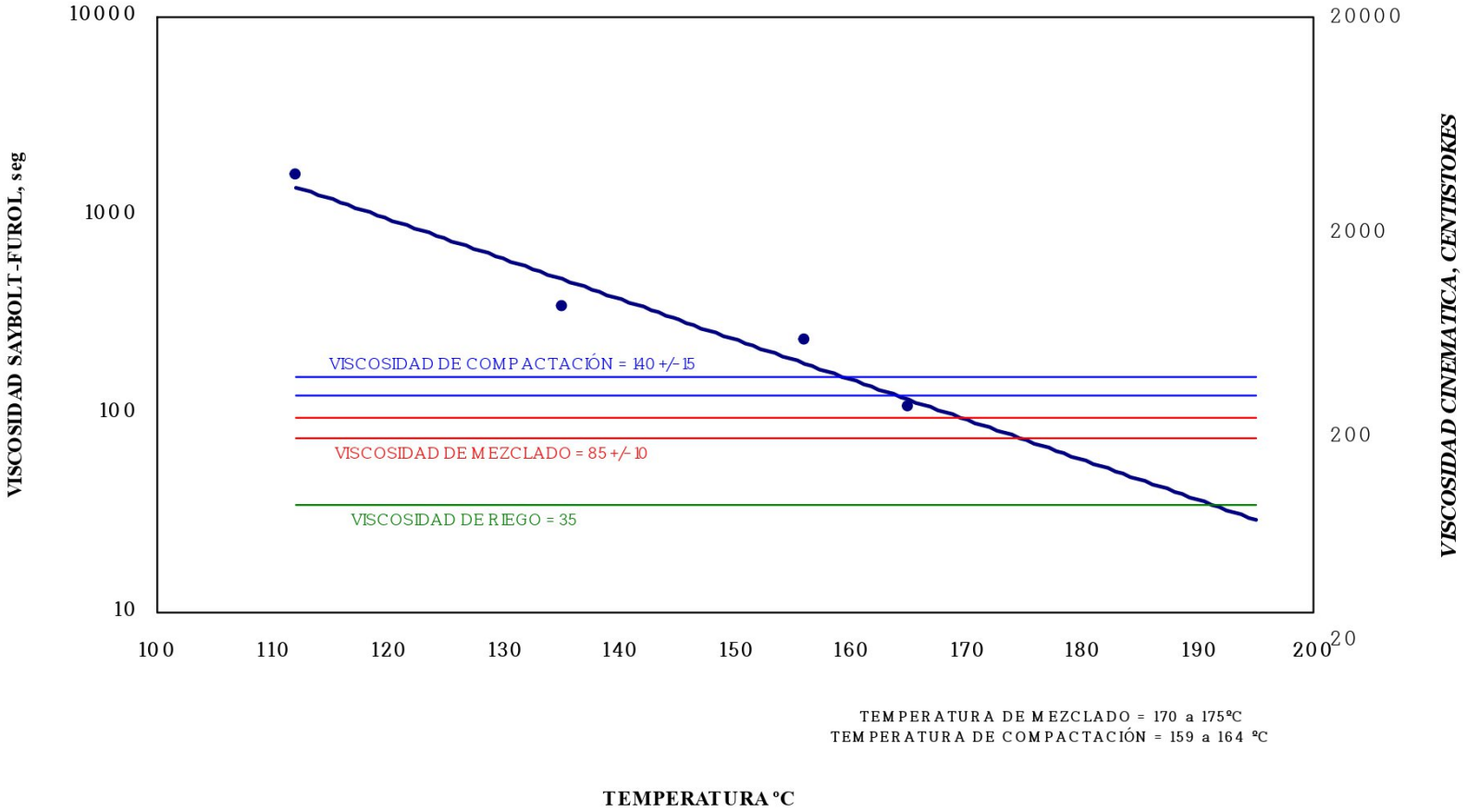


Tabla 2.2.3.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Cemento Asfáltico* *Vanessa Palacio*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Aditivado - Polimerizado* FECHA: *Jul-03*

NORMA: *ASTM D-1754*

PELÍCULA DELGADA

MUESTRA	PESO PLATO (g)	PESO (g)		PÉRDIDA (%)
		INICIAL	FINAL	
1	41.86	91.86	91.54	0.64
2	41.46	91.47	91.15	0.64
3	41.80	91.80	91.46	0.68

PROMEDIO: 0.65

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Residuo Cemento Asfáltico* *Vanessa Palacio*

LOCALIZACIÓN: *Refinería Estatal Esmeraldas*

MUESTRA: *Aditivado - polimerizado* FECHA: *Oct-03*

NORMA: *ASTM D-5*

AASHTO T49

NLT 124

PENETRACIÓN A 25 ºC

PRUEBA Nº	LECTURA		DIFERENCIA
	INICIAL	FINAL	
1	0	40	40
2	0	41	41
3	0	40	40

PROMEDIO: 40

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-213*		
	AASHTO T51		
	NLT 126		

DUCTILIDAD

PRUEBA Nº	DUCTILIDAD (cm)
1	83
2	91
3	86

PROMEDIO: 87

ESPECIFICACIÓN: *MOP-001-F*

TABLA: 810-2.1

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.11.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Jul-03*
NORMA:	*ASTM D-5*		
	AASHTO T49		
	NLT 124		

RECUPERACIÓN ELÁSTICA

PRUEBA Nº	LONGITUD (cm)		RECUPERACIÓN (%)
	INICIAL	FINAL	
1	20.00	7.90	39.50
2	20.00	7.70	38.50
3	20.00	7.20	36.00

PROMEDIO: 38.00

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.12.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Residuo Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Oct-03*
NORMA:	*ASTM D-36*		
	AASHTO T53		

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

PRUEBA Nº	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ºC)
1	52
2	53
3	53

PROMEDIO: 53

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.13.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Oct-03*

PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (MÉTODO RICE)

Peso del recipiente:	1313.70	g
Peso del recipiente con agua a 25ºC:	5192.00	g
Peso de la muestra:	1012.14	g
Peso del recipiente más muestra y agua a 25ºC:	5752.00	g
Peso específico máximo	**2.24**	

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.14.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado - Polimerizado*	FECHA:	*Oct-03*

PESO ESPECÍFICO BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Peso en el aire:	1013.36 g
Peso saturado con superficie seca:	1051.08 g
Peso sumergido en el agua	527.39 g
Peso específico bulk	**1.94**

OBSERVACIONES:

Tabla 2.2.3.15

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Cemento Asfáltico*		*Vanessa Palacio*
LOCALIZACIÓN:	*Refinería Estatal Esmeraldas*		
MUESTRA:	*Aditivado-Polimerizado*	FECHA:	*Oct-03*

PORCENTAJE DE VACÍOS CON AIRE

Peso específico bulk:	1.94
Peso específico máximo:	2.24

Porcentaje de vacíos:	13.39 %

OBSERVACIONES:

Selección de la granulometría

Introducción

Agregado de la mina de Pifo

Agregado de la mina de Guayllabamba

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a investigaciones realizadas acerca del método UCL en otros países de Europa y América Latina, se recomienda utilizar las siguientes granulometrías.

TAMIZ	% PASA		
	T5	T10	T12
1/ 2	100	100	100
3/ 8	100	82	100
Nº 4	100	38	100
Nº 8	20	6	80
Nº 30	0	0	0

La granulometría que presente menor dispersión en el ensayo cántabro será la seleccionada para aplicar el método UCL.

2.2.4. Agregado de la mina de Pifo

Granulometría T5

Granulometría T10

Granulometría T12

Tabla 2.3.1.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Convencional*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Pifo*

GRANULOMETRÍA: *T5*

ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*
Vanessa Palacio

NORMA: *NLT-352/86*

FECHA: *Sep-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1012.70	996.30	998.20	0.00	0.00	0.00
100 rev.	379.91	316.00	302.93	62.49	68.28	69.65
200 rev.	119.65	99.95	84.37	88.19	89.97	91.55
300 rev.	11.17	4.58	1.12	98.90	99.54	99.89

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	66.81
200	89.90
300	99.44

OBSERVACIONES:

Tabla 2.3.1.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Convencional*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Pifo*

GRANULOMETRÍA: *T10*

ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*
Vanessa Palacio

NORMA: *NLT-352/86*

FECHA: *Sep-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1023.10	1020.20	1023.80	0.00	0.00	0.00
100 rev.	572.07	478.09	509.92	44.08	53.14	50.19
200 rev.	299.90	248.31	273.69	70.69	75.66	73.27
300 rev.	166.26	114.25	101.23	83.75	88.80	90.11

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

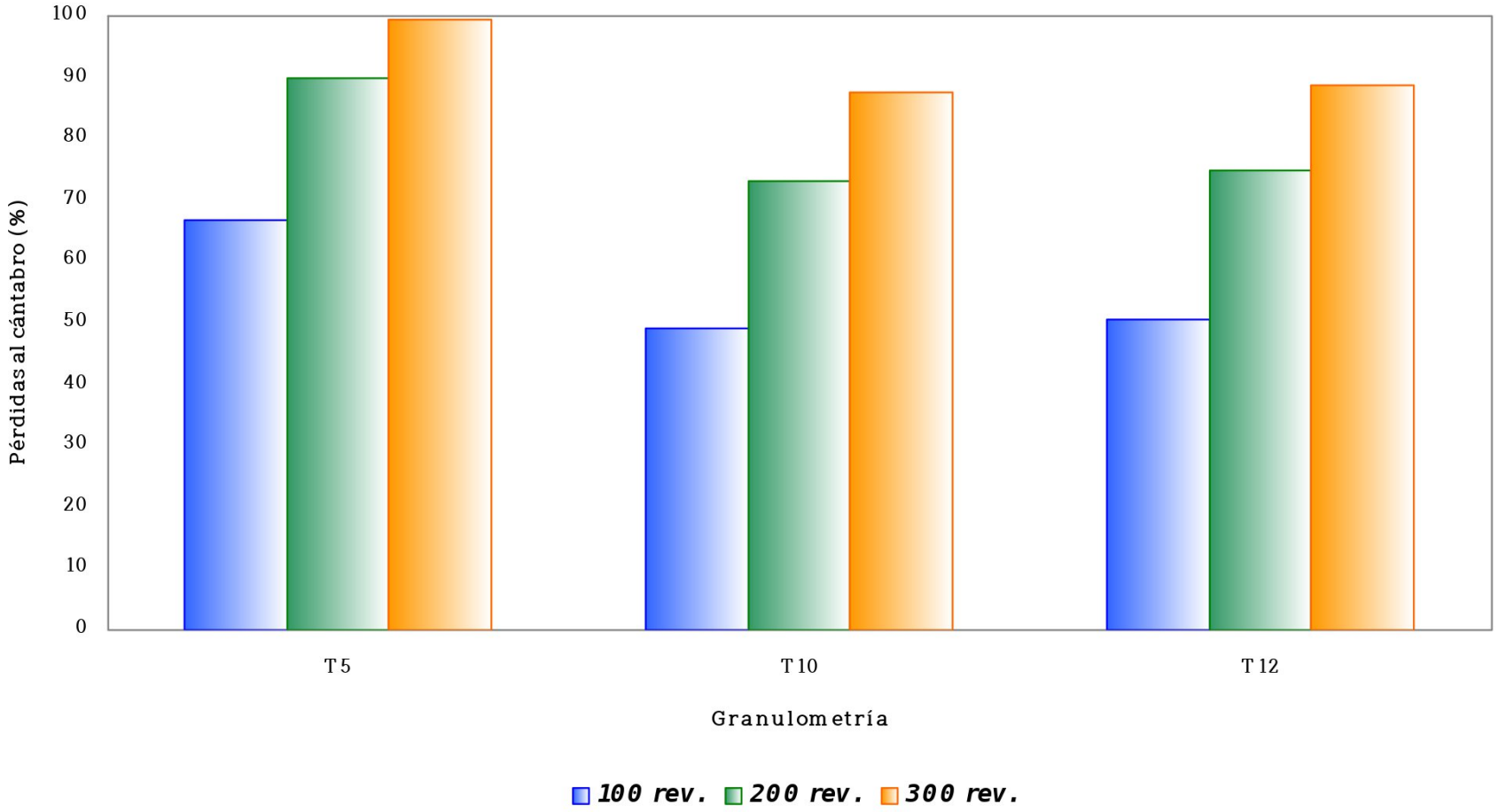
REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	49.14
200	73.21
300	87.55

OBSERVACIONES:

Tabla 2.3.1.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Gráfica 2.3.1.1. ***Selección de la granulometría (agregado de la mina de Pifo)***



2.2.5. Agregado de la mina de Guayllabamba

Introducción

Granulometría T10

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al gráfico 2.3.1.1. la granulometría que menor dispersión presentan en el ensayo cántabro es la T10.

TAMIZ	%PASA	%RETIENE	%PARCIAL	PESO/PROBETA
1/2	100	0	0	0
3/8	82	18	18	180
N°4	38	62	44	440
N°8	6	94	32	320
N°30	0	100	6	60

Para la selección del agregado se considera el material granular que mejor adherencia presente con el ligante asfáltico a utilizarse. De acuerdo a la gráfica 5.3.2.1. el material que mayor compatibilidad presentan con el asfalto convencional es el de la mina de Guayllabamba.

Tabla 2.3.2.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

2.3. Evaluación de las perdidas por desgaste

Introducción

Asfalto convencional

Asfalto aditivado

Asfalto aditivado - polimerizado

INTRODUCCIÓN

Para la evaluación de las propiedades del método UCL se emplea el ensayo cántabro de pérdidas por desgaste, Norma NLT-352/86.

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas bituminosas, empleando la máquina de los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control de obra de las mimas.

El procedimiento se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

En general la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 ºC, con una tolerancia máxima de ± 1 ºC.

Se determina la masa de cada briqueta con aproximación de 0.1 g. Antes de ensayarlas, las briquetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de 6 horas.

Se introduce una briqueta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y, sin la carga abrasiva, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en la NLT-149 de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 revoluciones.

Al final del ensayo se saca la briqueta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0.1 g.

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada briqueta, mediante la expresión:

$$P_c = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

Donde:

P_c: pérdidas al cántabro

P_i: peso inicial en gramos

P_f: peso final en gramos

2.3.1. Asfalto convencional

Pérdidas por desgaste a – 5 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 0 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 25 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 40 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC tras inmersión

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 0 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 5 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 10 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 20 horas

Tabla 2.4.1.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*-5 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1008.44	1006.74	1002.18	0.00	0.00	0.00
100 rev.	620.77	709.64	672.57	38.44	29.51	32.89
200 rev.	393.85	492.55	407.34	60.94	51.07	59.35
300 rev.	246.57	265.10	279.33	75.55	73.67	72.13

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25 ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	33.61
200	57.12
300	73.78

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*0 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1028.10	1010.91	1001.28	0.00	0.00	0.00
100 rev.	768.54	697.31	697.78	25.25	31.02	30.31
200 rev.	570.97	475.17	479.43	44.46	53.00	52.12
300 rev.	401.23	354.19	343.87	60.97	64.96	65.66

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25 ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	28.86
200	49.86
300	63.86

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*25 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1010.82	1021.81	1010.57	0.00	0.00	0.00
100 rev.	775.35	788.10	761.00	23.29	22.87	24.70
200 rev.	564.57	556.46	541.48	44.15	45.54	46.42
300 rev.	400.84	419.62	433.59	60.35	58.93	57.09

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25 ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	23.62
200	45.37
300	58.79

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guaylabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*40 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1029.10	######	1011.60	0.00	0.00	0.00
100 rev.	800.90	786.72	839.40	22.17	21.93	17.02
200 rev.	577.43	578.12	628.40	43.89	42.63	37.88
300 rev.	446.20	389.41	473.98	56.64	61.36	53.15

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25 ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	20.38
200	41.47
300	57.05

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.5.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*60 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1010.23	990.74	1013.62	0.00	0.00	0.00
100 rev.	737.98	708.50	758.34	26.95	28.49	25.18
200 rev.	521.99	528.71	532.78	48.33	46.63	47.44
300 rev.	380.65	413.09	352.78	62.32	58.30	65.20

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25 ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	26.87
200	47.47
300	61.94

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.6.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.4.1.7.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *0 horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	991.60	1007.20	1015.80	0.00	0.00	0.00
100 rev.	736.10	721.63	706.90	25.77	28.35	30.41
200 rev.	472.20	512.93	554.65	52.38	49.07	45.40
300 rev.	382.35	342.96	314.79	61.44	65.95	69.01

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	28.18
200	48.95
300	65.47

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Convencional*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *5 horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1014.74	1013.89	1002.75	0.00	0.00	0.00
100 rev.	673.78	682.79	638.93	33.60	32.66	36.28
200 rev.	455.31	463.15	421.78	55.13	54.32	57.94
300 rev.	284.56	276.59	236.12	71.96	72.72	76.45

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	34.18
200	55.80
300	73.71

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente* *Vanessa Palacio*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Convencional*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Guayllabamba* NORMA: *NLT-352/86*

TEMPERATURA: *80 ºC* TIEMPO: *10 horas* FECHA: *Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1006.74	998.16	1012.75	0.00	0.00	0.00
100 rev.	623.78	598.78	662.42	38.04	40.01	34.59
200 rev.	401.45	387.12	411.27	60.12	61.22	59.39
300 rev.	205.48	214.47	228.47	79.59	78.51	77.44

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	37.55
200	60.24
300	78.51

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.1.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

2.3.2. Asfalto aditivado

Pérdidas por desgaste a – 5 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 0 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 25 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 40 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC tras inmersión

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 0 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 5 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 10 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 20 horas

Tabla 2.4.2.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*-5 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1010.89	1000.85	998.64	0.00	0.00	0.00
100 rev.	711.65	734.77	788.63	29.60	26.59	21.03
200 rev.	460.15	470.03	518.09	54.48	53.04	48.12
300 rev.	287.96	298.00	346.33	71.51	70.23	65.32

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	25.74
200	51.88
300	69.02

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*0 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1018.59	1019.16	998.62	0.00	0.00	0.00
100 rev.	781.26	792.09	713.09	23.30	22.28	28.59
200 rev.	536.54	508.58	509.16	47.33	50.10	49.01
300 rev.	358.33	411.23	365.57	64.82	59.65	63.39

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	24.72
200	48.81
300	62.62

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*25 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1015.46	1011.84	1017.10	0.00	0.00	0.00
100 rev.	824.63	795.76	790.50	18.79	21.36	22.28
200 rev.	564.09	584.91	576.26	44.45	42.19	43.34
300 rev.	460.70	453.88	436.24	54.63	55.14	57.11

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	20.81
200	43.33
300	55.63

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*40 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	######	1028.40	1018.08	0.00	0.00	0.00
100 rev.	812.83	851.23	825.40	19.36	17.23	18.93
200 rev.	612.48	580.21	627.22	39.24	43.58	38.39
300 rev.	486.21	479.72	462.05	51.76	53.35	54.62

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	18.51
200	40.40
300	53.24

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.5.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*60 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1027.73	984.58	1020.82	0.00	0.00	0.00
100 rev.	782.67	742.10	809.50	23.84	24.63	20.70
200 rev.	586.87	519.56	576.26	42.90	47.23	43.55
300 rev.	415.14	391.48	396.24	59.61	60.24	61.18

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	23.06
200	44.56
300	60.34

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.6.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.4.2.7.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *o horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	979.90	1013.80	1018.24	0.00	0.00	0.00
100 rev.	728.50	731.44	785.68	25.66	27.85	22.84
200 rev.	485.23	519.05	587.65	50.48	48.80	42.29
300 rev.	369.73	368.76	388.26	62.27	63.63	61.87

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	25.45
200	47.19
300	62.59

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *5 horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1010.72	1023.64	1017.53	0.00	0.00	0.00
100 rev.	712.48	706.32	686.75	29.51	31.00	32.51
200 rev.	498.05	514.81	481.50	50.72	49.71	52.68
300 rev.	297.61	323.27	283.11	70.55	68.42	72.18

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	31.00
200	51.04
300	70.38

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *10 horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1011.57	1016.95	985.24	0.00	0.00	0.00
100 rev.	668.48	708.88	638.20	33.92	30.29	35.22
200 rev.	469.67	480.81	441.58	53.57	52.72	55.18
300 rev.	248.24	291.25	210.64	75.46	71.36	78.62

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	33.14
200	53.82
300	75.15

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.2.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente* *Vanessa Palacio*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Aditivado*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Guayllabamba* NORMA: *NLT-352/86*

TEMPERATURA: *80 ºC* TIEMPO: *2o horas* FECHA: *Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1016.05	991.84	1003.38	0.00	0.00	0.00
100 rev.	646.87	625.74	560.62	36.33	36.91	44.13
200 rev.	399.45	364.36	350.44	60.69	63.26	65.07
300 rev.	212.30	219.04	150.24	79.11	77.92	85.03

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	39.12
200	63.01
300	80.68

OBSERVACIONE

2.3.3. Asfalto aditivado - polimerizado

Pérdidas por desgaste a – 5 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 0 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 25 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 40 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC en seco

Pérdidas por desgaste a 60 ºC tras inmersión

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 0 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 5 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 10 horas

Pérdidas por desgaste a 80 ºC en seco a 20 horas

Tabla 2.4.3.1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*-5 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1030.86	1013.40	998.24	0.00	0.00	0.00
100 rev.	898.31	853.40	886.72	12.86	15.79	11.17
200 rev.	721.68	761.36	688.19	29.99	24.87	31.06
300 rev.	639.33	665.96	599.96	37.98	34.28	39.90

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	13.27
200	28.64
300	37.39

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*0 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1003.91	1007.29	1025.77	0.00	0.00	0.00
100 rev.	884.27	881.36	919.47	11.92	12.50	10.36
200 rev.	761.20	702.65	792.14	24.18	30.24	22.78
300 rev.	692.65	657.97	691.21	31.00	34.68	32.62

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	11.59
200	25.73
300	32.77

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*25 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1017.87	993.96	1012.44	0.00	0.00	0.00
100 rev.	929.87	914.20	931.01	8.65	8.02	8.04
200 rev.	794.36	741.12	813.64	21.96	25.44	19.64
300 rev.	744.98	688.89	709.23	26.81	30.69	29.95

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	8.24
200	22.34
300	29.15

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.4.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*40 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1003.40	1016.30	1018.90	0.00	0.00	0.00
100 rev.	922.71	933.20	942.50	8.04	8.18	7.50
200 rev.	774.11	787.50	835.50	22.85	22.51	18.00
300 rev.	689.28	712.35	772.23	31.31	29.91	24.21

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	7.91
200	21.12
300	28.47

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.5.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*60 ºC*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	990.18	1007.26	1030.66	0.00	0.00	0.00
100 rev.	892.44	889.41	942.72	9.87	11.70	8.53
200 rev.	736.42	779.57	791.22	25.63	22.60	23.23
300 rev.	642.58	693.08	683.15	35.10	31.19	33.72

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	10.03
200	23.82
300	33.34

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.6.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Tabla 2.4.3.7.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente* *Vanessa Palacio*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Guayllabamba* NORMA: *NLT-352/86*

TEMPERATURA: *80 ºC* TIEMPO: *0 horas* FECHA: *Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	######	1011.80	981.10	0.00	0.00	0.00
100 rev.	903.30	894.70	883.90	10.37	11.57	9.91
200 rev.	747.50	763.10	767.93	25.83	24.58	21.73
300 rev.	637.90	681.30	629.18	36.70	32.66	35.87

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	10.62
200	24.05
300	35.08

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.8.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: *Tesis de Grado* ENSAYADO: *Ma. Dolores del Pozo*

DESCRIPCIÓN: *Mezcla Asfáltica en Caliente* *Vanessa Palacio*

MUESTRA: *Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*

LOCALIZACIÓN: *Mina de Guayllabamba* NORMA: *NLT-352/86*

TEMPERATURA: *80 ºC* TIEMPO: *5 horas* FECHA: *Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1000.89	1018.82	1016.05	0.00	0.00	0.00
100 rev.	828.24	819.54	871.27	17.25	19.56	14.25
200 rev.	684.10	717.65	654.12	31.65	29.56	35.62
300 rev.	579.11	500.34	568.57	42.14	50.89	44.04

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	17.02
200	32.28
300	45.69

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.9.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	*Tesis de Grado*	ENSAYADO:	*Ma. Dolores del Pozo*
DESCRIPCIÓN:	*Mezcla Asfáltica en Caliente*		*Vanessa Palacio*
MUESTRA:	*Cemento Asfáltico Aditivado-Polimerizado*		
LOCALIZACIÓN:	*Mina de Guayllabamba*	NORMA:	*NLT-352/86*
TEMPERATURA:	*80 ºC* TIEMPO: *10 horas*	FECHA:	*Oct-03*

ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDAS POR DESGASTE

	PESO (gramos)			PÉRDIDA POR DESGASTE (%)		
Muestra	1	2	3	1	2	3
0 rev.	1028.74	1034.52	1020.48	0.00	0.00	0.00
100 rev.	820.11	853.17	779.14	20.28	17.53	23.65
200 rev.	640.85	694.71	655.14	37.71	32.85	35.80
300 rev.	515.19	507.16	486.16	49.92	50.98	52.36

RESULTADO: Pérdidas por desgaste del ensayo Cántabro a 25ºC a diferentes grados de severidad

REVOLUCIONES	PÉRDIDA POR DESGASTE (%)
100	20.49
200	35.45
300	51.09

OBSERVACIONE

Tabla 2.4.3.10.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

CAPÍTULO 3

Análisis de resultados

Características de los cementos asfálticos

Cohesión

Adhesividad

Susceptibilidad térmica

Envejecimiento

3.1. Características de los cementos asfálticos

Resumen de los ensayos tradicionales realizados al asfalto convencional, aditivado y aditivado – polimerizado

Tabla 3.1.1

Características de los cementos asfálticos

3.2. Cohesión

También conocida como poder aglomerante, es la propiedad que permite a la mezcla resistir las solicitaciones del tránsito la cual se valora con el ensayo cántabro en seco a 25 ºC.

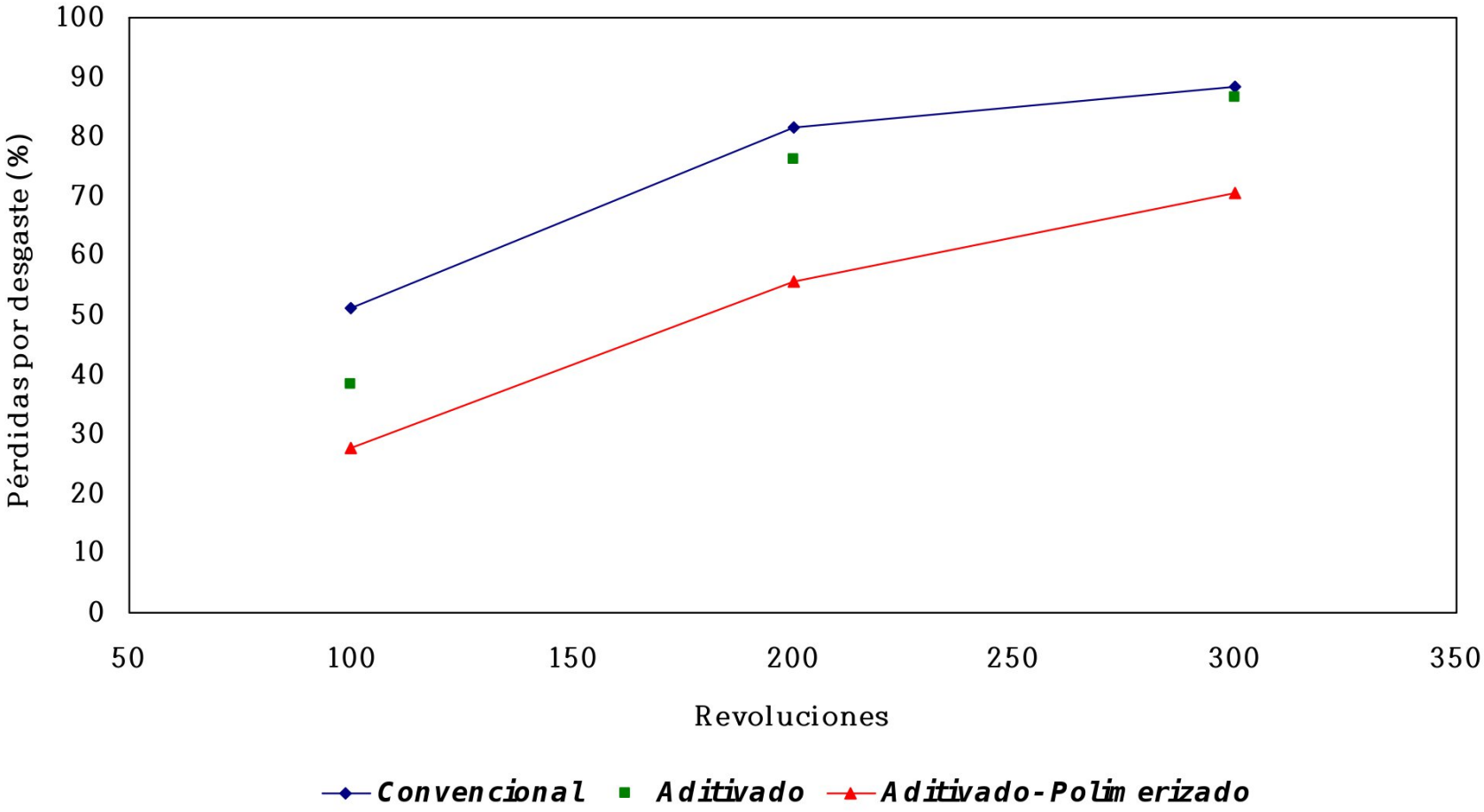
Tabla 3.2.1

Pérdidas por desgaste del ensayo cántabro en seco a 25 ºC y diferentes grados de severidad

Revoluciones	Temperatura ºC	Convencional	Aditivado	Aditivado - Polimerizado
100	25	23.62	20.81	8.24
200	25	45.37	43.33	22.34
300	25	58.79	55.63	29.15

OBSERVACIONES:

Gráfica 3.2.1 ***. Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco a 25 ºC.***



- Como se ve en tabla 3.2.1. al aumentar la severidad del ensayo (numero de revoluciones), las pérdidas aumentan para los tres tipos de ligantes asfálticos ensayados.

- De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 3.2.1. las pérdidas por desgaste del ensayo cantabro son mas pronunciadas al pasar de 100 a 200 revoluciones en aproximadamente el doble. Es por esto que, para comparar su comportamiento, nos vamos a centrar en los resultados que arrojan las pérdidas a 200 revoluciones.

- El cemento asfáltico aditivado polimerizado presenta menores pérdidas (22.34%) que los asfaltos: aditivado (43.33%) y convencional (45.37%).

- Al tener el asfalto aditivado polimerizado un polímero de tipo elastómero (SBR), presenta mayor capacidad de absorber el impacto y por lo tanto menores perdidas que los otros dos asfaltos.

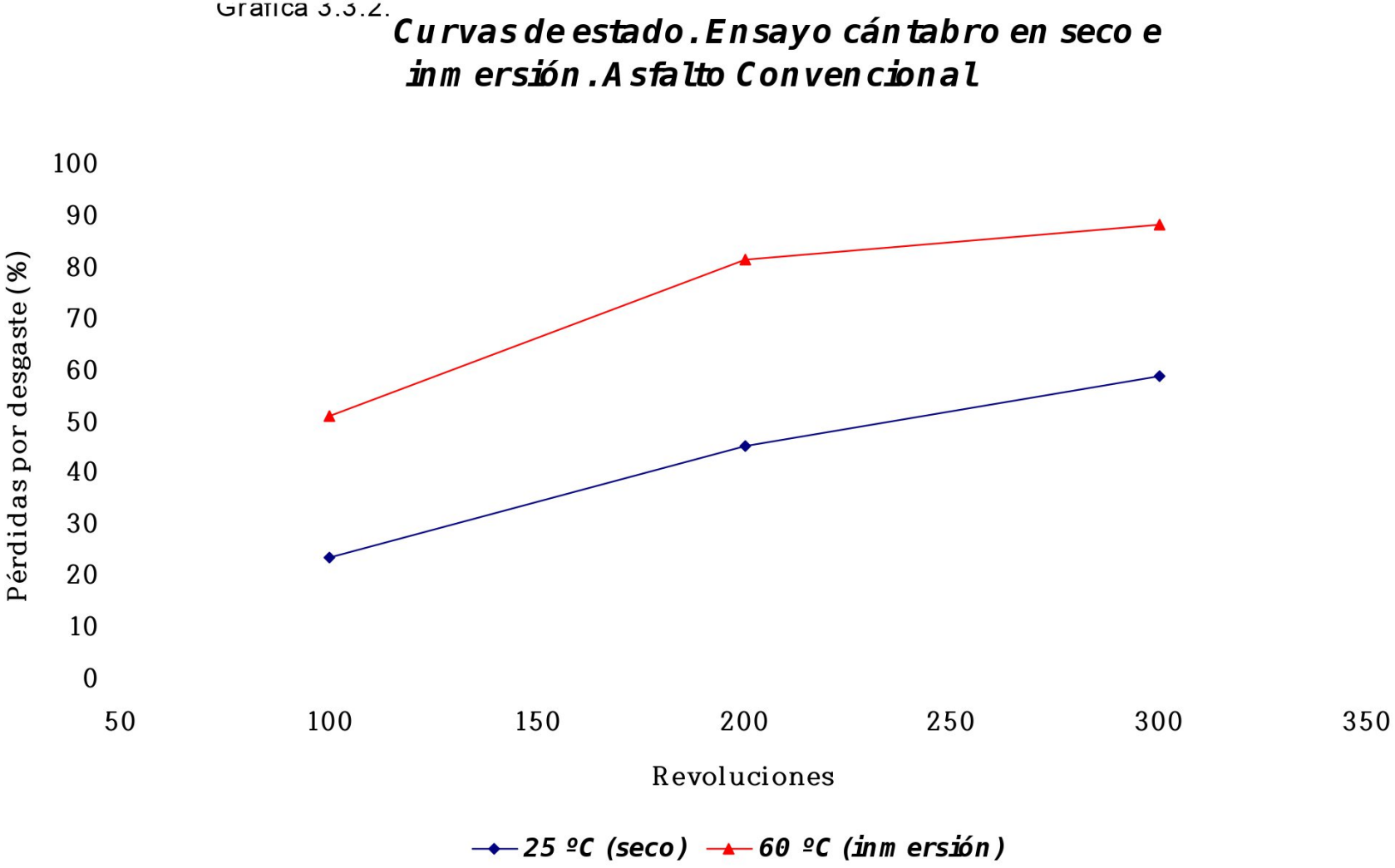
- Comparando los resultados entre el asfalto convencional y el asfalto aditivado se puede observar menores perdidas debido a la presencia de un promotor de adhesión (Magnabond 2700).

3.3. Adhesividad

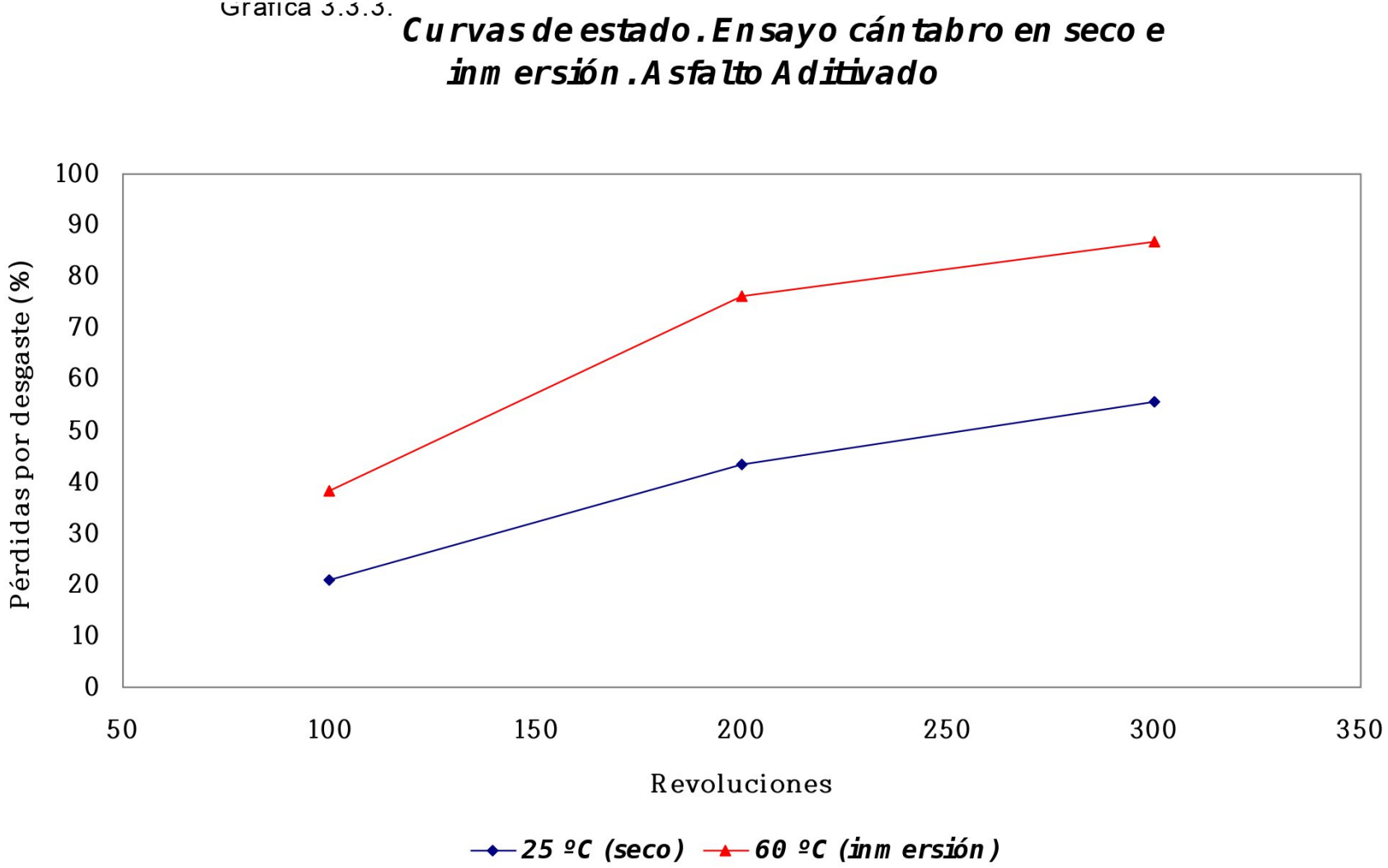
Es la resistencia al desprendimiento de la película bituminosa por acción del agua y se la valora con la pérdida de la resistencia a la abrasión de la briqueta mediante el ensayo cántabro tras inmersión a una temperatura de 60 ºC.

Tabla 3.3.1

Gráfica 3.3.2.

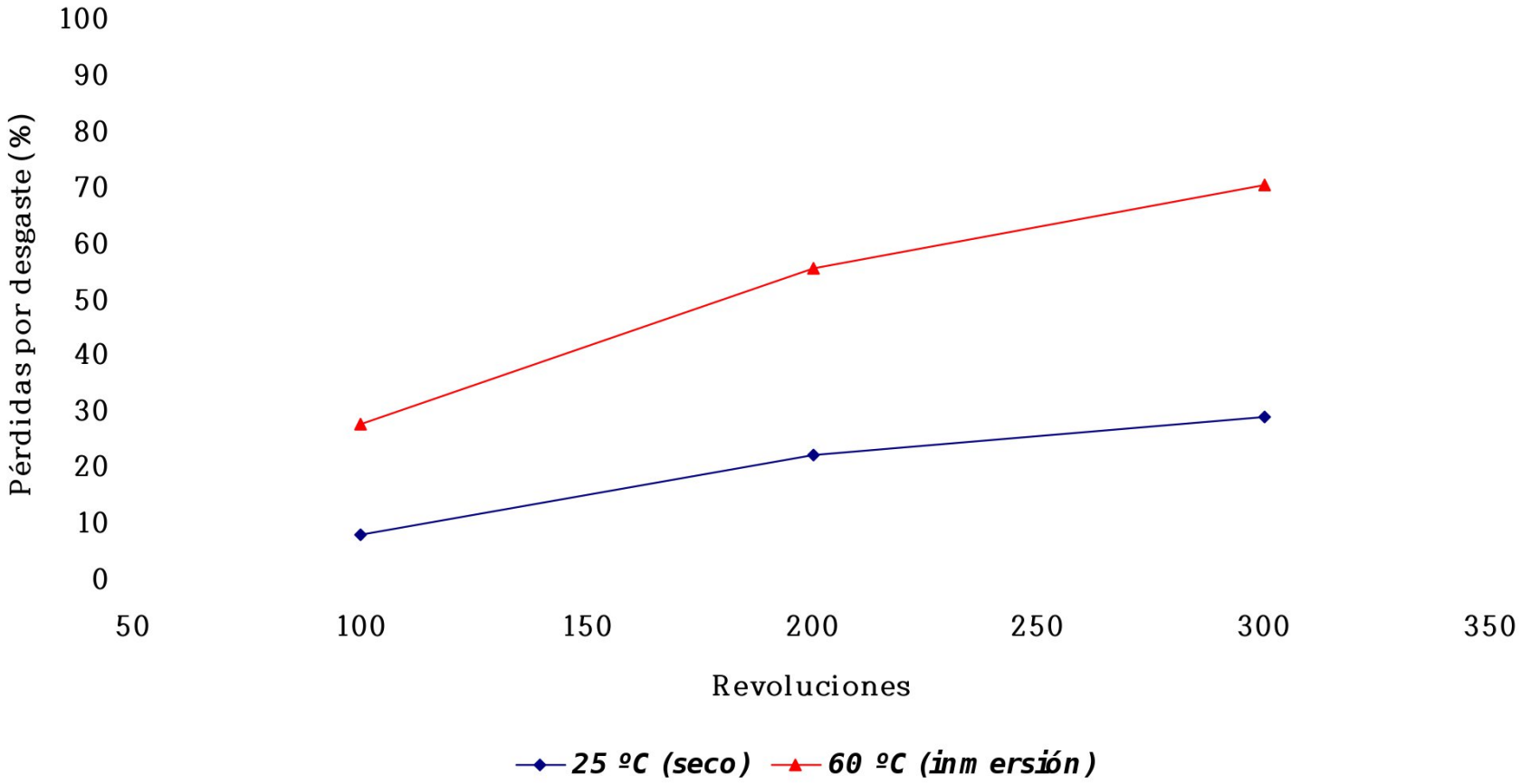

Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco e inmersión. Asfalto Convencional
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
50
100
150
200
250
300
350
Revoluciones
25 ºC (seco)
60 ºC (inmersión)

Gráfica 3.3.3.


Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco e inmersión. Asfalto Aditivado
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
50
100
150
200
250
300
350
Revoluciones
25 ºC (seco)
60 ºC (inmersión)

Gráfica 3.3.4.

Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco e inmersión. Asfalto Aditivado - Polimerizado



Gráfica 3.3.5. ***Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco e inmersión***

- En la tabla 3.3.1 se puede observar que al aumentar la severidad del ensayo (numero de revoluciones), las pérdidas aumentan para los tres tipos de ligantes asfálticos ensayados.

- De acuerdo a las graficas 3.3.3, 3.3.4 y 3.3.5 la tendencia de la pendiente entre las 100 y 200 revoluciones es mayor que la tendencia de la pendiente entre las 200 y 300 revoluciones, por lo que. las pérdidas por desgaste del ensayo cantabro son mayores al pasar de 100 a 200 revoluciones en aproximadamente el doble. Es por esto que, para comparar su comportamiento, nos vamos a centrar en los resultados que arrojan las pérdidas a 200 revoluciones.

- El cemento asfáltico aditivado polimerizado en condiciones: seca (23.82%) e inmersión (55.72%) a 60 °C, presenta menores pérdidas que los asfaltos: aditivado en seco (44.56%) e inmersión (76.11%) y convencional en seco (47.47%) e inmersión (81.58%).

- Si se realiza una comparación de los resultados obtenidos en la medida de la resistencia al desgaste de las briquetas mantenidas en seco a 25 y 60 °C con las briquetas sometidas a condiciones de inmersión durante un día y a 60 °C la diferencia que se puede observar es exclusivamente debido al efecto de la presencia del agua. Esto se puede apreciar en grafica 6.3.6 donde el porcentaje de desgaste de las briquetas mantenidas en condición de inmersión es

mayor, en un rango del 42 al 57 %, que las briquetas mantenidas en condición seca.

3.4. Susceptibilidad térmica

Es la propiedad que analiza la variación del comportamiento mecánico con la temperatura y se analiza a partir de las curvas de estado, que se obtienen realizando el ensayo cántabro variando las temperaturas de la briqueta (-5, 0, 25, 40, 60, 80 ºC); para ello, previo al ensayo, se las mantiene 12 horas a la temperatura con la cual ingresarán al tambor de los Ángeles. De tal forma, se analiza el comportamiento mecánico del ligante observando como va evolucionando el poder aglomerante del mismo a bajas y altas temperaturas.

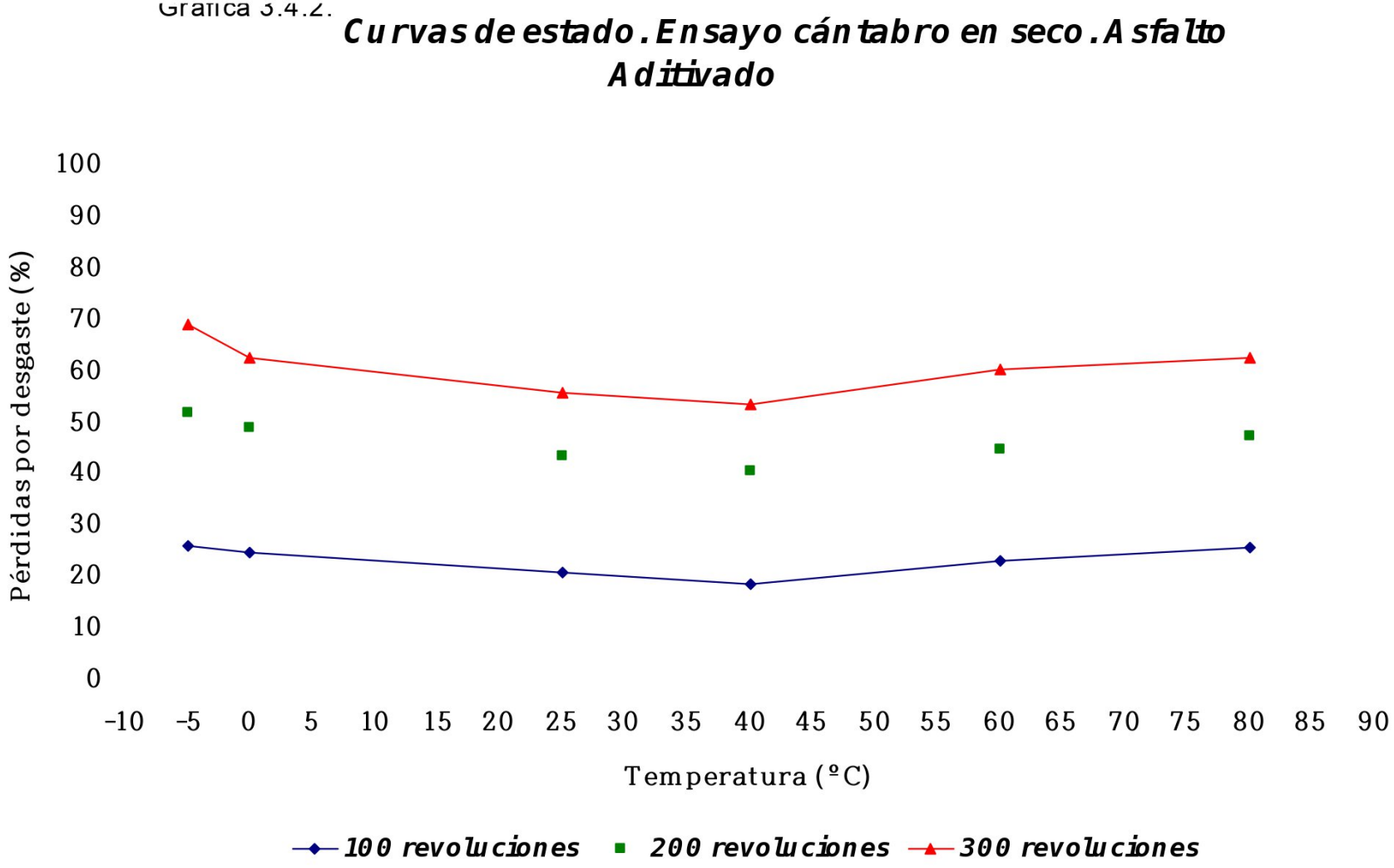
Tabla 3.4.1

Pérdidas por desgaste delensayo cántabro en seco a diferentes temperaturas y grados de severidad

	Temperatura ºC	Convencional	Aditivado	Aditivado-Polimerizado
100 revoluciones	-5	33.61	25.74	13.27
	0	28.86	24.72	11.59
	25	23.62	20.81	8.24
	40	20.38	18.51	7.91
	60	26.87	23.06	10.03
	80	28.18	25.45	10.62
200 revoluciones	-5	57.12	51.88	28.64
	0	49.86	48.81	25.73
	25	45.37	43.33	22.34
	40	41.47	40.40	21.12
	60	47.47	44.56	23.82
	80	48.95	47.19	24.05
300 revoluciones	-5	73.78	69.02	37.39
	0	63.86	62.62	32.77
	25	58.79	55.63	29.15
	40	57.05	53.24	28.47
	60	61.94	60.34	33.34
	80	65.47	62.59	35.08

OBSERVACIONES:

Gráfica 3.4.2.


Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco. Asfalto Aditivado
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
Temperatura (ºC)
100 revoluciones
200 revoluciones
300 revoluciones

Gráfica 3.4.3.

Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco. Asfalto Aditivado - Polimerizado

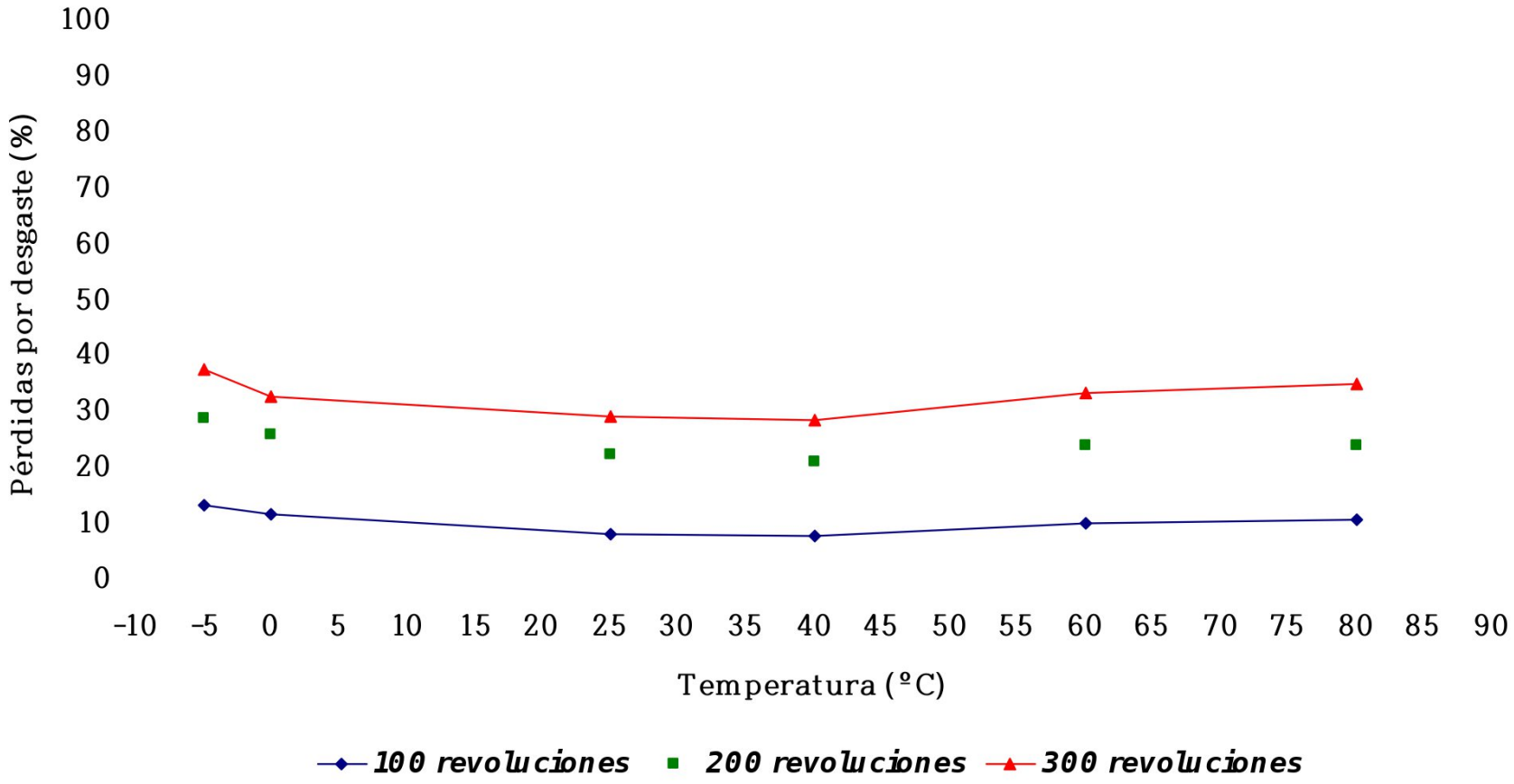
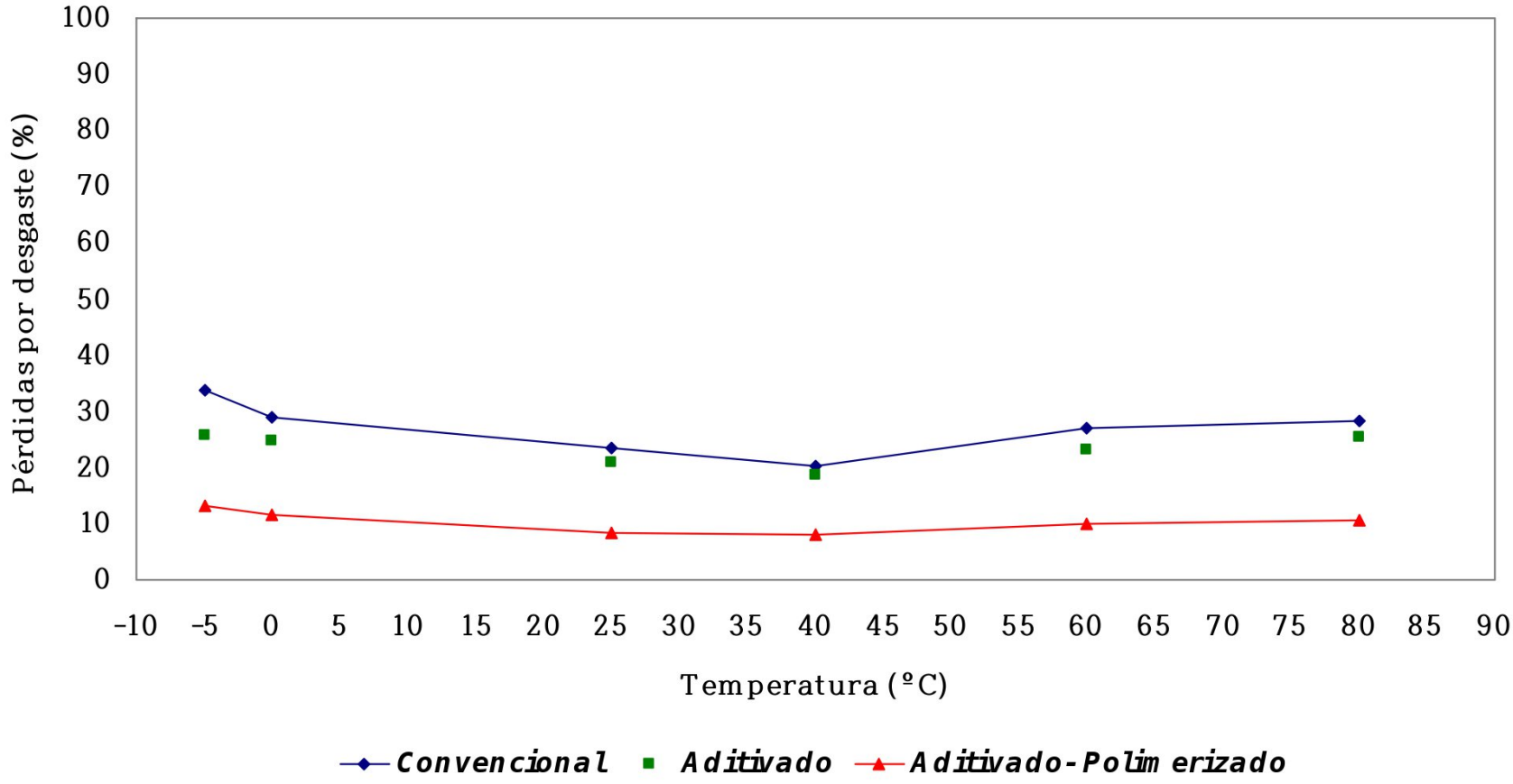
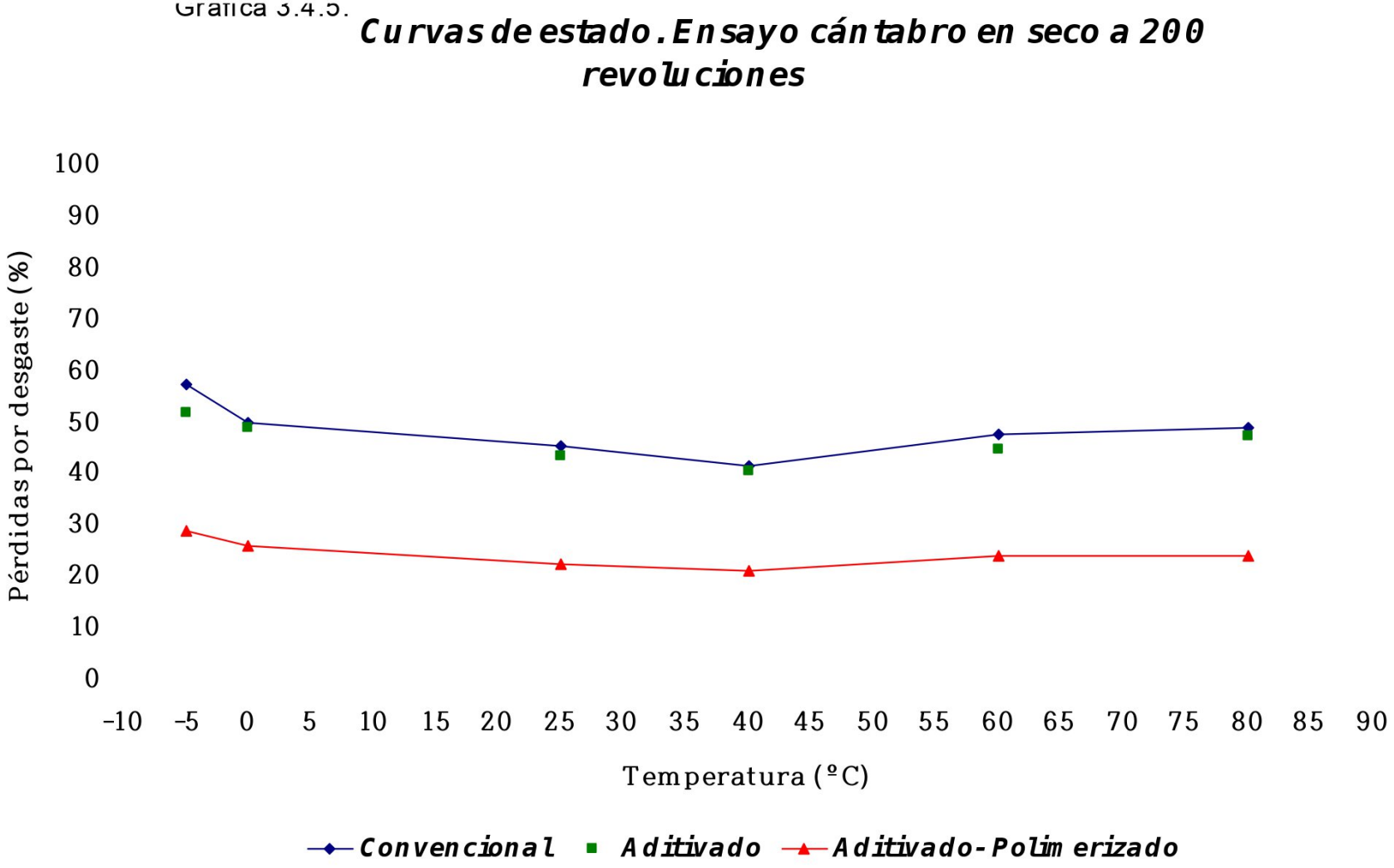


Gráfico 3.4.4.

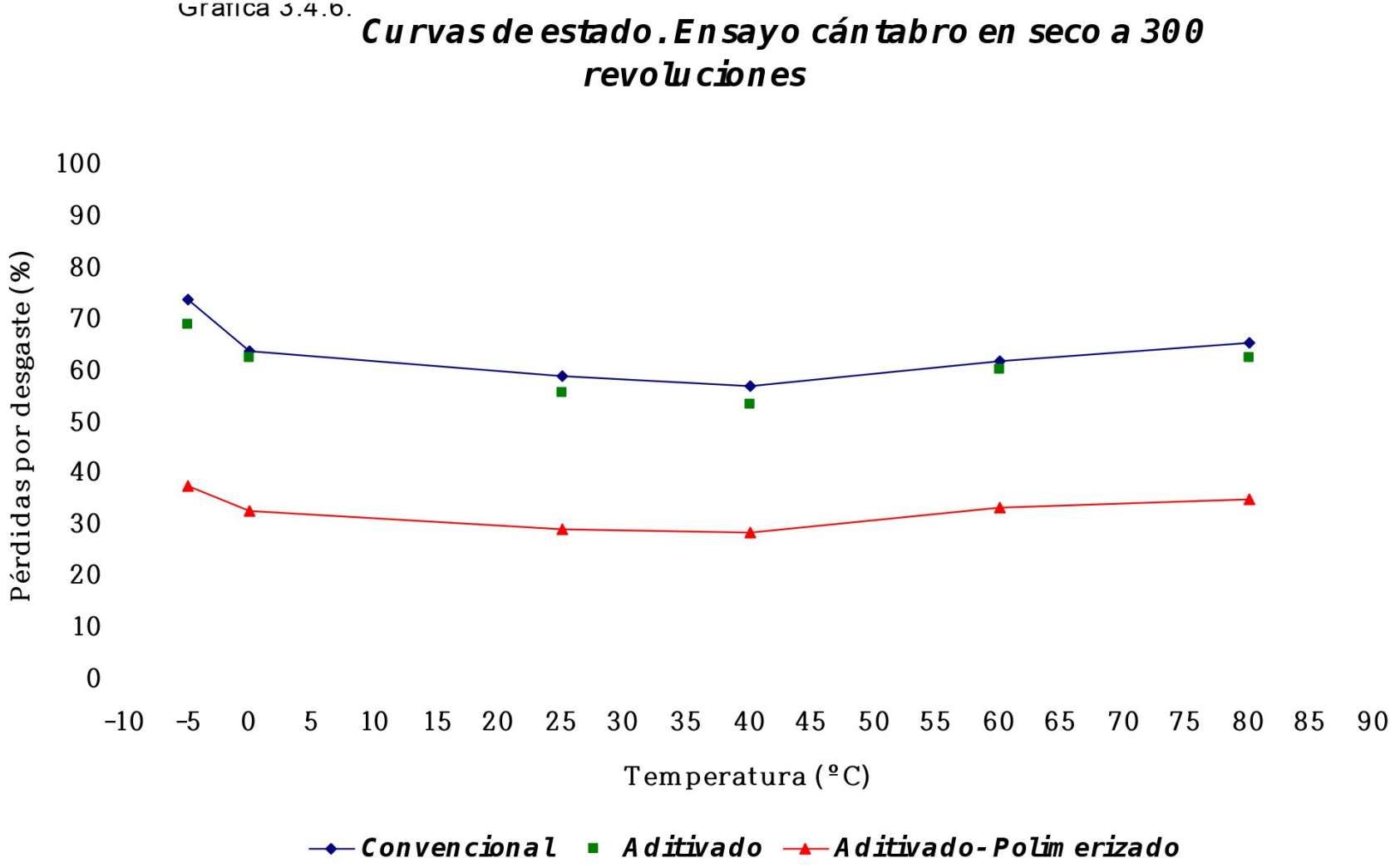
Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco a 100 revoluciones



Gráfica 3.4.5.


Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco a 200 revoluciones
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
Temperatura (ºC)
Convencional
Aditivado
Aditivado-Polimerizado

Gráfica 3.4.6.


Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco a 300 revoluciones
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
Temperatura (ºC)
Convencional
Aditivado
Aditivado-Polimerizado

Gráfica 3.4.7. ***Curvas de estado. Ensayo cántabro en seco a 300***

- En las graficas 3.4.1, 3.4.2 y 3.4.3 se observa que. al aumentar la severidad del ensayo (numero de revoluciones), las pérdidas aumentan para los tres tipos de ligantes asfálticos ensayados.

- De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 3.4.1. las pérdidas por desgaste del ensayo cantabro son mas pronunciadas al pasar de 100 a 200 revoluciones en aproximadamente el doble. Es por esto que, para comparar su comportamiento, nos vamos a centrar en los resultados que arrojan las pérdidas a 200 revoluciones.

- Para la temperatura de 40 C la curva de estado para los tres tipos de ligantes asfálticos alcanzan los mínimos valores como se puede apreciar en la gráfica 3.4.6. El cemento asfáltico aditivado

polimerizado presenta menores pérdidas (21.12%) que los asfaltos: aditivado (40.40%) y convencional (41.47%).

- Al representar las perdidas por desgaste del ensayo cantabro en seco a diferentes temperaturas para los tres tipos de ligantes asfálticos se puede observar la variación del estado del ligante asfáltico con la temperatura: a bajas temperaturas se obtienen elevadas perdidas, las cuáles resaltan el comportamiento frágil del ligante asfáltico; a medida que aumenta la temperatura las perdidas van disminuyendo hasta alcanzar un mínimo (comportamiento elastoplástico) a partir del cual se produce un aumento de estas, debido al comportamiento del ligante asfáltico al ir aumentando la temperatura.

- Vale la pena resaltar en esta evaluación, la sensibilidad que caracteriza al método ya que mediante los ensayos convencionales como el punto de ablandamiento y la penetración nos brinda una tendencia guía del comportamiento que tendría el asfalto, mientras que con el método UCL se nos permite valorar el comportamiento del ligante de una manera mas sencilla, practica y real. Para el caso de esta investigación se observa que:

  - El punto de ablandamiento de los asfaltos convencional, aditivado y aditivado polimerizado son de: 40, 45 y 50 respectivamente con lo cual se espera que el asfalto con menor punto de ablandamiento, en este caso el convencional, tenga mayor porcentaje de perdidas Esto se puede observar en la

tabla 3.4.1 en donde el asfalto convencional tiene un porcentaje de perdidas de 41.47%, que es mayor que el porcentaje de perdidas del asfalto aditivado (40.40%) y del asfalto aditivado polimerizado (21.12%).

- La pendiente de curva de estado esta relacionada con el índice de penetración y es indicativa de la susceptibilidad térmica del ligante asfáltico. Por lo tanto los ligantes que presentan menor susceptibilidad térmica, (mayor IP) tienen menor pendiente en las curvas de estado a bajas y altas temperaturas como es el caso del asfalto aditivado polimerizado (IP = 3.13) que se ve en la grafica 3.4.6.

- Se puede concluir que de acuerdo al criterio del método UCL, el asfalto convencional tendría su rango de uso acotado entre 20 y 105 ºC, que es superado ampliamente por el asfalto aditivado con un rango de uso entre 10 y 115 ºC.

- El asfalto aditivado polimerizado debido a su tendida pendiente posee el mas amplio rango de uso.

3.5. Envejecimiento

Es la propiedad que permite evaluar la resistencia a la oxidación y para evaluarla, el método prevé el análisis del ligante en película fina directamente sobre el agregado al utilizar briquetas con altos contenidos de vacíos, las cuales se someten a distintos periodos de envejecimiento (0, 5, 10, 20 horas) y se ensayan luego siguiendo el procedimiento estipulado por el ensayo cántabro.

Tabla 3.5.1

Pérdidas por desgaste delensayo cántabro en seco a

Gráfico 3.5.2.

Curvas de envejecimiento. Ensayo cántabro en seco. Asfalto Aditivado

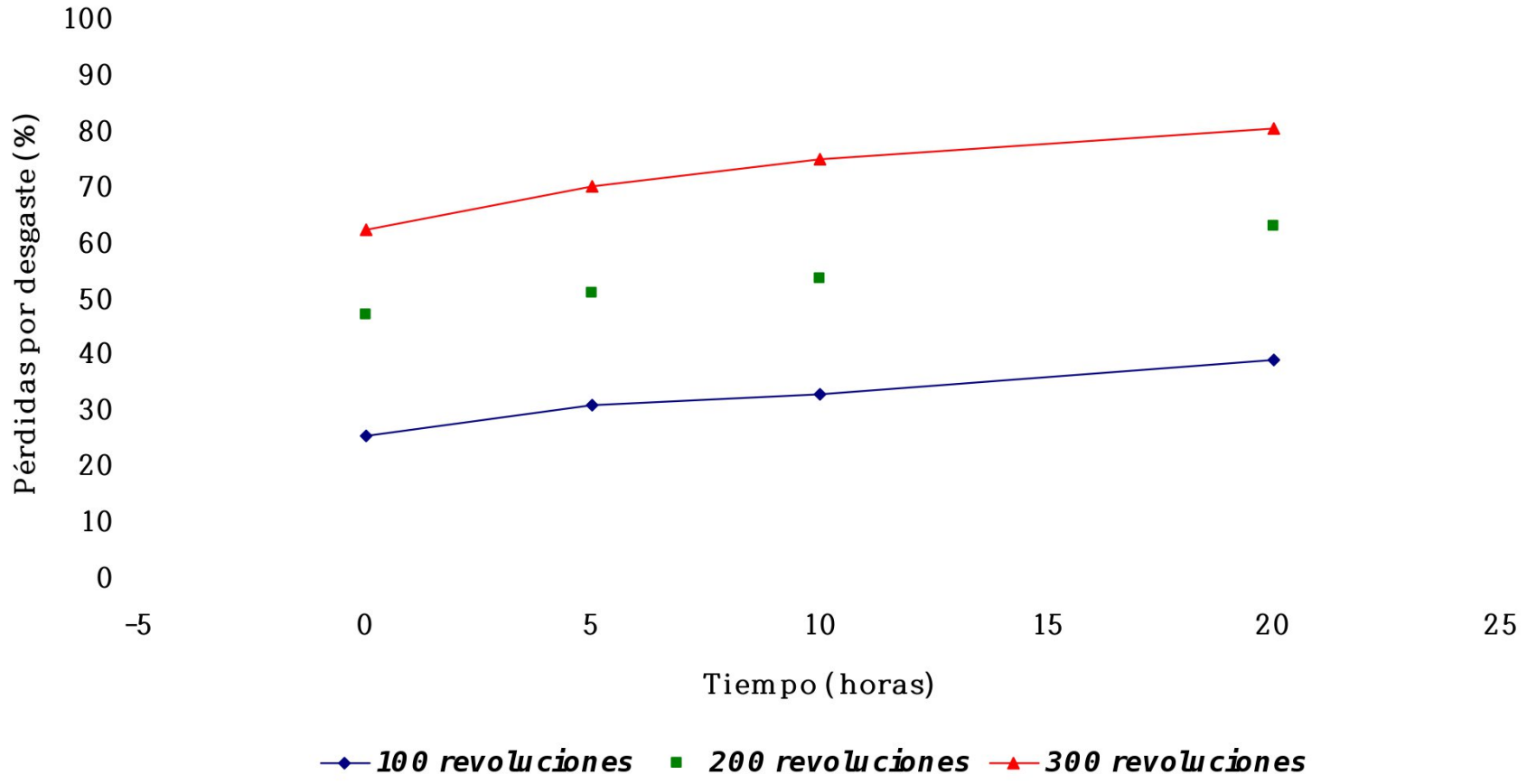
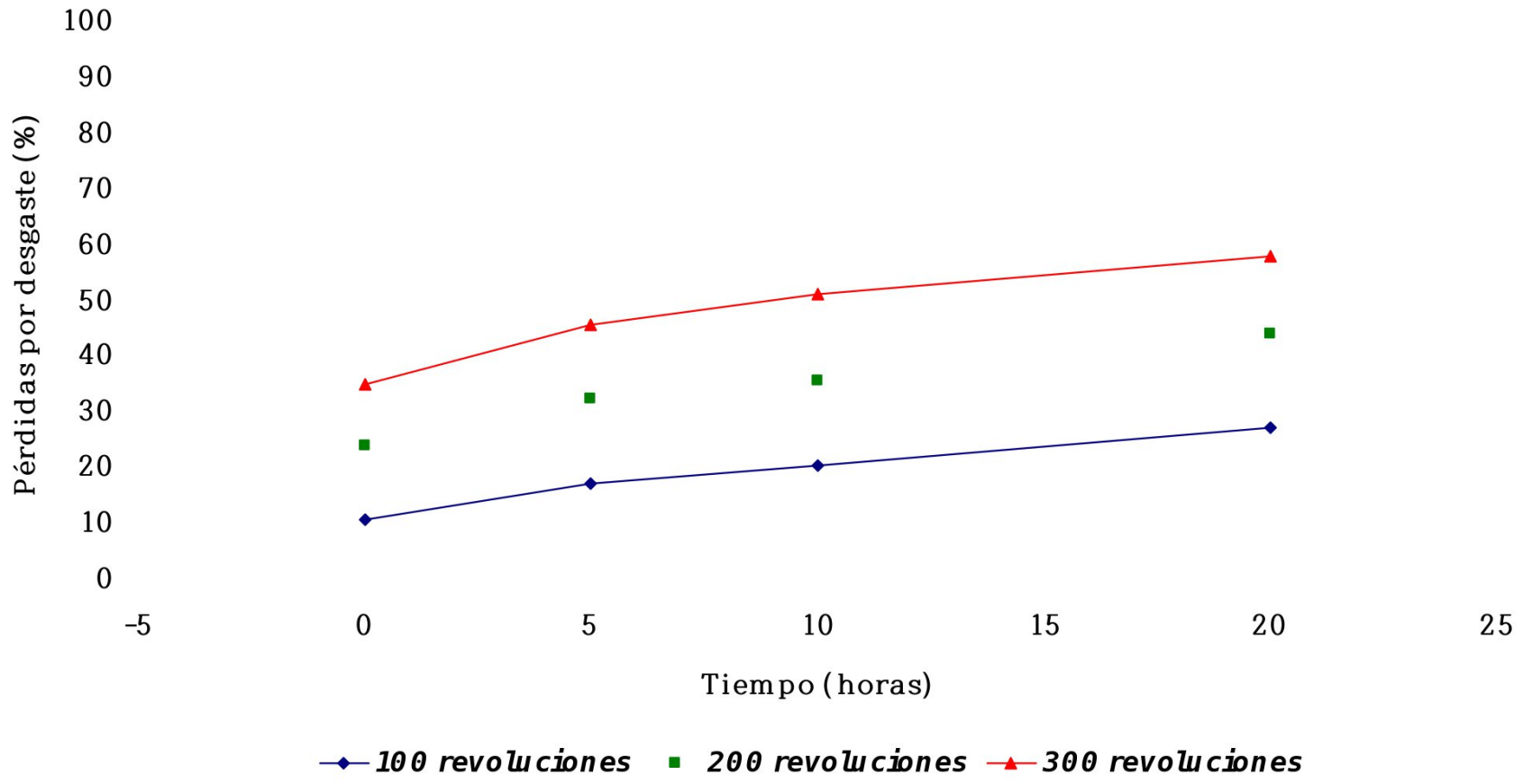


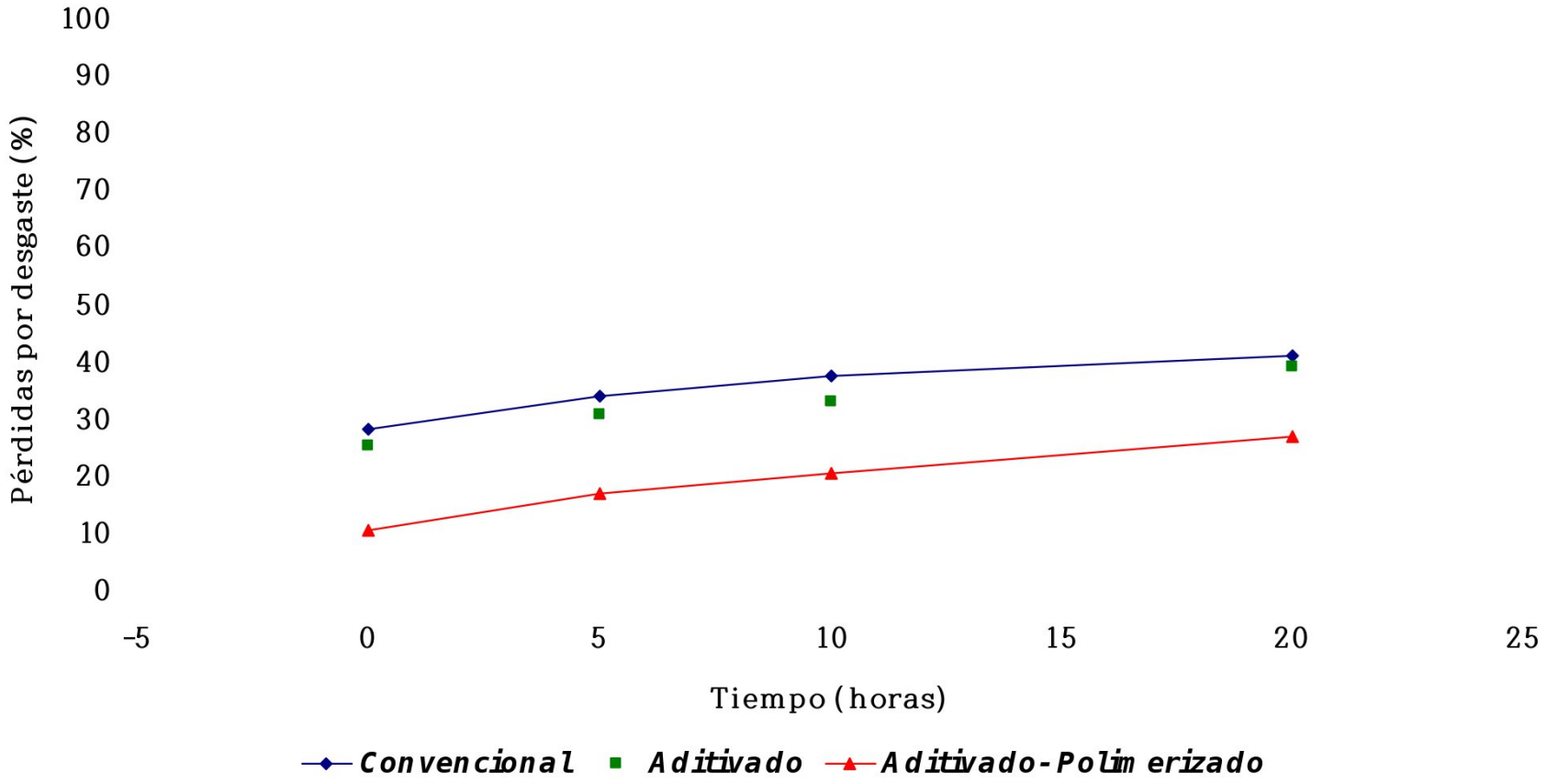
Gráfico 3.5.3.

Curvas de envejecimiento. Ensayo cántabro en seco. Asfalto Aditivado - Polimerizado

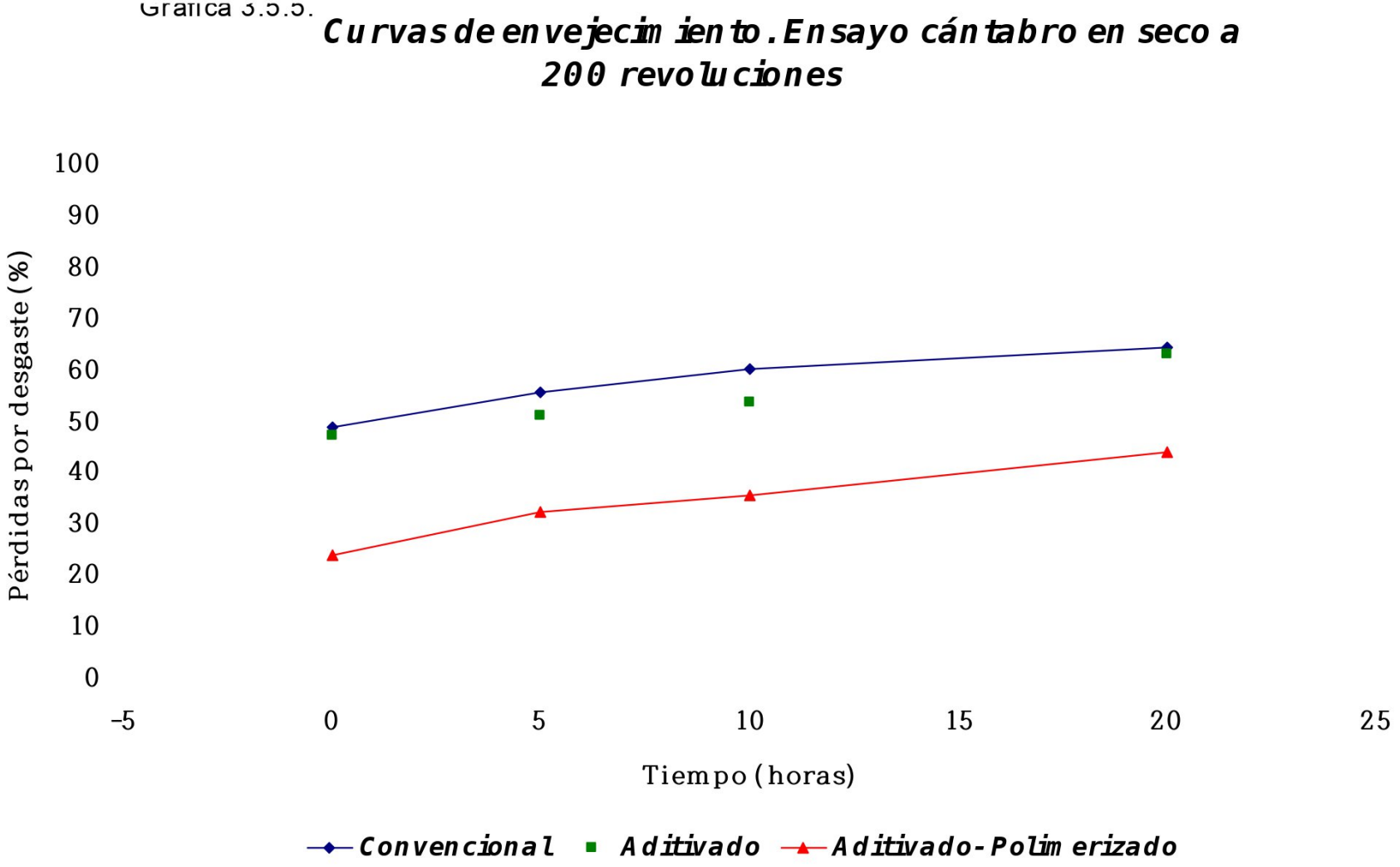


Gráfica 3.5.4.

Curvas de envejecimiento. Ensayo cántabro en seco a 100 revoluciones



Gráfica 3.5.5.


Curvas de envejecimiento. Ensayo cántabro en seco a 200 revoluciones
Pérdidas por desgaste (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-5
0
5
10
15
20
25
Tiempo (horas)
Convencional
Aditivado
Aditivado-Polimerizado

Gráfica 3.5.6. *Curvas de envejecimiento. Ensayo cántabro en seco a*

- Como se ve en tabla 3.5.1. al aumentar la severidad del ensayo (numero de revoluciones), las pérdidas aumentan para los tres tipos de ligantes asfálticos ensayados.

- De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 3.5.1. las pérdidas por desgaste del ensayo cantabro son mas pronunciadas al pasar de 100 a 200 revoluciones en aproximadamente el doble. Es por esto que, para comparar su comportamiento, nos vamos a centrar en los resultados que arrojan las pérdidas a 200 revoluciones.

- El cemento asfáltico aditivado polimerizado presenta de manera general menores pérdidas que los asfaltos: aditivado y convencional como se aprecia en la grafica 3.5.5.

- A medida que aumenta el número de horas de envejecimiento de los tres tipos de asfaltos aumenta el porcentaje de desgaste.

- De acuerdo a la graficas 3.5.1, 3.5.2 y 3.5.3 se observa que las pérdidas en las 10 primeras horas son mas acentuadas, periodo a partir del cual las pérdidas se estabilizan más rápidamente y las curvas de envejecimiento muestran cambios de pendientes.

- La información proporcionada por el método UCL es mucho mas precisa y completa que la que proporcionan los ensayos convencionales ya que esta basada en el deterioro de las propiedades cohesivas del ligante y no sobre la variación relativa de ciertas propiedades que a veces no concuerdan con la respuesta

practica de dicho ligante. Los ensayos convencionales de caracterización que ponen de manifiesto algunas diferencias entre el comportamiento del los ligantes asfálticos analizados son: penetración, ductilidad y punto de ablandamiento tras envejecimiento en película delgada. Para el caso de esta investigación se observa:

- La penetración del asfalto convencional, aditivado y aditivado polimerizado son de: 31, 38 y 40 respectivamente con lo cual se espera que el asfalto con menor penetración, en este caso el convencional, sea mas susceptible al envejecimiento Esto se puede observar en la tabla 3.5.1 en donde el asfalto convencional tiene un porcentaje de perdidas a las 10 horas de 60.24%, que es mayor que el porcentaje de perdidas del

asfalto aditivado (53.82%) y del asfalto aditivado polimerizado (35.45%).

- El aumento del punto de ablandamiento es también un indicador de la susceptibilidad al envejecimiento. El aumento del punto de ablandamiento de los asfaltos convencional, aditivado y aditivado polimerizado son: 8.0, 6.7 y 3.0 respectivamente, lo cual nos indica que el asfalto convencional es el menos resistente al envejecimiento.

- Finalmente la disminución en la ductilidad sobre el residuo en comparación con la ductilidad sobre el asfalto normal nos indica que

el asfalto convencional (50.67) es el mas susceptible a envejecerse seguido por el aditivado (79.33) y el aditivado polimerizado (86.67)

CAPÍTULO 4

Conclusiones y Recomendaciones

CONCLUSIONES

- De acuerdo al ensayo cántabro se seleccionó el agregado proveniente de la mina de Guayllabamba, por presentar menor dispersión en comparación al agregado de la mina de Pifo.

- El trabajo desarrollado, señala las diferencias de comportamiento de los asfaltos empleados de manera habitual en el Ecuador, siendo notables las mejores propiedades cohesivas y de durabilidad proporcionadas por el asfalto modificado, en nuestro caso el asfalto que mejor comportamiento presentó con los agregados de la mina de Guayllabamba fue el modificado por el polímetro elastómero del tipo SBR (70% sólidos).

- Cuando la curva se comporta en forma tendida, el ligante será menos susceptible a la temperatura, caso contrario ocurre cuando la curva es cóncava, demostrándose así, la influencia que tiene la variación de temperatura en el comportamiento frágil e inconsistente de la mezcla.

- El notorio aumento de las pérdidas al pasar de estado seco, a un estado de inmersión, se relaciona directamente con la adhesividad del ligante al árido, siendo más pronunciadas cuando la mezcla se somete a condiciones de inmersión a temperaturas superiores a su punto de ablandamiento.

- Al simular el proceso de envejecimiento de la mezcla asfáltica en el laboratorio se determinó que a mayor período de envejecimiento la resistencia de la misma disminuye, obteniéndose un mayor porcentaje de pérdidas.

- Durante el desarrollo de esta investigación se estableció las siguientes ventajas del uso del método UCL:

    - El beneficio más importante que ofrece este método es el de evaluar la caracterización de las propiedades de los ligantes asfálticos, aplicando un único ensayo, el ensayo cántabro de pérdida por desgaste; superando la sensibilidad de los métodos tradicionales, por cuanto se evalúa el contacto con el

árido después del mezclado y compactado, y no sobre el ligante original.

- El método es muy útil para seleccionar entre los posibles ligantes a utilizar el que se comporte mejor con los áridos disponibles. En este sentido, es la mejor alternativa para evaluar las propiedades adherentes del asfalto y el pétreo, en condiciones de mezcla nueva, envejecida y en presencia de agua.

RECOMENDACIONES

- Debe tenerse en cuenta que, dado que el problema de la adherencia es algo que relaciona dos materiales, ante un cambio en el suministro de uno de ellos, deberá evaluarse nuevamente este parámetro. En este sentido, el método es mucho más eficaz que los habituales existentes para tal fin.

- Es de suma importancia ser cuidadoso en el control efectuado a las temperaturas de mezclado y compactación, ya que éstas varían con respecto a las normas que rigen a las mezclas densas.

- Sugerimos el empleo de este método por la poca logística que requiere, sencillez, iteratividad y facilidad de instalación lo cual permite que personas o entidades que no posean grandes recursos, lo utilicen para obtener un buen nivel de certeza sobre la calidad de sus materiales.

- Se recomienda el análisis de otros parámetros utilizando el método UCL, tales como:

    - Distintos tipos de granulometrías

    - Diferentes combinaciones entre agregados y asfaltos

- Modificación del asfalto para optimización de sus propiedades

- Variación del porcentaje de filler dentro de la mezcla

- Empleo de mezclas bituminosas recicladas

- Empleo de asfaltos de alto módulo

- Variación del porcentaje de vacíos en la mezcla

- Ya que el laboratorio de Suelos de la PUCE posee todos los equipos necesarios y el método UCL es de fácil aplicación se recomienda la

incorporación de éste ensayo al programa de prácticas de laboratorio de la materia de Pavimentos.

- Se debe establecer convenios con universidades que tengan experiencia en la investigación del método UCL, para capacitar a nuestros estudiantes y así lograr un nivel competitivo en el área vial.

- Se sugiere la renovación de los equipos y herramientas del laboratorio de suelos de la PUCE, para lograr un mayor grado de eficiencia en próximas investigaciones.

ANEXO 1

El Petróleo

Introducción

Definición

Origen

Composición

Características

Tipos de petróleo

Exploración y prospección

Perforación

Almacenamiento y transporte

Refinación

Asfaltos de producción nacional

1.1. INTRODUCCIÓN

El petróleo es el energético más importante en la historia de la humanidad, un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo.

La historia del petróleo como elemento vital y factor principal de desarrollo de la humanidad es relativamente reciente, de menos de 200 años. Fue comercializado por primera vez bajo el nombre de “aceite de roca” o “petróleo” en 1850 por Samuel Kier. Desde entonces se desarrollo la industria del petróleo y el aprovechamiento como recurso que ha contribuido a la formación del mundo actual.

En la actualidad, los distintos países dependen del petróleo y su derivados; la estructura física y la forma de vida de las aglomeraciones periféricas que rodean las grandes ciudades son posibles gracias aun suministro de petróleo relativamente ablandante y barato. Sin embargo, en los últimos años ha descendido la disponibilidad mundial de esta materia y su costo relativo ha aumentado.

Siendo el petróleo uno de los más importantes productos que se negocian en el mercado mundial de materias primas y debido a la dependencia que el mundo tiene sobre el petróleo así como la constante inestabilidad que caracteriza al mercado internacional y el precio del petróleo, se han investigado energéticos alternativos sin que se haya logrado una opción que lo sustituya.

En los últimos años la disponibilidad mundial del petróleo ha descendido y su costo relativo ha aumentado. Es probable que a mediados del siglo XXI el petróleo ya no se use comercialmente de forma habitual.

1.2. DEFINICIÓN

La palabra petróleo proviene del latín *"petroleum"*, que significa *"aceite de piedra".* El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrógeno y pequeñas proporciones de heterocompuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxigeno y algunos metales.

Este hidrocarburo puede estar en estado líquido o en estado gaseoso. En el primer caso es un aceite al que también se le dice crudo. En el segundo caso se lo conoce como gas natural.

El ***crudo*** se refiere al petróleo en su forma natural no refinado, tal como sale de la tierra. El crudo es conocido bajo los nombres de petróleo crudo o crudo petrolífero. La proporción de los diferentes hidrocarburos que integran el petróleo crudo varía en cada yacimiento de lo que resulta la existencia de petróleos crudos que varían desde un líquido opaco, negro y grueso, tan pesado como el agua y que contiene muy (a veces nada) de los hidrocarburos que se usan como gasolina, hasta aquellos crudos que pueden contener 40% o más de los componentes de la gasolina, de color claro y transparente y con tres cuartos del peso del agua.

El ***gas natural*** está constituido por metano con proporciones variables de otros hidrocarburos y de diversos contaminantes.

La proporción en la que el metano se encuentra en el gas natural es del 75 al 95% del volumen total de la mezcla (por este motivo se suele llamar metano al gas natural). El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón. Antes de emplear el gas natural como combustible se extraen los componentes más pesados, como el propano y el butano.

Aunque existen yacimientos que proporcionan exclusivamente gas natural, éste va casi siempre asociado al petróleo en sus yacimientos, y sale a la superficie junto a él cuando se perfora un pozo. Sin embargo, el

desarrollo del gas natural se realizó con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural que aparecía en los yacimientos se quemaba como un residuo más, ya que, a pesar de su enorme poder calorífico, no se podía aprovechar por los problemas que plantea su almacenamiento y transporte. No puede ser licuado simplemente bajo presión porque su temperatura crítica, 190 K, es muy baja y, por tanto, debe ser enfriado hasta temperaturas inferiores a ella antes de licuarse (véase Punto crítico). Una vez licuado debe ser almacenado en contenedores muy bien aislados, y su transporte se realiza por tuberías fabricadas con materiales y soldaduras especiales para resistir grandes presiones.

El gas natural se utiliza como combustible doméstico e industrial, además de por su gran poder calorífico, porque su combustión es regulable

y produce escasa contaminación. También se emplea como materia prima en la industria petroquímica en la obtención de amoníaco, metanol, etileno, butadieno y propeno.

1.3. ORIGEN

El problema del origen del petróleo ha sido por mucho tiempo un tema de investigación de mucho interés. Existen dos teorías sobre la formación del petróleo.

La primera teoría denominada inorgánica es la menos popular y hoy en día ha quedado descartada. Esta teoría propone que el petróleo provienen del centro de la tierra de materiales que se produjeron cuando se creó la tierra, propuesta en 1.800 encontrando en Dimitri Mendeleev (descubridor de la naturaleza periódica de los elementos) un defensor; su punto de vista se posaba en que las ocurrencias de petróleo parecían estar controladas, más por las características a gran escala de la corteza terrestre, así como también por las cadenas montañosas y los grandes valles, mediante reacciones químicas, más que por la geomorfología de los depósitos sedimentarios formados a través de los años, además sostenía que existen profundas acumulaciones de petróleo esperando a ser encontradas y que los residuos orgánicos no pueden ser suficientes para dar razón a todo el petróleo de la tierra.

La segunda teoría denominada orgánica comenzó a desarrollarse a principios del siglo pasado. Según esta teoría el petróleo se origina de una materia prima formada principalmente por detritos de organismos vivos acuáticos, vegetales y animales, los cuales se depositaron en mares, lagunas o desembocaduras de los ríos, o en las cercanías del mar. La materia orgánica se deposita y se va cubriendo por sedimentos; por medio de un proceso físico-químico en el interior de la tierra, a la presión y altas temperaturas se produce una degradación. Los organismos que permiten la degradación de la materia orgánica son las bacterias aerobias y anaerobias. Durante este proceso se produce un desprendimiento de oxígeno, nitrógeno y azufre, que forman parte de los compuestos volátiles de los hidrocarburos.

Junto a esa materia orgánica se depositaron mantos sucesivos de arenas, arcillas, limo y otros sedimentos que arrastran los ríos y el viento, todo lo cual conformó lo que geológicamente se conoce como rocas o mantos sedimentarios, es decir, formaciones hechas de sedimentos.

El cieno y la arena se endurecen y se convierten en esquistos y arenisca; los carbonatos precipitados y los restos de caparazones se convierten en caliza, y los tejidos blandos de los organismos muertos se transforman en petróleo y gas natural.

Una vez formado el petróleo, éste fluye hacia arriba de la corteza terrestre porque su densidad es menor que la de las salmueras que saturan los intersticios de los esquistos, arena y rocas de carbonato que constituyen

dicha corteza. El petróleo y el gas natural ascienden a través de los poros microscópicos de los sedimentos situados por encima, Con frecuencia acaban encontrando un esquisto impermeable o una capa de roca densa: el petróleo queda atrapado, formando un depósito. Sin embargo, una parte significativa del petróleo no se topa con rocas impermeables, sino que brota en la superficie terrestre o en el fondo del océano. Entre los depósitos superficiales también figuran los lagos bituminosos y las filtraciones de gas natural.

Las rocas almacenadoras en las que se ha encontrado petróleo son de muy diversas edades geológicas, desde los terrenos arcaicos o primitivos hasta los modernos cuaternarios.

En cuanto a las rocas sedimentarias, estas se acumulan en estratos que por compactación se han convertido en rocas poco resistentes a las fuerzas tectónicas, cada vez que ocurre un movimiento, los estratos sufren deformación, que puede culminar en pliegues menores así como también en cadenas montañosas antiguas o modernas, o pueden convertirse en pequeñas arrugas o pliegues de muchas millas de ancho. Igualmente pueden ser agudamente inclinados para luego ser quebrados, torcidos o rotados, produciendo trampas donde pueden almacenarse hidrocarburos.

Ese proceso de sedimentación y transformación es algo que ocurrió a lo largo de millones de años. Entre los geólogos hay quienes ubican el inicio de todo ese proceso por la época de los dinosaurios y los cataclismos. Otros

opinan que hoy se está formando de una manera similar el petróleo del mañana.

En un comienzo los mantos sedimentarios se depositaron en sentido horizontal. Pero los movimientos y cambios violentos que han sacudido a la corteza terrestre variaron su conformación y, por consiguiente, los sitios donde se encuentra el petróleo.

Es por esto que la geología identifica hoy varios tipos de estructuras subterráneas donde se pueden encontrar yacimientos de petróleo: anticlinales, fallas, domos salinos, etc.

Cuando se encuentra un yacimiento que produce petróleo y gas, a ese gas se le llama →gas asociado". Pero también hay yacimientos que sólo tienen gas, caso en el cual se le llama →gas libre".

Otros yacimientos sólo contienen petróleo líquido en condiciones variables de presión y transferencia. Generalmente el petróleo líquido se encuentra acompañado de gas y agua.

1.4. COMPOSICIÓN

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades

que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes.

Las cadenas lineales de carbono asociadas a hidrógeno, constituyen las parafinas; cuando las cadenas son ramificadas se tienen las isoparafinas; al presentarse dobles uniones entre los átomos de carbono se forman las olefinas; las moléculas en las que se forman ciclos de carbono son los naftenos, y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas (anillo bencénico) se tiene la familia de los aromáticos.

Además hay hidrocarburos con presencia de azufre, nitrógeno y oxígeno formando familias bien caracterizadas, y un contenido menor de

otros elementos. Al aumentar el peso molecular de los hidrocarburos las estructuras se hacen verdaderamente complejas y difíciles de identificar químicamente con precisión. Un ejemplo son los asfaltenos que forman parte del residuo de la destilación al vacío; estos compuestos además están presentes como coloides en una suspensión estable que se genera por el agrupamiento envolvente de las moléculas grandes por otras cada vez menores para constituir un todo semicontinuo.

1.5. CARACTERÍSTICAS

El petróleo asume los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, según su composición y la temperatura y presión a que se encuentra.

Su color varía entre el ámbar y el negro; su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido, por lo que, como medida de seguridad, se le mezcla un compuesto sulfuroso (mercaptano) para descubrir su presencia y evitar intoxicaciones. Puede hallarse solo o mezclado con el petróleo líquido dentro de un mismo yacimiento. En el subsuelo se encuentra por lo general encima de una capa de agua, hallándose en parte superior una de gas.

El hidrocarburo no se encuentra distribuido uniformemente en las capas del subsuelo. Es necesario que concurran cuatro condiciones para dar lugar a un yacimiento donde se acumulo petróleo y gas:

- Una roca almacenadora porosa y permeable, en forma tal que bajo presión, el petróleo pueda moverse a través de sus poros de tamaño microscópico.

- Una roca impermeable sello que evite el escape del petróleo a la superficie.

- El yacimiento debe tener forma de →trampa", es decir, que las rocas impermeables se encuentren dispuestas en tal forma que el petróleo no pueda moverse hacia los lados.

- Deben existir rocas cuyo contenido orgánico se haya convertido en petróleo por efecto de la presión y de la temperatura.

Una característica importante, en los cuatro puntos tratados anteriormente, es que, la generación de la trampa debe ser anterior a los tiempos de migración del hidrocarburo, condición vital para acumularse.

1.6. TIPOS DE PETRÓLEO

Existen parámetros internacionales, como los del Instituto Americano del Petróleo (API) que diferencia sus calidades y por tanto su valor. Así entre más grados API tenga un petróleo, mejor es su calidad.

Las curvas de destilación TBP (del inglés “trae boiling point”, temperatura de ebullición real) distinguen a los diferentes tipos de petróleo y definen los rendimientos que se pueden obtener de los productos por separación directa.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API de la siguiente manera:

Aceite Crudo	Densidad (g/cm^3)	Densidad grados API
Extrapesado	> 1.00	10.00
Pesado	1.0 - 0.92	10.00 - 22.30
Mediano	0.92 - 0.87	22.30 - 31.10
Ligero	0.87 - 0.83	31.10 - 39.00
Superligero	< 0.83	> 39.00

Tabla Nº 1.1. Clasificación del Petróleo

1.7. EXPLORACIÓN Y PROSPECCIÓN

El petróleo pede estar en el mismo lugar donde se formó (en la “roca madre”) o haberse filtrado hacia otros lugares (reservorios) por entre los poros y/o fracturas de las capas subterráneas. Para que se den las condiciones de un depósito o yacimiento de petróleo es necesario que los mantos de roca sedimentaria estén sellados por rocas impermeables (generalmente arcillosas) que impidan su paso. Esto es lo que se llama una “trampa”, porque el petróleo queda ahí atrapado.

En términos geológicos, las capas subterráneas se llaman “formaciones” y están debidamente identificadas por edad, nombre y tipo del

material rocoso del cual se formaron. Esto ayuda a identificar los mantos que contienen las ansiadas rocas sedimentarias. Las “cuencas sedimentarias” son extensas zonas en que geológicamente se divide el territorio de un país y donde se supone están las áreas sedimentarias que pueden contener hidrocarburos.

La exploración debe iniciarse con la identificación de las formaciones. Los procedimientos de investigación se inician con el estudio de bibliografía y cartografía del sector, seguido luego por sondeos geológicos; para lo cual se obtienen fotografías o imágenes por satélite, avión o radar de una superficie determinada. Esto permite elaborar mapas geológicos en los que se identifican características de un área determinada, tales como vegetación, topografía, corrientes de agua, tipo de roca, fallas geológicas,

anomalías térmicas. Esta información da una idea de aquellas zonas que tienen condiciones propicias para la presencia de mantos sedimentarios en el subsuelo.

También se utilizan sistemas magnéticos y gravimétricos desde aviones provistos de magnetómetros y gravímetros, con lo cual se recoge información que permite diferenciar los tipos de roca del subsuelo.

Asimismo los geólogos inspeccionan personalmente el área seleccionada y toman muestras de las rocas de la superficie para su análisis. En este trabajo de campo también utilizan aparatos gravimétricos de superficie que permiten medir la densidad de las rocas que hay en el subsuelo.

Con estos estudios se tiene una primera aproximación de la capacidad de generación de hidrocarburos y de la calidad de rocas almacenadoras que pueda haber en un lugar.

Pero el paso más importante en la exploración es la sísmica, las técnicas de prospección sísmica (que estudian de forma cada vez más precisa de reflexión y refracción de las ondas de sonido propagadas a través de la Tierra) revelan detalles de la estructura e interrelación de las distintas capas subterráneas. Esta técnica es la que permite conocer con mayor exactitud la presencia de trampas en el suelo.

La sísmica consiste en crear temblores artificiales mediante pequeñas explosiones subterráneas, para lo cual se colocan explosivos especiales en excavaciones de poca profundidad, normalmente entre 10 y 30 pies.

En la superficie se cubre un área determinada con aparatos de alta sensibilidad llamados →geófonos", los cuales van unidos entre sí por cables y conectados a una estación receptora.

La explosión genera ondas sísmicas que atraviesan las distintas capas subterráneas y regresan a la superficie. Los geófonos las captan y las envían a la estación receptora, donde, mediante equipos especiales de cómputo, se va dibujando el interior de la tierra. Es algo así como sacar un electrocardiograma

Toda la información obtenida a lo largo del proceso exploratorio es objeto de interpretación en los centros geológicos y geofísicos de las empresas petroleras.

Allí es donde se establece qué áreas pueden contener mantos con depósitos de hidrocarburos, cuál es su potencial contenido de hidrocarburos y dónde se deben perforar los pozos exploratorios para confirmarlo. De aquí sale lo que se llama →prospectos→ petroleros.

1.8. PERFORACIÓN

El primer sistema perforatorio fue mediante cable, el cual recibe el nombre de ***percusión***. Con este sistema se perforó el primer pozo de petróleo en los EEUU en 1859, los primeros en usarlos fueron los chinos para perforar en busca de agua salada como fuente de la industria salina. En este sistema la broca es alternadamente bajada y levantada por medio de un cable de acero, golpeando sucesivamente en el fondo del pozo; la técnica consiste en perforar 5-8 pies, sacar la herramienta y remover los ripios del fondo del poso con la ayuda de un bailes o canasta; cuando ya no se recuperan cortes se repite la operación pozos de este tipo han alcanzado l os 8.000 pies de profundidad.

En la actualidad la mayoría de los pozos petrolíferos se perforan con el método ***rotatorio***. Los pozos petrolíferos son perforados por rotación de

una herramienta llamada “trepano” que se asemeja a un gran broca, este método ha reemplazado casi completamente al de percusión.

1.8.1. Perforación en la producción primaria

La mayoría de los pozos petrolíferos se perforan con el método rotatorio. En este método, una torre sostiene la cadena de perforación, formada por una serie de tubos acoplados. La cadena se hace girar uniéndola al banco giratorio situado en el suelo de la torre. La broca de perforación situada al final de la cadena suele estar formada por tres ruedas cónicas con dientes de acero endurecido. La broca se lleva a la superficie por un sistema continuo de fluido circulante impulsado por una bomba.

El crudo atrapado en un yacimiento se encuentra bajo presión; si no estuviera atrapado por rocas impermeables habría seguido ascendiendo debido a su flotabilidad hasta brotar en la superficie terrestre. Por ello, cuando se perfora un pozo que llega hasta una acumulación de petróleo a presión, el petróleo se expande hacia la zona de baja presión creada por el pozo en comunicación con la superficie terrestre. Sin embargo, a medida que el pozo se llena de líquido aparece una presión contraria sobre el depósito, y pronto se detendría el flujo de líquido adicional hacia el pozo si no se dieran otras circunstancias. La mayor parte del petróleo contiene una cantidad significativa de gas natural en disolución, que se mantiene disuelto debido a las altas presiones del depósito. Cuando el petróleo pasa a la zona de baja presión del pozo, el gas deja de estar disuelto y empieza a expandirse. Esta expansión, junto con la dilución de la columna de petróleo

por el gas, menos denso, hace que el petróleo aflore a la superficie.

A medida que se continúa retirando líquido del yacimiento, la presión del mismo va disminuyendo poco a poco, así como la cantidad de gas disuelto. Esto hace que la velocidad de flujo del líquido hacia el pozo se haga menor y se libere menos gas. Cuando el petróleo ya no llega a la superficie se hace necesario instalar una bomba en el pozo para continuar extrayendo el crudo.

Finalmente, la velocidad de flujo del petróleo se hace tan pequeña, y el coste de elevarlo hacia la superficie aumenta tanto, que el coste de funcionamiento del pozo es mayor que los ingresos que se pueden obtener por la venta del crudo (una vez descontados los gastos de explotación, impuestos, seguros y rendimientos del capital). Esto significa que se ha

alcanzado el límite económico del pozo, por lo que se abandona su explotación.

Figura Nº 1.1. Perforación en la Producción Primaria

Torre de perforación de petróleo.- La torre de perforación rotatoria emplea una serie de tuberías giratorias, la llamada cadena de perforación, para acceder a un yacimiento de petróleo. La cadena está sostenida por una torre, y el banco giratorio de la base la hace girar. Un fluido semejante al fango, impulsado por una bomba, retira los detritos de perforación a medida que el taladro penetra en la roca. Los yacimientos de petróleo se forman como resultado de una presión intensa sobre capas de organismos acuáticos y terrestres muertos, mezclados con arena o limo. El

yacimiento mostrado está atrapado entre una capa de roca no porosa y un domo salinífero. Como no tienen espacio para expandirse, el gas y el petróleo crudo están bajo una gran presión, y tienden a brotar de forma violenta por el agujero perforado.

1.8.2. Recuperación mejorada del petróleo

En la perforación en la producción primaria se ha descrito el ciclo de producción primaria por expansión del gas disuelto, sin añadir ninguna energía al yacimiento, salvo la requerida para elevar el líquido en los pozos de producción. Sin embargo, cuando la producción primaria se acerca a su límite económico, es posible que sólo se haya extraído un pequeño

porcentaje del crudo almacenado, que en ningún caso supera el 25%. Por ello, la industria petrolera ha desarrollado sistemas para complementar esta producción primaria, que utiliza fundamentalmente la energía natural del yacimiento. Los sistemas complementarios, conocidos como tecnología de recuperación mejorada de petróleo, pueden aumentar la recuperación de crudo, pero sólo con el coste adicional de suministrar energía externa al depósito. Con estos métodos se ha aumentado la recuperación de crudo hasta alcanzar una media global del 33% del petróleo presente. En la actualidad se emplean dos sistemas complementarios: la inyección de agua y la inyección de vapor.

Inyección de agua.- En un campo petrolífero explotado en su totalidad, los pozos se pueden perforar a una distancia de entre 50 y 500 m, según la naturaleza del yacimiento. Si se bombea agua en uno de cada dos pozos, puede mantenerse o incluso incrementarse la presión del yacimiento en su conjunto. Con ello también se puede aumentar el ritmo de producción de crudo; además, el agua desplaza físicamente al petróleo, por lo que aumenta la eficiencia de recuperación. En algunos depósitos con un alto grado de uniformidad y un bajo contenido en arcilla o barro, la inundación con agua puede aumentar la eficiencia de recuperación hasta alcanzar el 60% o más del petróleo existente. La inyección de agua se introdujo por primera vez en los campos petrolíferos de Pennsylvania a finales del siglo XIX, de forma más o menos accidental, y desde entonces se ha extendido por todo el mundo.

Inyección de vapor.- La inyección de vapor se emplea en depósitos que contienen petróleo muy viscoso. El vapor no sólo desplaza el petróleo, sino que reduce mucho la viscosidad (al aumentar la temperatura del yacimiento), con lo que el crudo fluye más deprisa a una presión dada. Este sistema se ha utilizado mucho en California, Estados Unidos, y Zulia, Venezuela, donde existen grandes depósitos de este tipo de petróleo. También se están realizando experimentos para intentar demostrar la utilidad de esta tecnología en la recuperación de las grandes acumulaciones de petróleo viscoso (betún) que existen a lo largo del río Athabasca, en la provincia de Alberta, en Canadá, y del río Orinoco, en el este de Venezuela. Si estas pruebas tienen éxito, la era del predominio del petróleo podría extenderse varias décadas.

1.8.3. Perforación Submarina

Otro método para aumentar la producción de los campos petrolíferos —y uno de los logros más impresionantes de la ingeniería en las últimas décadas— es la construcción y empleo de equipos de perforación sobre el mar. Estos equipos de perforación se instalan, manejan y mantienen en una plataforma situada lejos de la costa, en aguas de una profundidad de hasta varios cientos de metros. La plataforma puede ser flotante o descansar sobre pilotes anclados en el fondo marino, y resiste a las olas, el viento y (en las regiones árticas) los hielos.

Torre de perforación marina.- Esta plataforma petrolera semisumergida descansa sobre flotadores y está anclada al fondo. Los pozos marinos producen alrededor del 25% del petróleo extraído en todo el mundo.

Al igual que en los equipos tradicionales, la torre es en esencia un elemento para suspender y hacer girar el tubo de perforación, en cuyo extremo va situada la broca; a medida que ésta va penetrando en la corteza terrestre se van añadiendo tramos adicionales de tubo a la cadena de perforación. La fuerza necesaria para penetrar en el suelo procede del propio peso del tubo de perforación. Para facilitar la eliminación de la roca perforada se hace circular constantemente lodo a través del tubo de perforación, que sale por toberas situadas en la broca y sube a la superficie

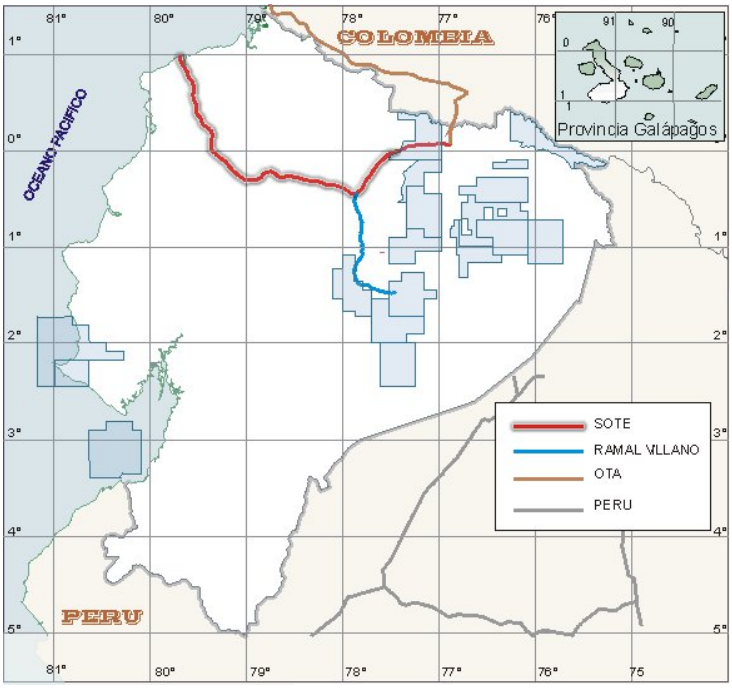
a través del espacio situado entre el tubo y el pozo (el diámetro de la broca es algo mayor que el del tubo). Con este método se han perforado con éxito pozos con una profundidad de más de 6,4 km desde la superficie del mar. La perforación submarina ha llevado a la explotación de una importante reserva adicional de petróleo.

1.9. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Normalmente los campos petrolíferos se encuentran en zonas muy alejadas de los lugares o centros de consumo, de modo que la conducción del petróleo hasta las refinerías exige inversiones considerables, tanto si se trata de oleoductos (pipe-lines), que van del pozo al puerto de destino más

próximo, como de buques cisterna, cuyas dimensiones son cada vez mayores.

En nuestro país para el transporte del petróleo se dispone de la red de tuberías conocida como oleoductos secundarios la cual proviene desde el área norte y sur de los campos petroleros amazónicos que se conectan desde los pozos al centro de fiscalización y transporta el petróleo hasta Lago Agrio.



Mapa Nº 1.1. Oleoductos del Ecuador

Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE)

El Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, constituye la línea de transporte de 503 kilómetros de extensión; la tubería tiene un diámetro de

26 pulgadas en 429.4 kilómetros (desde lago Agrio hasta San Juan y desde Santo Domingo hasta Balao) y en un tramo de 68.2 kilómetros (desde la Estación San Juan hasta Santo Domingo) tiene una tubería de 20 pulgadas.

Atraviesa tres regiones naturales del país Amazonía, Sierra y Costa. El ducto de acero cruza la cordillera de los Andes y llega hasta una altura máxima de 4.064 metros, cerca de Virgen en Papallacta.

Mecanismo de bombeo.- El mecanismo de bombeo consta de cinco estaciones:

- Lago Agrio

- Lumbaquí
- El Salado
- Baeza
- Papallacta

En cada estación se dispone de seis unidades de bombeo, con una potencia total de 74.700 HP., empujando el crudo desde la Amazonía hasta la cima de la Cordillera de los Andes. El petróleo asciende desde la Región Oriental hasta Papallacta gracias al bombeo de las cinco estaciones.

Estaciones reductoras de presión.- En la vertiente occidental de los Andes, el ducto tiene cuatro estaciones reductoras de presión que controlan la velocidad de bajada del crudo desde la cordillera de los Andes hasta el Puerto Petrolero de Balao, en Esmeraldas:

- San Juan
- Chiriboga
- La Palma
- Santo Domingo

Terminal de Almacenamiento de Balao.- En Balao, Esmeraldas, este terminal, a más de otras instalaciones, dispone de 10 tanques de almacenamiento de 322.000 barriles cada uno, con una capacidad total de almacenamiento de 3'220.000 barriles.

*Ampliaciones del Sistema de Oleoductos Transe*cuatoriano.-

Primera ampliación: 300.000 bpd.- En mayo de 1985 se realizó una primera ampliación de la capacidad de transporte del SOTE, de 250.000 bpd a 300.000 bpd por día de operación, para un crudo de 29º API.

El proyecto de ampliación consistió en incorporar una unidad de bombeo adicional en las cuatro estaciones y aumentar en un 50% la capacidad de almacenamiento de combustibles para la operación de cuatro de las cinco estaciones, así como de una unidad de rebombeo en la estación número 1, ubicada en Lago Agrio.

Segunda ampliación: 325.000 bpd.-En marzo de 1992 entró en funcionamiento la segunda ampliación de 300.000 bpd a 325.000 bpd de operación, para un petróleo de 28.5º API.

La ampliación consistió en la instalación de una unidad de bombeo adicional en cada una de las cinco estaciones del oleoducto (Lago Agrio, Lumbaquí, El Salado, Baeza y Papallacta).

Cuarta ampliación - junio 2000.- Para llevar a cabo esta ampliación se realizaron los siguientes convenios:

Convenio con ARCO ORIENTE (AGIP PETROLEUM).- El 17 de diciembre de 1998 se suscribió otro convenio para la optimización del oleoducto a su máxima capacidad. De acuerdo al convenio, se ejecutaron los siguientes trabajos en trayecto entre Baeza y Esmeraldas:

- Instalación de una bomba de potencia adicional en las estaciones de Baeza y Papallacta.

- Reemplazo de las válvulas de control en cada una de las tres estaciones reductoras de presión, ubicadas en San Juan, Chiriboga y Santo Domingo de los Colorados.
- Construcción de una nueva estación de bombeo en Quinindé que tiene tres unidades de bombeo con motores Caterpillar de 4.200 HP.

Además se realizaron las siguientes adecuaciones:

- Construcción de la ingeniería civil para la ampliación de las tres estaciones de bombeo: Lago Agrio, Lumbaquí, El Salado, Baeza y Papallacta.

- Contratación de un sistema interno de inspección del SOTE, con raspadores inteligentes.

- Suministro de todos los intercambiadores, repuestos y materiales necesarios.

Convenio con Repsol-YPF.- Mediante un convenio suscrito en octubre de 1999, se instaló una unidad de bombeo adicional a las existentes en las estaciones de Lago Agrio, Lumbaquí, Salado, Baeza y Papallacta.

Quinta ampliación - junio 2001.- El ministro de Energía y Minas, delineó la política energética minera y señaló como prioridad y política de Estado la construcción del Oleoducto de Crudos Pesados. La construcción del sistema de transporte de crudos pesados permitirá que en 25 meses se inviertan en el país alrededor de 1.100 millones de dólares.

El 26 de junio del 2001, inició el Período de Construcción del Oleoducto de Crudos Pesados.

El Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) será un sistema de transporte integrado por un oleoducto de aproximadamente 500 Km de longitud, que conectará la cabecera de recepción de crudo (proveniente de los productores) de Nueva Loja (Lago Agrio) con el terminal marítimo de Balao (Esmeraldas).

El sistema incluirá, entre otras, las instalaciones necesarias para el almacenamiento, medición, calentamiento, bombeo, reducción de presión y carga en buques del crudo transportado.

El OCP seguirá un recorrido que será principalmente adyacente a la ruta del SOTE, excepto por la desviación en el área Norte de Quito y otras

que sean necesarias para mantener la integridad tanto del OCP como de otros ductos y/o sistemas existentes en el área de derecho de vía del SOTE. La elección de esta ruta satisface el objetivo primordial de minimizar el impacto ambiental, optimizar la seguridad y reducir el tiempo requerido para la realización de la obra.

El OCP está diseñado para transportar petróleo crudo con una gravedad API entre 18° API hasta 24° API. Se prevé calentar el crudo a transportar, hasta una temperatura máxima de 176°F.

El oleoducto troncal Nueva Loja (Lago Agrio) - Balao (Esmeraldas) está diseñado para transportar:

- Un volumen pico de 471.300 barriles/día y sostenible de 410.000 barriles/día desde Nueva Loja (Lago Agrio) hasta el punto de inyección en las cercanías del pueblo de Baeza.

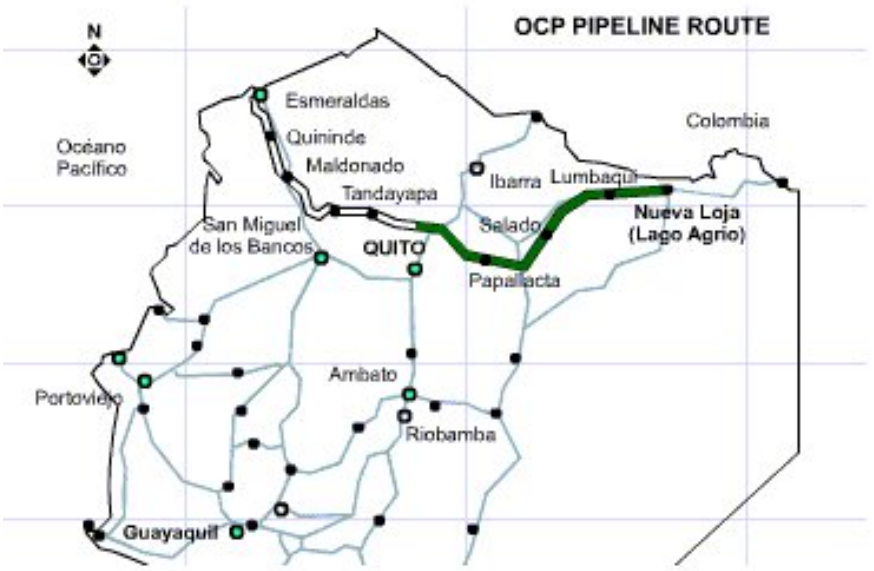
- Un volumen pico de 518.000 barriles/día y sostenible de 450.000 barriles/día desde Baeza hasta el parque de tanques de Balao.

- El Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) será totalmente independiente del SOTE y estará fundamentalmente compuesto por:

- Tanques de recepción de petróleo pesado, ubicado en Nueva Loja (Lago Agrio).
- Estación de Bombeo de cabecera, ubicada en Nueva Loja (Lago Agrio).
- Oleoducto de alta presión que unirá la cabecera de Nueva Loja (Lago Agrio) con el terminal de Balao (Esmeraldas).
- Estaciones intermediarias de bombeo.
- Sistema de inyección en el oleoducto troncal, ubicado en las proximidades del pueblo de Baeza.
- Estaciones reductoras de presión.
- Estación automática de bloqueo por alta presión.
- Tanques de almacenamiento de petróleo pesado, ubicado en el terminal de Balao (Esmeraldas).

- Un terminal marítimo de carga de buques petroleros.

- El oleoducto contará además con todos los requerimientos necesarios para una correcta y segura operación como ser: Válvulas de seccionamiento y de retención de fluido; dispositivos de limpieza interna del conducto; Cruces de carreteras, ferrocarriles, ríos, torrentes y quebradas protegidos y señalizados según corresponda; Protección anticorrosivo de la cañería; Protección catódica; Pruebas hidrostáticas correspondientes; Test de conformidad del conducto mediante el pasaje de un chancho inteligente calibrador; Señalización del oleoducto, etc.



Mapa Nº 1.2. Oleoducto de Crudos Pesados

Tanques de almacenaje en Lago Agrio.- Un parque de tanques de recepción de petróleo pesado de 1.200.000 barriles de capacidad operacional (1.360.000 barriles de capacidad nominal).

Estaciones de bombeo del oleoducto.- Están previstas cinco (5) estaciones de bombeo, de las cuales la primera de cabecera, ubicada contigua al área de la playa de tanques de recepción de petróleo de Nueva Loja y las sucesivas cuatro (4) denominadas intermedia. Estas estaciones estarán constituidas por:

Estaciones reductoras de presión.- En el diseño del OCP se prevén dos estaciones reductoras de presión.

Tanques de almacenaje y despacho en Balao.- La playa de tanques de almacenamiento del petróleo crudo Balao (Esmeralda), estará constituida por Cinco tanques metálicos con capacidad operacional neta de 750.000

barriles de petróleo cada uno, lo que genera una capacidad operacional neta de 3,750.000 barriles.

Terminal marino de carga de buques.- El terminal marino de carga de buques petroleros estará constituido por Dos oleoductos en tierra que conectan la playa de tanques a los conductos submarinos.

Dos conductos submarinos desde la playa del mar hasta los →Pipeline End Manifold→ (PLEM).

Dos sistemas de boyas de amarre de buques petroleros, uno para unidades de hasta 130.000 DWT y el otro para 250.000 DWT.

Cada una de las líneas de carga, incluida las boyas y relativas tuberías están previstas para un caudal de 60.000 barriles por hora.

Sistema de comunicación y detección de perdidas.- Los sistemas de SCADA (Supervisory, Control and Data Acquisition), de comunicación y detección de pérdidas serán diseñados para ser robustos y completos, adecuados para conservar la información en caso de falla de cualquiera de los componentes.

El sistema SCADA se comunicará a través de un circuito de satélite(s) apropiado(s) a todos los dispositivos remotos (USAT,

INTELSAT, HISPANSAT, BRAZILSAT o PanAmSat, etc.).

Configuración del OCP.- El OCP se desviará del SOTE, en las secciones particulares que a continuación se detallan:

- Áreas de interferencia con construcciones y obras de infraestructura construidas con anterioridad.

- Áreas de inestabilidad geológica con riesgos de deslizamientos de taludes.

- Cruces particulares de Ríos y Quebradas en los cuales la construcción del nuevo oleoducto puede perjudicar en futuro la conservación de los dos oleoductos (SOTE y OCP).

- Áreas en las cuales el SOTE está instalado aéreo sobre marcos H y el nuevo oleoducto, a instalarse esencialmente enterrado, no tiene lugar estable de ubicación en el derecho de vía del SOTE.

- Áreas en las cuales el derecho de vía existente del SOTE, ya ocupado por otras tuberías paralelas al SOTE, no ofrece lugar de instalación del nuevo oleoducto OCP.

1.10. REFINACIÓN

En los primeros tiempos, la refinación se contentaba con separar los productos preexistentes en el crudo, sirviéndose de su diferencia de volatilidad (grosor de una molécula), a partir de esto se aprendió a romperlas en partes más pequeñas llamadas “de cracking” para aumentar el rendimiento, advirtiéndose que ellas y los gases subproductos de su fabricación tenían propiedades reactivas.

En el siglo pasado, los franceses de Alsacia refinaron el petróleo de Pechelbronn, calentándolo en una gran cafetera. Así por ebullición, los productos más volátiles se iban primero y a medida que la temperatura

subía, le llegaba el turno a los productos cada vez más ligeros. El residuo era la brea de petróleo o de alquitrán. Asimismo, calcinándolo, se le podía transformar en coque, excelente materia prima para los hornos metalúrgicos de la época.

Los ingenieros americanos y germanos introdujeron l os alambiques en cascada, sistema en que cada cilindro era mantenido a una temperatura constante. El petróleo penetraba en el primero y una vez rescatado lo que podía evaporarse, pasaba al siguiente, que se encontraba a temperatura más alta y así sucesivamente hasta el último, desde el cual corría la brea.

El principio básico en la refinación del crudo radica en los procesos de destilación y de conversión, donde se calienta el petróleo en hornos de proceso y se hace pasar por torres de separación o fraccionamiento y plantas de conversión. En las distintas unidades se separan los productos de acuerdo a las exigencias del mercado.

1.10.1. Destilación básica, primaria o atmosférica

La destilación es un proceso fundamental en la industria de refinación del petróleo, pues permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes puntos de ebullición. El petróleo crudo empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para

hervir el agua. Los hidrocarburos con menor masa molecular son los que se vaporizan a temperaturas más bajas, y a medida que aumenta la temperatura se van evaporando las moléculas más grandes. El primer material destilado a partir del crudo es la fracción de gasolina, seguida por la nafta y finalmente el queroseno. En las antiguas destilerías, el residuo que quedaba en la caldera se trataba con ácido sulfúrico y a continuación se destilaba con vapor de agua. Las zonas superiores del aparato de destilación proporcionaban lubricantes y aceites pesados, mientras que las zonas inferiores suministraban ceras y asfalto. A finales del siglo XIX, las fracciones de gasolina y nafta se consideraban un estorbo porque no existía una gran necesidad de las mismas; la demanda de queroseno también comenzó a disminuir al crecer la producción de electricidad y el empleo de luz eléctrica. Sin embargo, la introducción del automóvil hizo que se

disparara la demanda de gasolina, con el consiguiente aumento de la necesidad de crudo.

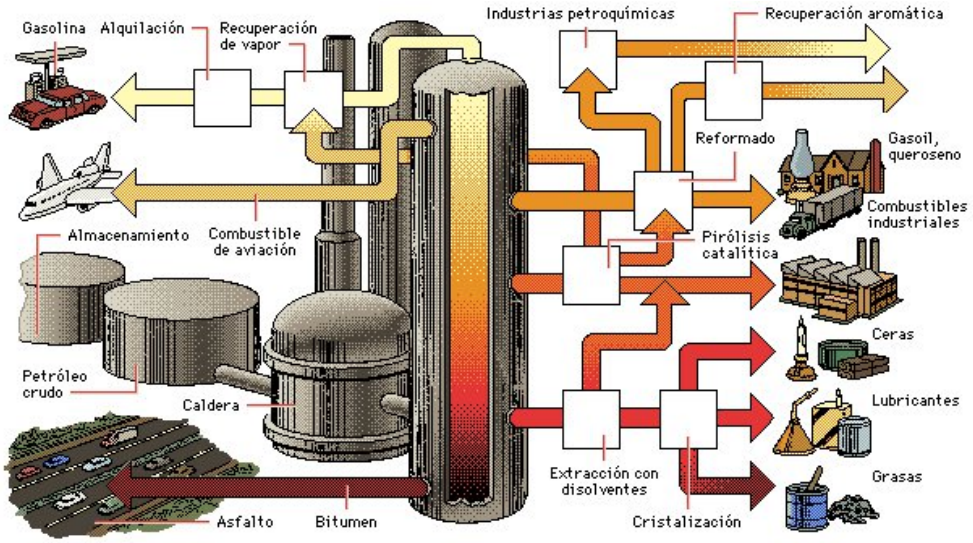


Figura Nº 1.2. Refinación del Petróleo

La primera etapa en el refinado del petróleo crudo consiste en separarlo en partes, o fracciones, según la masa molecular. El crudo se calienta en una caldera y se hace pasar a la columna de fraccionamiento, en

la que la temperatura disminuye con la altura. Las fracciones con mayor masa molecular (empleadas para producir por ejemplo aceites lubricantes y ceras) sólo pueden existir como vapor en la parte inferior de la columna, donde se extraen. Las fracciones más ligeras (que darán lugar por ejemplo a combustible para aviones y gasolina) suben más arriba y son extraídas allí. Todas las fracciones se someten a complejos tratamientos posteriores para convertirlas en los productos finales deseados.

Las características del crudo, así como la cantidad y calidad de productos que se desean obtener determinan el proceso que deben incorporarse a la refinaría:

- La mayor parte de los productos obtenidos en el proceso de destilación primaria se someten a hidrotratamiento para eliminar principalmente azufre y nitrógeno.

- Para la generación de las gasolinas se incorporan procesos como reformación catalítica, síntesis de éteres (MTBE y TAME), alquilación e isomerización de pentanos-hexanos, balanceados de tal forma que la mezcla resultante cumplan con la especificación establecida.

- Los gasóleos de vacío se someten a desintegración catalítica fluida para generar mayor cantidad de destilados ligeros, principalmente gasolina.

- El residuo de vacío puede también someterse a hidrodesintegración o a coquización para aumentar el rendimiento de destilados, o a procesos de hidrotratamiento o reducción de viscosidad para generar combustóleo.

Craqueo térmico.- El proceso de craqueo térmico, o pirolisis a presión, se desarrolló en un esfuerzo por aumentar el rendimiento de la destilación. En este proceso, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Esto divide (craquea) las moléculas grandes de hidrocarburos en moléculas más pequeñas, lo que aumenta la cantidad de gasolina —compuesta por este tipo de moléculas— producida a

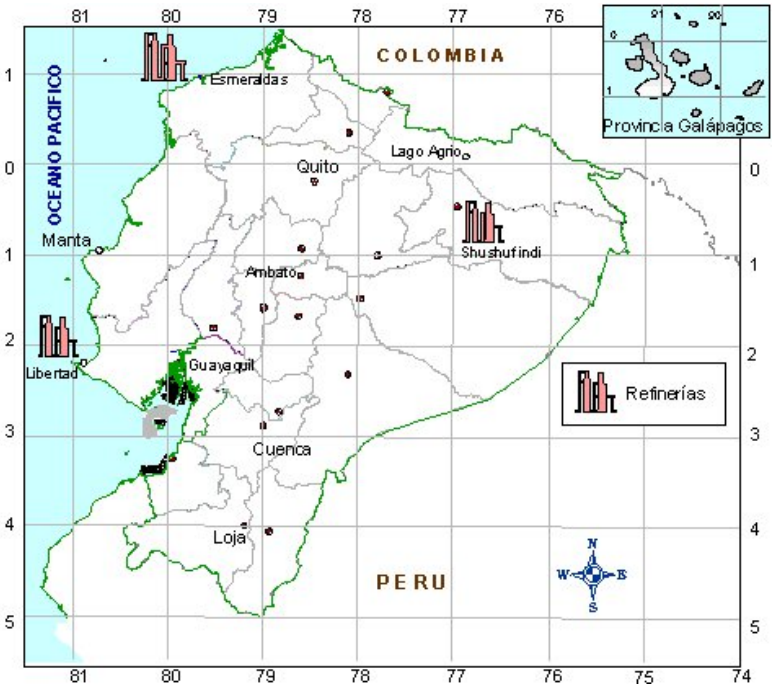
partir de un barril de crudo. No obstante, la eficiencia del proceso era limitada porque, debido a las elevadas temperaturas y presiones, se depositaba una gran cantidad de coque (combustible sólido y poroso) en los reactores. Esto, a su vez, exigía emplear temperaturas y presiones aún más altas para craquear el crudo. Más tarde se inventó un proceso en el que se recirculaban los fluidos; el proceso funcionaba durante un tiempo mucho mayor con una acumulación de coque bastante menor. Muchos refinadores adoptaron este proceso de pirolisis a presión.

Alquilación y craqueo catalítico.-En la década de 1930 se introdujeron otros dos procesos básicos, la alquilación y el craqueo catalítico, que aumentaron adicionalmente la gasolina producida a partir de un barril de

crudo. En la alquilación, las moléculas pequeñas producidas por craqueo térmico se recombinan en presencia de un catalizador. Esto produce moléculas ramificadas en la zona de ebullición de la gasolina con mejores propiedades (por ejemplo, mayores índices de octano) como combustible de motores de alta potencia, como los empleados en los aviones comerciales actuales.

En el proceso de craqueo catalítico, el crudo se divide (craquea) en presencia de un catalizador finamente dividido. Esto permite la producción de muchos hidrocarburos diferentes que luego pueden recombinarse mediante alquilación, isomerización o reformación catalítica para fabricar productos químicos y combustibles de elevado octanaje para motores especializados. La fabricación de estos productos ha dado origen a la

gigantesca industria petroquímica, que produce alcoholes, detergentes, caucho sintético, glicerina, fertilizantes, azufre, disolventes y materias primas para fabricar medicinas, nailon, plásticos, pinturas, poliésteres, aditivos y complementos alimentarios, explosivos, tintes y materiales aislantes.



Mapa Nº 1.3. Refinerías del Ecuador

1.10.2. Refinería Estatal de Esmeraldas

Esta situada en la provincia de Esmeraldas, en el sector noroccidental del país, a 3,8 Km de distancia del Océano Pacífico.

La REE fue diseñada y construida entre 1975 y 1977 para procesar 55.000 barriles por día (BPD). Su primera ampliación, a 90.000 BPD se produjo en 1987. En 1997 se inició su ampliación a 110.000 BDP, adaptándose para procesar crudos más pesados y de menor calidad e incorporando nuevas unidades para mejorar la calidad de los combustibles y minimizar el impacto ambiental.

En los tanques de almacenamiento se recibe el petróleo crudo de los campos de explotación del oriente ecuatoriano, parte del petróleo es refinado y el resto se exporta por el puerto de Esmeraldas.

Productos.- La producción de la refinería esta orientada a satisfacer la demanda de combustibles del país, con el consiguiente ahorro de divisas, y la exportación de ciertos productos. Principales productos:

- Gas licuado de Petróleo
- Gasolinas
- Diesel
- Jet fuel

- Fuel oil, siendo este el principal producto de exportación por el terminal marítimo.
- Asfaltos
- Azufre peletizado

Movimiento de productos.- Para movimiento de productos se ocupa la siguiente infraestructura:

El oleoducto transecuatoriano.- Tiene una capacidad de 330.000 barriles por día de operación para transportar crudo desde los campos de explotación en el oriente.

El Poliducto Esmeraldas – Quito.- Para distribución de gasolinas, diesel y jet fuel al centro del país.

El Terminal Marítimo.- Para exportación o importación de crudo y productos

El patio de llevaderas.- Para despacho de: gas licuado de petróleo, gasolinas, jet fuel, diesel, fuel oil, asfaltos, en auto tanques.

1.10.3. Refinería la Libertad

El 30 de noviembre de 1989 se revertieron al Estado Ecuatoriano las instalaciones de la refinería Anglo Ecuadorian Oilfields Ltda. y en agosto de 1990 las de la refinería Repetrol (ex Gulf), al concluir los contratos de operación con estas compañías. Las instalaciones están ubicadas en la península de Santa Elena.

La Refinería La Libertad (RLL) está diseñada para procesar 45000 BPDO de petróleo crudo extraído del Oriente Ecuatoriano. Produce los siguientes derivados:

- LPG
- Gasolina

- Diesel No. 1
- Diesel No. 2
- Jet Fuel
- JP1
- Fuel Oil No. 6
- Solvente No. 1
- Solvente No. 2 (Rubber Solvent)
- Spray Oil
- Mineral Turpentine.

Para el efecto la Refinería La Libertad cuenta con las siguientes Unidades (Plantas) de Procesos y Servicios Auxiliares.

Unidades de Destilación Atmosférica.- El área de procesos de la Refinería La Libertad comprende básicamente tres Unidades de Destilación Atmosférica: Las Unidades Parsons y Universal que están localizadas en La Libertad y la Unidad Cautivo que está localizada a tres kilómetros del área donde están ubicadas las anteriores.

Actualmente la Refinería La Libertad procesa un petróleo Crudo Oriente segregado entre 27,5 y 28 ºAPI que se transporta por el Oleoducto Trans-Andino (OTA) y además tiene un suministro de 46000 barriles/mes en promedio de un petróleo liviano de 34 a 35 API de los campos de la Península de Santa Elena.

Evacuación marítima.- La Refinería La Libertad cuenta con dos Terminales Marítimos: Cautivo y La Libertad. Este último se compone de un Muelle y un Terminal de Boyas Internacionales.

A través de la Línea Submarina de La Libertad, se puede cargar o descargar buques con una capacidad máxima de carga de 250.000 barriles.

Evacuación terrestre.- Para despacho por vía terrestre Refinería La Libertad, cuenta con un Patio de Despacho que comprende 5 islas de carga.

1.10.4. Complejo Industrial Shushufindi

Está conformado por: refinería Amazonas y planta de gas Shushufindi.

Refinería Amazonas.- Esta proyecto industrial, se concibió en 1977, como una solución a la creciente demanda interna de combustible y la presencia de un número mayor de empresas internacionales contratadas para las actividades de exploración y explotación petrolera en la región amazónica.

En 1985, se inicia la construcción de esta refinería con capacidad para 10 mil barriles diarios. Su capacidad se duplicó a 20 mil barriles diarios de crudo de 28° API, en mayo de 1995.

Esta refinería dispone de dos plantas de destilación primaria y se obtienen los siguientes productos: GLP, nafta bases, kerosén, jet fuel, diesel 2 y crudo reducido.

Planta de Gas Shushufindi.- En Shushufindi, provincia de Sucumbíos, se localiza el principal campo de producción de petróleo del país, de donde se extrae, además, gas natural asociado.

Para aprovechar este recurso en la producción de gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina natural, se construyó la planta de gas Shushufindi con capacidad para procesar 25 millones de pies cúbicos de gas; su operación se inició en febrero de 1984.

La planta se sometió a dos ampliaciones:

La primera comprendió el montaje de compresores de alta potencia en la Estación de Secoya y la construcción de gasoductos, en una extensión de 42 km, para captar y transportar el gas y los licuables que se producen en Secoya y enviarlos a la planta de Shushufindi para su procesamiento.

Esta etapa entró en operación en julio de 1990 y las obras permitieron el incremento de la producción de gas licuado de petróleo, hasta alcanzar las 220 toneladas métricas diarias.

La segunda etapa entró en operación en marzo de 1992 y contempló la ampliación de la planta de gas para procesar 500 toneladas métricas diarias de gas doméstico, utilizando cono materia prima el gas natural de los campos petroleros Libertador, Secoya y Shushufindi.

El gas producido se transporta a través del poliducto Shushufindi - Quito, de donde se lo distribuye para su consumo como combustible doméstico o industrial.

Planta de Gas de Secoya.- Para mejorar la captación de líquidos y gas de los campos Libertador y Limoncocha, en el oriente ecuatoriano, se concibió la implementación de una nueva planta para tratamiento del gas y aprovechar la capacidad instalada de la planta de Shushufindi e incrementar la producción en 80 T/d de GLP.

Esta planta está conformada por los siguientes componentes:

- Compresor para la captación de gas.
- Sistema de separación de CO2 por membranas.
- Sistema de refrigeración por propano.

- Unidad de proceso.

- Sistema de calentamiento.

- Sistema auxiliar y generador eléctrico.

La planta está formada por diecinueve módulos, construidos en fábrica y ensamblados en el sitio, lo que permitirá su reubicación en caso de requerirlo en el futuro. Es la única planta de tipo modular que tiene el país y su capacidad de procesamiento es de 5 millones de pies cúbicos de gas asociado y se recupera aproximadamente 42 gpm de líquidos.

1.11. ASFALTOS DE PRODUCCIÓN NACIONAL

Los diferentes tipos de asfaltos que se emplean en la construcción vial y que se producen en las refinerías de nuestro país son:

- R.C 2
- AP3
- Oxidado

1.11.1. Características

Los asfaltos, son productos que pueden encontrarse en estado natural o ser fabricados utilizando varias fracciones obtenidas en diferentes procesos. Su aspecto característico va de ser negro mate hasta negro brillante.

Desde el punto de vista químico los elementos constitutivos son:

- Carbono : 78 - 85 %
- Hidrógeno : 9 - 12 %
- Azufre : 1 - 10 %
- Oxígeno : 0.6 - 0.7 %
- Nitrógeno : desde trazas hasta el 1.4%

Los componentes básicos son:

- Petrolenos, que son hidrocarburos pesados aromáticos, nafténicos y mixtos
- Maltenos, que son hidrocarburos pesados de todas las clases que tienen cadenas laterales
- Carbenos
- Asfaltenos
- Carboídos

Las materias primas utilizadas para la producción son las fracciones de residuo que se obtienen del proceso de destilación al vacío, producto que por sus características físicas de penetración es utilizado como Asfalto AP-3, de este producto mediante mezcla con nafta pesada se obtiene el asfalto RC-2 y mediante un proceso de oxidación (adición de oxígeno), se obtienen los asfaltos oxidados.

1.11.2. Usos

Son utilizados para la construcción de carreteras, el Asfalto RC-2 para la fase de impregnación y el Asfalto AP-3 para la capa de rodadura.

El asfalto oxidado es utilizado para la impermeabilización de cubiertas, aislante de líneas eléctricas subterráneas, fabricación de embalajes especiales, etc.

ANEXO 2

El Asfalto

Origen

Asfaltos naturales

El asfalto derivado del petróleo

Obtención de asfaltos en refinerías

Composición química

Propiedades reológicas y comportamiento en servicio

Durabilidad

2.1. ORIGEN

Es muy conocido que el término →bitumen→ se originó en Sánscrito, donde la palabra →jatu→ significa alquitrán y →jatubrit→ significa la creación de alquitrán, palabra referida al alquitrán producido por resinas de algunos árboles. El equivalente en latín fue originalmente →gwitu-men→ (cercano al alquitrán) y por otros →pixtu-men→ (alquitrán burbujeado), cuya palabra fue acortada subsecuentemente a →bitumen→ pasada luego del francés a ingles.

Existen varias referencias al asfalto en la Biblia, aunque la terminología usada puede ser bastante confusa. En el libro del Génesis se

refiere al impermeabilizante del Arca de Noe, el cual fue preparado con y sin alquitrán y de la aventura juvenil de Moisés en →Un Arca de Espadaña, pintarrajeada con lodo y con alquitrán".

Aun más confusas son las descripciones de La Torre de Babel. La Versión Autorizada de la Biblia dice: →Ellos tenían ladrillos por rocas y lodo para mortero", la nueva versión autorizada dice: →Ellos usaron ladrillos en vez de piedra y alquitrán en vez de mortero". La traducción de Moffat en 1935 dice: →Ellos usaron ladrillos en vez de piedras y asfalto en vez de mortero"; así como en la nueva versión oficial de la Biblia en español. Tampoco es desconocido que los términos bitumen, alquitrán y asfalto son intercambiables.

Los primeros usos del asfalto.- En las vecindades de depósitos subterráneos de crudo de petróleo, láminas de estos depósitos pueden verse en la superficie. Esto puede ocurrir pos fallas geológicas; la cantidad y naturaleza de este material que se observa naturalmente depende de un número de procesos naturales, los cuales pueden modificar las propiedades del material. Este producto puede ser considerado un →asfalto natural", a menudo siendo acompañado por materia mineral, y la mezcla y dependiendo de las circunstancias por las cuales hayan sido mezcladas.

Existen por supuesto grandes depósitos de crudo de petróleo en el medio ambiente y por miles de años estos han correspondido a láminas superficiales de asfalto →natural". Los antiguos habitantes de esas zonas no

apreciaron rápidamente las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenia el asfalto y rápidamente dejaban de usar este producto para su disposición final. Por mas de 5.000 años el asfalto en cada una de sus formas ha sido usado como un impermeabilizante y/o agente ligante.

Los Sumerios, 3.800 AC, usaron asfalto y se recuerda este como el primer uso de este producto. En Mohenjo Daro, en el valle Indus, existen tanques de agua particularmente bien preservados los cuales datan del 3.800 AC. En las paredes de este tanque, no solamente los bloques de piedra fueron pegados con un asfalto →natural→ sino que también el centro de las paredes tenía →nervios→ de asfalto natural. En Nìnive se encontró

una capa de impermeabilizante debajo de un piso de piedra, un conducto par el agua y un dren, construidos valiéndose de betún.

Este mismo principio se usa actualmente en el diseño de modernos canales y diques. Se cree que Nebuchadnezzar fue un hábil exponente del uso del asfalto debido a que existe la evidencia que el usaba el producto para impermeabilización de los techos de sus palacios y como un ingrediente en sus caminos empedrados. El proceso de momificación usado por los antiguos egipcios también testifica las cualidades preservativas del asfalto, aunque es una materia de disputa si se usó asfalto en vez de resinas.

Los antiguos usos →naturales→ del asfalto descriptos arriba no persisten en dudas en aquellas partes habitadas del mundo donde estos depósitos de asfalto natural estaban fácilmente disponibles. En consecuencia esto parece haber sido poco desarrollo del arte en algún otro sitio. No fue hasta el fin del siglo XIX que alguno de los presentes mayores usos del asfalto fueron introducidos. Sin embargo, esto parecía haber sido algún conocimiento de carpetas alternativas en el periodo intermedio como esta en la grabación que Sir Walter Raleigh, en 1.595 proclamo el lago de asfalto que encontró en Trinidad para hacer el mejor impermeabilizante utilizado en el acollado de barcos. En la mitad del siglo XIX se intenta que el asfalto fuera manufacturado para utilizarse superficies de carreteras. El mismo provenía de depósitos naturales europeos.

Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto manufacturado a partir del crudo de petróleo. Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa disponibilidad, no obstante lo cual a mediados del mismo, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1.870, en USA. El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático -que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1.869- y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos.

En el primer paso, el automóvil obtuvo pronto el favor del público que reclamó buenos caminos para mayor seguridad y confort. El transporte carretero comercial creó la dependencia →camión-camino→ exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back). Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron por entonces (1.905) como paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1.951 y 1.957 en Europa y EE.UU. respectivamente; en Argentina las aniónicas comenzaron a producirse a mediados de la década del '30 y las catiónicas a fines del '60. Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la →era del automóvil y la construcción de carreteras". Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron

hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los áridos (a mano), apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual.

El ritmo de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir costos hizo progresar la operación vial. Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo: regadores de asfalto a presión, distribuidores de piedra, aplanadoras vibrantes, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc. Las mezclas asfálticas en sitio cambiaron niveladoras y rastras por motos niveladoras y plantas móviles o fijas. Las primeras mezclas calientes irrumpieron en el mercado alrededor de 1.870 con plantas intermitentes (pastones) de simple concepción. Hacia 1.900 se había mejorado su diseño incluyendo tolvas de árido, elevadores de materiales fríos y calientes, secadores rotativos, tanques para acopiar asfalto, mezcladoras que permitían cargar vagones a camiones. Entre 1.930 y

1.940 se incorporan cintas transportadoras, colectores de polvo y otros aditamentos, en las décadas del 50 y 60 se desarrollan plantas de mayor capacidad, hacia 1.970 se introducen sistemas computarizados para dosificación y controles de elaboración, polvo y ruido. Todo este proceso mantuvo la operatoria fundamental: secado-cribado-proporcionado-mezclado.

En 1.910 existían en EE.UU. pequeñas plantas en caliente, de mezclado en tambor que hacia 1.930 fueron reemplazadas por las de mezclador continuo, de mayor producción. En 1.960 el procedimiento de secado y mezclado en tambor fue rescatado y actualmente estas plantas (tambor mezclador) producen mezclas de gran calidad y compiten además en el reciclado de pavimentos. Los silos para acopio de mezcla caliente

forman parte de las plantas de tambor mezclador; también suelen encontrarse estos sitios en instalaciones discontinuas para independizar las operaciones de carga de los camiones, o silos de gran capacidad, dotados de revestimiento aislante, permiten al acopio de mezcla caliente durante varios días conservando su trabajabilidad.

La terminadora o pavimentadora asfáltica, fue introducida por Barber Greene en 1.937, después de siete años de experimentación, luego producidas por otras compañías con algunas variantes, pero manteniendo el esquema operativo original. En el campo de nuevos materiales ingresaron los aditivos: polímeros, fibras, agregados livianos, betunes sintéticos incoloros y mejoradores de adherencia. Los trabajos asfálticos se diversificaron: lechadas bituminosas, microaglomerados, carpetas de

reducido espesor, mezclas drenantes, mezclas o lechadas en color para pisos o como seguridad vial.

2.2. ASFALTOS NATURALES

Los asfaltos son materiales aglomerantes de color oscuro, que pueden ser liquidas, semisólidas o sólidas, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un

proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente.

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la glisonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza.

Estos asfaltos pueden clasificarse como: Asfaltos nativos, sólidos o semisólidos.

- **Puros o casi puros.**
    - Asfalto del lago Bermúdez.
- **Asociados con materia mineral**
    - Asfaltos del lago Trinidad.
    - Asfaltos del Irak, Boeton y Selenitza.
    - Asfaltos de roca europeos y americanos
- **Asfaltitas duras**
    - Gilsonita
    - Grahamita
    - Pez lustrosa, Manjar

El asfalto del lago Bermúdez se presenta en el lago del mismo nombre, en Venezuela. Este se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. Aún en nuestros días se usa como aglutinante para pisos de carreteras y como material para pavimentos. El asfalto del lago Bermúdez se refina al vapor igual que el del lago Trinidad.

El asfalto del lago Trinidad se presenta en el lago de asfalto del lago de la isla Trinidad y es considerado como el depósito más importante de asfalto natural en todo el mundo. Este asfalto es bastante duro y hay que extraerlo usando maquinaria especial para dicho fin, tanto así que resulta apto para soportar el ferrocarril que sirve como medio de transporte en la zona. El asfalto del lago Trinidad contiene bastante

materia mineral, algunas fácilmente visibles al microscopio, que se depositan cuando se altera la viscosidad con calor y la viscosidad de sedimentación sigue aproximadamente la ley de Stoke.

En la refinería, se calienta el asfalto crudo en grandes calderas abiertas provistas de serpentinas de vapor para expulsar el agua, y después se cuela. Este producto se conoce con el nombre de Asfalto Trinidad Refinado. El asfalto refinado se reblandece mezclándolo con un residuo líquido de petróleo que sirve de fúndente, y el producto se llama cemento asfáltico o cemento de asfalto del lago Trinidad.

El asfalto del lago Trinidad se adapta bien a las mezclas con alquitrán de hulla para disminuir la volatilidad de éste y hacerlo más consistente y

más estable a los aumentos de temperatura. Este asfalto es miscible con casi todos los demás asfaltos y betúmenes naturales, aceites vegetales y minerales, ceras, breas y alquitrán de hulla. Casi todos los usos de éste asfalto exigen una manipulación a temperatura elevada, y las mezclas con materiales bituminosos más blandos o más duros suelen hacerse a temperaturas comprendidas entre 107 y 204 °C. Este asfalto se emplea como material de pavimentación, y en la fabricación de materiales asfálticos para tejados, materiales impermeabilizantes, mástic asfáltico, revestimiento para tuberías y conductos, y para otros usos especializados.

Los principales yacimientos de roca asfáltica están en Europa y Norteamérica, pero hay depósitos en todo el mundo. Los asfaltos de roca norteamericanos suelen componerse de arenisca o caliza o una mezcla

de ambas, impregnadas con betún; los calizos se diferencian por su estructura física de los que contienen arenisca.

Es así que los asfaltos naturales se manifiestan en distintas formas, entre las que se destacan las siguientes:

Manantiales.- Se presentan en algunas fuentes de las que fluye petróleo o asfalto liquido, generalmente en pequeña cantidad. Provienen comúnmente de depósitos de cierta importancia, con salida al exterior por alguna grieta de la roca

Lagos.- A veces, manantiales como los descritos anteriormente, pero de un gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas. Pueden

dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el conocido de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, el cual es uno de los mayores yacimientos de asfalto natural en el mundo. El material en su estado natural, es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para su mejor aprovechamiento, se someten a sencillos procesos de refinación que le eliminan las sustancias perjudiciales, como se explico en párrafos anteriores.

Exudaciones.- Se presentan en rocas porosas saturadas de asfalto, de las que fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

Impregnando rocas.- Son bastante frecuentes los yacimientos de rocas más o me porosas en las que el asfalto se encuentra llenando parcial

o te mente los poros, pero sin llegar a exudar. La proporción de asfalto contenido en estas rocas puede variar dentro de límites amplios siendo de mayor utilidad aquellas cuya proporción de asfalte mayor del 7%.

Filones.- Son intrusiones de asfalto en una masa rocosa, a través de griete fallas en algunos de sus estratos o bien, la sedimentación alternada de capas de asfalto y otros materiales. El primer origen generalmente da lugar a filones inclinados o verticales y el segundo a filones horizontales. Es el caso de la llamada gilsonita que se encuentra en algunas regiones de los Estados Unidos formando filones verticales que se explotan a cielo abierto. Son famosos los filones de asfalto que se encuentran en el lecho del mar muerto. El asfalto contenido en ellos se denomina asfaltites, caracterizándose por su elevado punto de fusión; cuando se

desprende alguna cantidad de asfalto de estos filones, por efectos de terremotos u otras sacudidas, los trozos de asfalto, por su menor densidad, flotan en la superficie, donde pueden recogerse. Este asfalto no se explota industrialmente, ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas. Representa un gran valor histórico ya que fue una de las primeras fuentes de suministro de asfalto en la antigüedad.

2.3. EL ASFALTO DERIVADO DEL PETRÓLEO

Los asfaltos mas utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo al que a veces también se lo llama *asfalto residual* (residuo de la destilación del petróleo) para distinguirlo de los asfaltos naturales. Estos se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo.

Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado

propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad. Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

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

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS2). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso

pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos.

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

2.4. OBTENCIÓN DE ASFALTOS EN REFINERÍAS

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

2.4.1. Destilación Primaria:

Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375ºC. Los

componentes livianos (nafta, kerosén, gas oil), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

2.4.2. Destilación al Vacío:

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna

fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

2.4.3. Desasfaltización con propano o butano:

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se

destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina →desasfaltización→ y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 ºC).

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

2.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La constitución química del asfalto incluye mayoritariamente carbono e hidrógeno en forma de hidrocarburos junto a sulfuros, oxígeno,

nitrógeno y algunos metales como níquel, vanadio, calcio y magnesio en mucha menor cantidad.

Físicamente es un material de color negro brillante, consistencia semisólida a temperatura ordinaria, presenta un alto grado de adhesividad e impermeabilidad, además es resistente a la mayoría de los ácidos, sales, álcalis y su durabilidad es muy alta en condiciones normales.

Sufre alguna degradación si es expuesto a radiación solar directa (especialmente en alturas mayores a 3.000 m.) o si es calentado a temperaturas sobre 2200C. Es diluido con facilidad en los otros componentes del petróleo (gasolina, kerosén, diesel, etc.,) es altamente hidrófugo y tiene una buena afinidad con los áridos.

Por otra parte, es un material termoplástico, es decir, su condición de estado es dependiente de la temperatura, así, en ambientes fríos se comporta como un sólido elástico, a temperaturas intermedias (ambiente normal - 0oC A 70oC) presenta una condición visco - elástica y a medida que se eleva la temperatura pasa a ser un material de flujo plástico muy viscoso, para tornarse francamente líquido a temperaturas sobre los 110oC o 120oC.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue

mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar , el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura , en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfáltenos. Los maltenos y asfaltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

Esta estructura presenta al asfalto en forma simplificada, sin embargo, hay que enfatizar que la composición química es extremadamente compleja y distinta entre uno y otro asfalto.

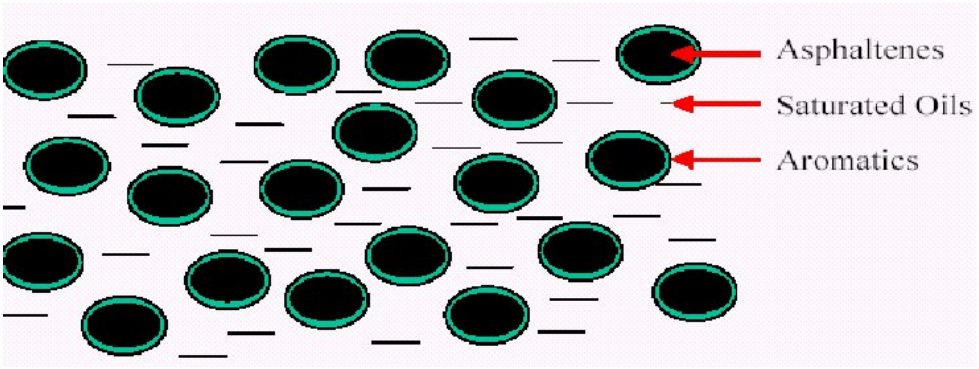


Figura Nº 2.1. Composición química del asfalto

2.5.1. Los Asfáltenos

Se definen como los componentes solubles que se precipitan del petróleo crudo por la adición de un mínimo de 40 volúmenes de n-pentano. Son partículas sólidas, cuyo color va desde el café oscuro hasta el negro, sin punto de fusión definido; al calentarse forman una masa viscosa que se descompone, se hincha y aglutina, dejando un residuo de carbón. Son hidrocarburos de molécula de alto peso molecular (103 a 105 Unidades de Masa Atómica), de carácter predominantemente aromático, y su razón C/H (número de átomos de carbono/número de átomos de hidrógeno) es aproximadamente 0,8 a 0,9. Su grado de aromaticidad aumenta con el valor de la relación C/H.

Diversos estudios analíticos muestran que los asfáltenos están formados por sistemas de anillos aromáticos polinucleares, rodeados de

cadenas alquílicas con un peso molecular que varía de 1.000 a 4.000 unidades de masa atómica (UMA), con estructura plana, generalmente conocida como microestructura. Estas moléculas se agrupan en capas de cinco o seis para formar un cristal o partícula con un peso molecular que varía de 4.000 a 10.000 UMA. A su vez, varios de estos cristales se agrupan para formar las llamadas micelas con peso molecular que varía de 40.000 a 40.000.000 UMA, que contiene en su interior metales como el níquel y el vanadio. A estos agrupamientos se les conoce como la *macro estructura de los asfáltenos*.

En la siguiente figura se muestra la macroestructura de los asfáltenos.

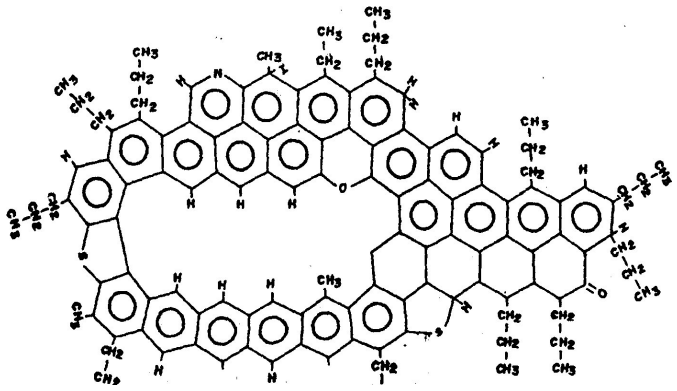


Figura Nº 2.2. Macroestructura de los asfaltenos

Los asfáltenos concentran los compuestos indeseables de los asfaltos, pues contienen los metales pesados y el azufre. Es importante anotar que por la deshidrogenación de los anillos en los crudos resultan los compuestos *clúster,* los cuales están formados por una serie de átomos en donde cada uno de ellos se encuentra enlazado, por lo menos, con otros dos átomos de la misma clase formando un poliedro o fragmento de poliedro.

El contenido de asfáltenos en un cemento asfáltico varía generalmente entre un 15% y un 20%. Por lo general, el valor no dice nada del comportamiento en servicio, pero el crudo pesado y mediano genera un producto de mayor calidad que un crudo liviano.

2.5.2. Los maltenos

Son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición. Se describe como un dispersante coloidal de partículas de asfaltina disueltas en un material parecido al aceite y muy pesado. Los maltenos están constituidos por anillos aromáticos, anillos nafténicos y una muy poca cadena parafínica; generalmente existe mayor proporción de maltenos que asfáltenos. El mayor contenido del primero (maltenos) es lo

que le da la calidad a un asfalto; esto quiere decir que la naturaleza química de los maltenos regula en gran parte las propiedades químicas de los asfaltos.

Los maltenos se separan por métodos físicos en resinas y aceites; las resinas son más pesadas que los aceites, tienen un punto de ebullición más elevado y un carácter más aromático, presentan mayor poder de adsorción. Los maltenos también se pueden separar en diferentes fracciones con distintos puntos de ebullición.

2.5.3. Las resinas y los aceites

Las resinas o aromáticos polares tienen un peso molecular de 1. 100 UMA, con un mayor poder de adsorción y actúan como agente estabilizador de los asfáltenos.

Los aceites, a su vez, poseen un menor poder de adsorción. Son compuestos aromáticos de nafta y componentes saturados, con un peso molecular de 700 UMA. El nivel de compuestos saturados es importante en el asfalto, ya que las ceras o parafinas se consideran como componentes no deseables en él.

Un asfalto de buena calidad requiere que sus componentes químicos estén en una relación que garantice su estabilidad una vez se encuentre en servicio.

Si el asfalto es tratado con un hidrocarburo saturado de bajo punto de ebullición (por ejemplo: N-Pentano), se presentará un rompimiento de la estructura coloidal, disolviéndose una parte del material, mientras que el resto precipitará en forma de partículas grumosas de color oscuro. Los cuerpos precipitados son los asfáltenos y los que quedan disueltos los maltenos; filtrando la disolución obtenida anteriormente a través de un filtro de arcilla activada, se retienen las resinas quedando los aceites en disolución. De este proceso de descomposición se concluye que los asfáltenos son los principales componentes del núcleo de las micelas, los aceites predominan en el líquido intermicelar y las resinas constituyen una fase intermedia entre núcleo y líquido intermicelar.

En conclusión el significado práctico de esto es que las características del asfalto son únicas en cada caso y dependen, entre otros factores, del origen del petróleo crudo, del proceso de destilación seguido en refinería, del manejo posterior del residuo asfáltico y de su historia térmica. En consecuencia, el usuario de este material debe tener una preocupación permanente y acuciosa en los controles de calidad asociados al producto en sí y a todos los procedimientos dispuestos para su aplicación.

2.6. PROPIEDADES REOLÓGICAS Y COMPORTAMIENTO EN SERVICIO

La *reología* es la rama de la Mecánica que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga, mediante el

estudio de propiedades de flujo y deformación como la viscosidad, la ductilidad, la fragilidad, entre otras, permitiendo establecer una relación entre el estado coloidal de los cementos asfálticos y su composición química.

Cualquier material sometido a un esfuerzo cortante suficientemente grande es capaz de deformarse y fluir. Mientras la mecánica racional considera los cuerpos como elementos indeformables y la mecánica elástica los asimila a sólidos perfectamente elásticos, consecuente con la ley de Hoocke, la reología trata el caso más general en que las deformaciones producidas por un agente exterior o por un proceso intrínseco aparecen íntimamente ligadas al factor tiempo.

La estructura coloidal de los ligantes asfálticos hace bastante complicado el estudio de sus propiedades reológicas, que se dificulta aún más por su acentuado carácter termoplástico. Este carácter, es decir, su propiedad de ablandarse y hacerse deformable por efecto del calor, recuperando al enfriarse sus propiedades primitivas, ha hecho posible el empleo del cemento asfáltico como ligante desde la más remota antigüedad, pero es también lo que más complica el estudio de sus propiedades reológicas, pues todas deben estudiarse como funciones de la temperatura, representadas por curvas más o menos complicadas.

A los fluidos en los que existe una proporcionalidad entre la tensión cortante y la velocidad de deformación se les denomina Newtonianos o de fluir simple. El flujo de este tipo es conocido como flujo viscoso o flujo lineal

y la gráfica obtenida se denomina curva de flujo o curva de consistencia, como se ve en la figura. En los materiales Newtonianos, la viscosidad (T) caracteriza completamente al fluir, ya que ésta es independiente de la fuerza aplicada y de la velocidad de deformación.

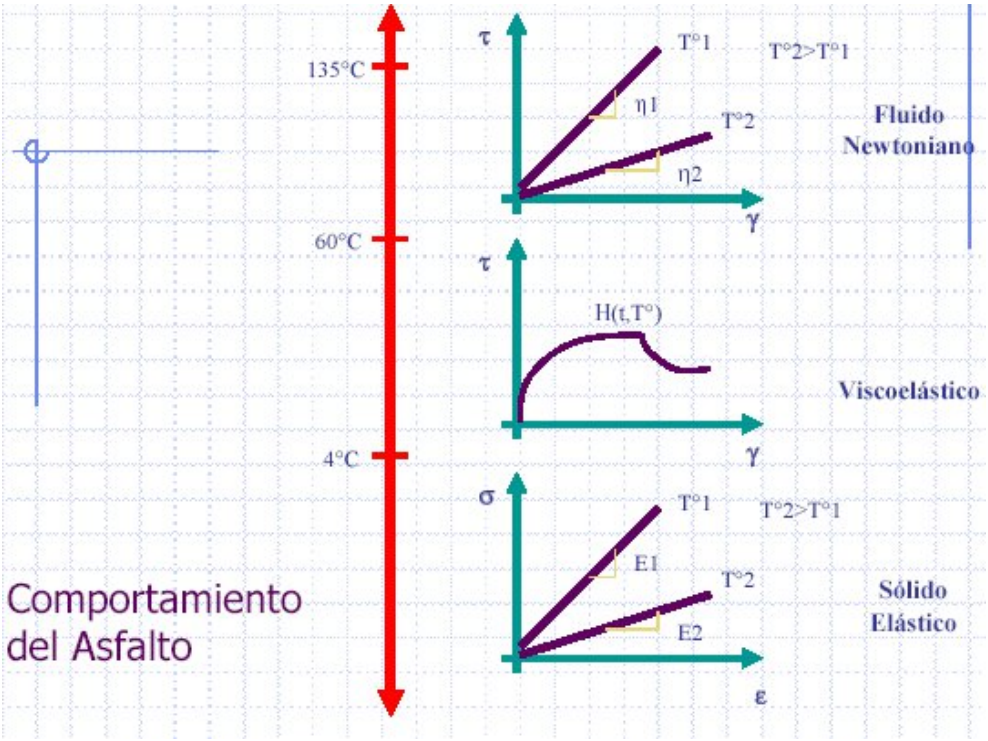


Figura Nº 2.3. Comportamiento del asfalto

Una propiedad característica de los cementos asfálticos de flujo newtoniano es que cuando la tensión cortante se multiplica por un factor A, la velocidad de deformación cortante se multiplica exactamente por el mismo factor.

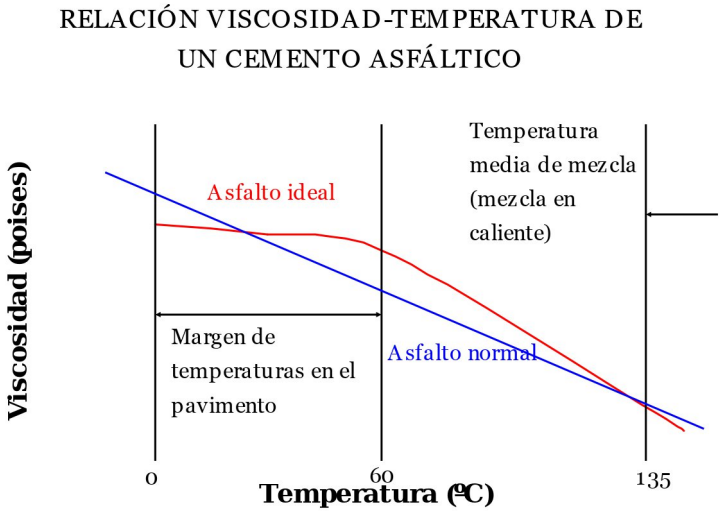
No obstante, existen muchos materiales de interés técnico, llamados, en general, no Newtonianos, que por no ser verdaderos fluidos, muestran viscosidades anómalas. Las leyes de deformación de dichos materiales son intermedias entre las aplicables a los líquidos newtonianos y a los sólidos.

Las curvas de consistencia de los mismos presentan formas mucho más complejas, apartándose de las rectas que caracterizan a los líquidos normales, lo cual significa que el valor de la viscosidad no es una

constante, sino que varía con la intensidad de la fuerza aplicada o con la velocidad de deformación.

2.6.1. Influencia de la Temperatura en la Viscosidad

En casi todas las aplicaciones del cemento asfáltico hay que modificar su viscosidad por calentamiento en algún momento, por lo cual conviene disponer de las curvas viscosidad- temperatura de los ligantes, obtenidas empíricamente determinando la viscosidad del producto a una serie de temperaturas, como se ve en la siguiente figura (relación viscosidad – temperatura):



Gráfica Nº 2.1. Relación viscosidad-temperatura de un cemento asfáltico

El cemento asfáltico se compone de micelas en cuyo núcleo la concentración de asfáltenos es muy elevada y se pasa por un proceso gradual de dilución, a las resinas y a los aceites y líquidos intermicilares. Al elevarse la temperatura, por una parte las fuerzas de adsorción que unen las moléculas disminuyen, lo cual se produce en un aumento de la actividad de los disolventes, que hace, en un cemento asfáltico caliente, el liquido intermicilar ocupe un volumen mucho mayor que en el mismo cemento asfáltico frío. Por otro lado, la viscosidad del líquido intermicilar

también disminuye.

El conjunto, se tiene micelas de menor volumen dispersas en un líquido intermicilar de viscosidad menor. Además, los enlaces entre micelas que pudieran existir inicialmente habrán desaparecido o se habrán debilitado de manera que el cemento asfáltico disminuye con el calentamiento.

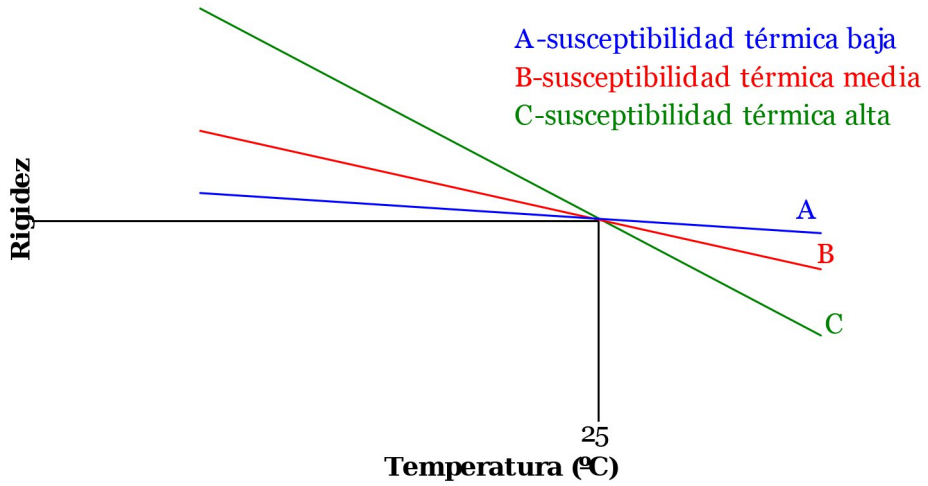
2.6.2. La susceptibilidad térmica del cemento asfáltico

Como se ya se ha explicado anteriormente el cemento asfáltico es un material termoplástico. Su consistencia cambia con la temperatura, la magnitud y duración de la carga. La susceptibilidad térmica del cemento asfáltico se define como el cambio de la consistencia, medida generalmente

por la viscosidad con un cambio de la temperatura. Es una propiedad inherente que tiene todo cemento asfáltico lo cual es necesario manejar y aprovechar al máximo.

El cemento asfáltico con alto grado de susceptibilidad térmica no son deseables ya que su viscosidad a 135 C puede ser muy baja, lo que puede ocasionar problemas durante los procesos de mezclado y compactación. Por otro lado, a bajas temperaturas de servicio su viscosidad puede ser muy alta lo cual puede generar problemas de fisuramiento por contracciones térmicas, como se demuestra en la siguiente figura (Curva de susceptibilidad térmica de cementos asfálticos).

CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS



Gráfica Nº 2.2. Curva de susceptibilidad térmica de cementos asfálticos

Aprovechamiento de la susceptibilidad térmica.- Si un cemento asfáltico presenta una viscosidad muy baja a las altas temperaturas de servicio, se puede generar ahuellamientos. Si por el contrario, el cemento asfáltico presenta altas viscosidades a bajas temperaturas de servicio se presentaran fisuramientos. Lo anterior va unido a los cambios en el sistema coloidal que se puedan haber presentado durante la elaboración de la mezcla en planta.

La susceptibilidad térmica de un cemento asfáltico se utiliza principalmente en los siguientes casos:

- Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación

- Calibración de las temperaturas de manejo en planta y servicio.

Para nuestro caso se discutirá solamente la importancia que tiene para obtener temperaturas de mezclado y compactación.

La facilidad de manejo de un material esta determinada por su relación viscosidad-temperatura, la solubilidad y la posibilidad de

emulsificaciòn. De estos tres procedimientos, el más común es el reducir la viscosidad del cemento asfáltico por calentamiento.

Es característica del cemento asfáltico que viscosidad disminuya rápidamente al crecer la temperatura. La relación viscosidad-temperatura es el factor que gobierna la aplicación en caliente del cemento asfáltico, y es evidente la importancia de determinar una temperatura necesaria para reducir su viscosidad l valor requerido para una operación dada.

La temperatura de aplicación de un material bituminoso es muy importante tanto en el diseño de las mezclas como en las etapas de fabricación y colocación en obra. El grado de recubrimiento de los agregados se ve altamente influenciado por la viscosidad del ligante y ésta, a su vez, por la temperatura. Por lo tanto, es necesario contar con una

viscosidad óptima del cemento asfáltico para el mezclado, ya que si ésta es muy alta no se podrá obtener un óptimo recubrimiento y si es muy baja es muy posible que se presente durante el transporte de la mezcla escurrimiento del ligante asfáltico con la pérdida de cobertura.

Durante el proceso de compactación si la viscosidad es muy alta se presentarán dificultades para obtener el grado de compactación exigido y lo que es más importante, quedará un alto porcentaje de vacíos, nocivos para la durabilidad del ligante y por tanto de toda la estructura del pavimento.

Para el proyecto de mezclas asfálticas en el laboratorio utilizando el método de Bruce Marshall, la norma ASTM DI 559 establece que la viscosidad del cemento asfáltico durante el proceso de mezclado debe estar en 85 ± 10 Segundos Saybolt Furol y la viscosidad del cemento asfáltico

en el momento de compactar las briquetas en 140 ± 15 Segundos Saybolt Furol.

En la siguiente figura se muestra una curva típica de susceptibilidad térmica para un cemento asfáltico, indicando la forma de obtener estas temperaturas.

2.7. DURABILIDAD

El endurecimiento que se produce en el asfalto durante su manejo y en las condiciones de servicio, se tomo durante largo tiempo como medida de su valor económico.

Todos los materiales bituminosos utilizados en la construcción de capas de rodadura asfáltica de una u otra forma se ven afectados bajo la acción de factores internos y externos. La consistencia del asfalto cambia con la temperatura haciéndose mas blando o suave en condiciones cálidas y endureciéndose en condiciones frías.

La durabilidad de un cemento asfáltico se define como su capacidad para mantener las propiedades ligantes y cohesivas en la mezcla, antes y después de envejecido. Las cualidades del cemento asfáltico deben mantenerse a lo largo de la vida útil del pavimento con el objeto de que cumpla la misión que tiene encomendada. A favor de esa inalterabilidad juega un papel importante la naturaleza del material, constituido por hidrocarburos de distintos grados de polaridad, y por el contrario, a favor de

esta evolución juegan factores internos y externos. Entre los internos, el propio sistema coloidal, muestra una cierta tendencia a evolucionar hacia la gelificación con el consiguiente aumento de la dureza y fragilidad, mientras que las condiciones climáticas, la intensidad del tránsito, las características propias de la mezcla asfáltica diseñada y el proceso constructivo son factores externos que disminuyen la durabilidad del ligante asfáltico e inciden en el comportamiento de la estructura de pavimento.

La durabilidad de una mezcla asfáltica hace referencia a la capacidad que tiene para resistir la acción del tránsito y clima sin fisurarse, deformarse o desintegrarse, durante la vida útil de la estructura del pavimento, y está ligado a las propiedades físico-químicas del ligante, quienes a su vez,

regulan su comportamiento reológico, además de las propiedades propias de la mezcla.

2.7.1. Factores que afectan la durabilidad

La característica del cemento asfáltico es un factor de primordial importancia en la durabilidad de las capas de rodadura asfálticas, si los diseños de la estructura del pavimento y de la mezcla han sido los correctos y se ha realizado un buen control de calidad sobre el proceso constructivo.

Existen seis factores que contribuyen al proceso de envejecimiento de un cemento asfáltico durante el proceso de mezclado y/ o servicio. La importancia de cada factor puede quedar bajo la influencia de la química del asfalto que se considera y de las condiciones ambientales. Estos

factores son los siguientes:

La oxidación-. Es la reacción del oxígeno del aire con los componentes químicos del cemento asfáltico. La velocidad y la magnitud de la oxidación dependerán de las características del cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica, así como de la temperatura del aire. Al →soplar→ oxígeno sobre una masa de asfalto en caliente se produce una mayor cantidad de asfáltenos en detrimento de los maltenos, ocasionando así de esta manera una mayor fragilidad, mayor resistencia a las altas temperatura y una variación de las condiciones reológicas iniciales.



Figura Nº 2.4. Oxidación del asfalto

La volatilización.- Es la evaporación de los solventes más livianos. Inicialmente, es función de la temperatura. La volatilización es un proceso irreversible, en contraste con otros fenómenos. No es un factor que contribuya al envejecimiento a largo plazo del asfalto bajo las condiciones de servicio. Pero pueden ser importantes en la fabricación de pavimentos calientes, si el betún se sujeta a temperaturas excesivas en la planta por un periodo de tiempo considerable. También se pueden producir pérdidas

volátiles en las aplicaciones industriales, en las que el asfalto se mantiene a elevadas temperaturas por muchas horas.

La polimerización.- Es una combinación de moléculas afines para formar enlaces débiles carbono-carbono en grandes cadenas lineales causando un endurecimiento progresivo del cemento asfáltico. No existe una evidencia científica de que sea un factor importante en el envejecimiento del asfalto en servicio.

La tixotropía.- Es el endurecimiento progresivo por la formación de una estructura dentro del asfalto durante un periodo de tiempo, la cual puede ser destruida por recalentamiento o durante el servicio de la mezcla

asfáltica. La tixotropía está asociada a pavimentos que tienen poco o nulo tránsito y es función de la composición química del cemento asfáltico.

La sinéresis.- Es una reacción de oxidación mediante la cual los aceites menos viscosos fluyen hacia la superficie de la película de ligante, por lo cual el cemento asfáltico se endurece rápidamente.

La separación.- Es la remoción de los aceites, resinas y asfáltenos que constituyen el cemento asfáltico, causado por una absorción selectiva de agregados de alta porosidad.

Todos estos factores que contribuyen al envejecimiento prematuro de un cemento asfáltico van a actuar en mayor o menor en las siguientes condiciones o etapas de trabajo:

- Durante el proceso de mezclado en la planta
- Durante la vida útil del pavimento

2.7.2. Envejecimiento del cemento asfáltico durante el proceso de mezclado en la planta

Está bien identificado el endurecimiento que se produce en ligantes por efecto de su →largo→ tiempo de permanencia a temperaturas en los tanques de almacenamiento, y sobre todo durante el proceso de mezclado, donde son pulverizados en caliente y colocados sobre la superficie mineral. Debido al espesor de la película tan delgada y a las altas temperaturas a la que es sometido, el asfalto pierde fracciones volátiles. La operación de mezclado en planta y en caliente del ligante asfáltico y los agregados, a pesar de ser un proceso de corta duración (alrededor de 30 segundos), es muy crítica debido al espesor tan pequeño de la película de asfalto que recubre la partícula de agregado (0,005 a 0,010 mm de espesor). El cemento asfáltico, una vez calentado en los tanques de almacenamiento, se ve sometido a un sobrecalentamiento producido por el contacto con los agregados.

Mientras se mantienen grandes cantidades de cemento asfáltico a una temperatura elevada en los tanques de almacenamiento, no se presentan cambios sensibles en sus propiedades. Sin embargo, cuando se mezcla el asfalto caliente con los agregados también calientes extendiéndolos en películas delgadas sobre su superficie durante el proceso de mezclado, las condiciones son muy favorables a la pérdida de las fracciones más livianas, a la oxidación y a la adsorción-absorción de ciertos componentes por parte de los agregados. El control de las temperaturas del asfalto y de los áridos, así como la reducción al mínimo del tiempo de mezclado, disminuyen en gran parte, el riesgo de un potencial endurecimiento perjudicial. Durante el mezclado, tanto la evaporación como la oxidación son mucho más rápidas que a la temperatura del pavimento,

así mismo, la naturaleza de las reacciones que se presentan a temperaturas altas como a temperaturas bajas son muy variables, lo que genera cambios en su comportamiento reológico.

2.7.3. Proceso de envejecimiento del cemento asfáltico en el pavimento

Este es un proceso de larga duración. Aunque el cemento asfáltico es sometido a temperaturas moderadas, las características propias de la mezcla pueden llegar a afectar de manera irreversible su durabilidad. Una vez puesta en obra la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo la acción del oxígeno, catalizada por la radiación ultravioleta de la luz solar, y la elevación de temperatura propician la oxidación de las moléculas más

susceptibles y como consecuencia un envejecimiento del ligante. Los asfaltos tienen una gran capacidad para absorber la luz. La reacción de oxidación del asfalto catalizada por la luz (foto-oxidación), tiene lugar en los primeros 5 micrones de película de asfalto expuesta. En ausencia de luz esta oxidación es más lenta y tiene lugar especialmente en el interior de la capa asfáltica. La velocidad de reacción de oxidación está influenciada por la temperatura del aire y es duplicada por cada 10°C de aumento de la misma, lo cual hace que la temperatura del aire sea un factor que incida en la velocidad y magnitud de la oxidación del cemento asfáltico. Los pavimentos más expuestos a la acción de la luz y aire serán los que se construyan en climas tropicales, por lo cual es recomendable que las mezclas asfálticas diseñadas tengan el mayor contenido de asfalto, compatible con sus características mecánicas, para proveer un mayor

espesor de película de ligante, con lo cual el oxígeno tendrá un largo camino por difundir a través de la misma.

Otro factor que provoca el endurecimiento del ligante asfáltico es la característica de los finos. Aunque no se ha comprobado que el incremento de finos durante la vida del pavimento cause un alto grado de rigidización del asfalto y la capa asfáltica, si se aumenta la viscosidad del asfalto, alterando muy poco sus características reológicas.

De todos los factores descritos como causales de envejecimiento del asfalto, la principal causa de endurecimiento y fragilidad del asfalto con el tiempo es la oxidación atmosférica de ciertas moléculas del asfalto, por la formación de grupos funcionales que contienen oxigeno, altamente polares y

de fuerte interacción química. Como resultado final, los ligantes presentan una mayor o menor evolución o envejecimiento. Dichas alteraciones van a modificar sus propiedades de flujo y su consistencia; el cemento asfáltico va perdiendo su poder ligante, se toma frágil y quebradizo permitiendo que el agua penetre a través de la película y desplace el asfalto con el consiguiente deterioro de la mezcla. En esta etapa la evaporación no es importante debido a las temperaturas moderadas que se presentan en la mezcla asfáltica y el alto peso molecular de los compuestos del asfalto.

En servicio, el envejecimiento del cemento asfáltico esta en función del tiempo, la temperatura, el contenido de ligante asfáltico, la absorción del agregado, el espesor de película alrededor de las partículas y las

características propias del ligante asfáltico, como se muestra en el siguiente esquema:

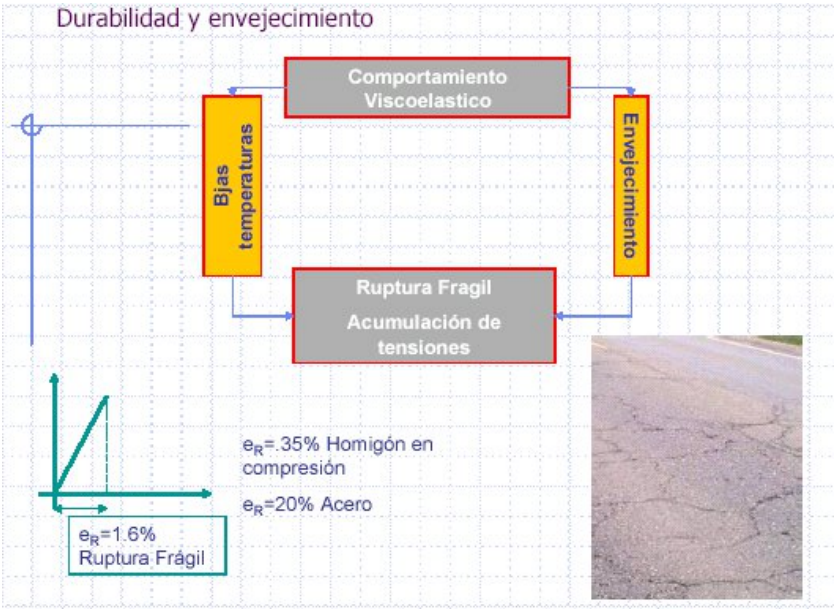


Figura Nº 2.5. Durabilidad y envejecimiento del asfalto

En este aspecto juegan un papel muy importante controles que sobre el diseño de la mezcla y el proceso constructivo realicen los organismos técnicos encargados de los mismos. Se puede aumentar la durabilidad de una estructura de pavimento si aumentamos la durabilidad de la mezcla

asfáltica mediante una adecuada compactación, minimizando el contenido de vacío. Este factor unido a un bajo contenido de cemento asfáltico, es quizá el que más contribuye al envejecimiento del asfalto. Se debe evitar que el aire y el agua circulen libremente por la mezcla asfáltica compactada con el fin de disminuir los riesgos de que se presente un endurecimiento prematuro que conlleve a su rigidización y posterior fisuramiento por fatiga o cambios térmicos la capa de rodadura asfáltica.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que la durabilidad de una mezcla asfáltica y por lo tanto de la estructura y pavimento dependerá de la resistencia del cemento asfáltico a endurecerse por oxidación, del contenido de vacíos con aire presentes en la capa asfáltica y del contenido de ligante.

2.7.4. Efecto del envejecimiento del cemento asfáltico en las propiedades reológicas

Las propiedades reológicas del cemento asfáltico se ven alteradas en mayor o menor grado por los procesos de producción en planta y colocación en obra, lo que afectará el comportamiento de la mezcla asfáltica una vez esté sometida a la acción del clima y cargas del tránsito.

El tiempo de envejecimiento del cemento asfáltico.- El primer envejecimiento que sufre el cemento asfáltico se produce durante el proceso de mezclado con los agregados pétreos. Durante este proceso, el asfalto es expuesto durante un corto tiempo al aire y a la acción de las temperaturas

altas (alrededor de 135°C) presentándose cambios sustanciales en su comportamiento reológico: disminuye la penetración, aumenta su viscosidad y su punto de ablandamiento por la oxidación causada por el aire y la pérdida de los solventes más volátiles. El proceso de envejecimiento continúa aunque a menor velocidad durante los procesos de almacenamiento en silo, transporte, expendido y compactación de la mezcla asfáltica. Posteriormente, una vez colocada la mezcla asfáltica y abierta al tránsito, el proceso de envejecimiento continúa a una velocidad mucho menor durante los tres primeros años. Después de ello, el envejecimiento seguirá de manera más lenta a través del tiempo de servicio del pavimento, afectando en menor o mayor grado las propiedades reológicas del cemento asfáltico, dependiendo de la cantidad de vacíos, los cuales propician la entrada de aire, agua y luz. Muchas investigaciones han tratado de evaluar

la durabilidad del cemento asfáltico a través de ensayos de laboratorio muy sencillos y de carácter simplista como lo son la penetración a 25°C y la viscosidad a 60°C del ligante y de las propiedades de la mezcla asfáltica como el porcentaje de vacíos.

2.7.5. Métodos de ensayo para medir la durabilidad del cemento asfáltico

Los objetivos primordiales de los trabajos de investigación sobre la durabilidad de los cementos asfálticos son:

- Conseguir mejorar la durabilidad.

- Desarrollar métodos de laboratorio relativamente rápidos y económicos que permitan realizar una estimación correcta de la durabilidad del cemento asfáltico al ser utilizado en un pavimento.

Buscando el segundo objetivo existen muchas investigaciones, pero es poco probable, desarrollar un ensayo que permita predecir el comportamiento de un cemento asfáltico durante el mezclado y extensión en las mismas circunstancias que influyen en la vida útil del pavimento.

Es difícil elegir la propiedad o propiedades físicas del aglomerante que deben investigarse en los ensayos de durabilidad. La mayor parte de

los investigadores han escogido la viscosidad, la ductilidad o la fragilidad como un índice de envejecimiento, pero es evidente que no puede confiarse en ningún ensayo, al menos que se haya hecho una correcta correlación con su comportamiento en obra.

ANEXO 3

Asfalto Modificado

Introducción

Objetivo de la modificación

Beneficios que se buscan de la modificación del asfalto

La mezcla asfáltica ideal

Polímeros

Clasificación de los polímeros

Propiedades de los polímeros

Aditivos

Los aditivos para polímeros

Beneficios de usar aditivos de adherencia

Magnabond 2700

Compatibilidad

3.1. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora el ligante asfáltico tradicional resistía bien la acción del clima y del tránsito. Pero, el constante aumento de las solicitaciones debidas al mayor número de cargas por eje, a la mayor presión de inflado, a las mayores gas por eje, a las mayores velocidades, etc. Hace que se requiera para la elaboración de las mezclas asfálticas, un ligante con mejores propiedades reológicas y mecánicas.

La modificación del asfalto con la incorporación de polímeros o aditivos da por resultado ligantes con extraordinarias características de elasticidad, adherencia y cohesión a un costo competitivo además presentan altos valores de rigidez a temperaturas altas de servicio, lo que disminuye

los ahuellamientos y bajos rigidez a baja temperatura, permitiendo disminuir el riesgo de la aparición prematura de fisuras. De igual manera, el grado de afinidad ligante-agregado en presencia de agua se mejora sustancialmente.

Algunas de estas propiedades pueden mejorarse mediante la utilización de ligantes más duros, sin embargo esto reducirá su flexibilidad a temperatura ambiente y proveerá al ligante de un mayor ido de fragilidad a bajas temperaturas.

Para mejorar las propiedades citadas, sin producir efectos negativos secundarios, se están empleando a nivel mundial los cementos asfálticos modificados con polímeros.

3.2. OBJETIVO DE LA MODIFICACIÓN

Los modificadores le permiten al diseñador intervenir sobre las características mecánicas del asfalto. Entre otras se puede mencionar la reducción de la susceptibilidad térmica, en la búsqueda de unas características reológicas constantes, especialmente a elevadas temperaturas de servicio. En consecuencia, ello implica modificar las propiedades de las mezclas, en el sentido de disminuir tanto la deformación plástica a alta temperatura, como la rigidez a baja temperatura, ofreciendo un mejor comportamiento en servicio ante la acción de las cargas circulantes más pesadas del tránsito, independientemente de las condiciones climáticas imperantes.

Un asfalto real, común, presenta un cambio continuo de su carácter en todo el rango de temperaturas de operación. El asfalto ideal es aquel muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de mezclado y compactación.

3.3. BENEFICIOS QUE SE BUSCAN DE LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO

Con la modificación de los asfaltos se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Aumentar la rigidez del cemento asfáltico a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente (ahuellamiento).

- Reducir la rigidez a bajas temperaturas de servicio para prevenir la fisuración asociada con los cambios térmicos.

- Aumentar la resistencia a fatiga de las mezclas.

- Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.

- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales.

- Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.

- Disminuir la susceptibilidad térmica en el rango de temperatura de servicio.

- Aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.

- Mejora la afinidad ligante asfáltico – agregado pétreo con el fin de reducir el riesgo de rigidez.

- Mejora la resistencia a la abrasión de las mezclas asfálticas.

- Rejuvenecer el cemento asfáltico.

- Minimizar los problemas durante el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica.

- Mejorar las características elásticas del cemento asfáltico.

- Permitir un mayor espesor de película de ligante alrededor de las partículas de agregado con el fin de incrementar la durabilidad de la mezcla.

- Reducir la probabilidad de exudación del cemento asfáltico.

- Disminuir los espesores de la estructura de pavimento.

- Mejorar el comportamiento general de toda la estructura de pavimento.

- Permite obtener periodos de diseño y de vida útil mucho mayores.

- Aumenta su viscosidad a temperaturas de compactación y mezclado.

- Permite el rejuvenecimiento de firmes envejecidos y/o deslizantes.

- Elevan la vida útil del pavimento de dos a tres veces.

3.4. LA MEZCLA ASFÁLTICA IDEAL

Un asfalto convencional, presenta un cambio continuo de sus características en todo el rango de temperaturas de operación. El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a as temperaturas de mezcla y compactación.

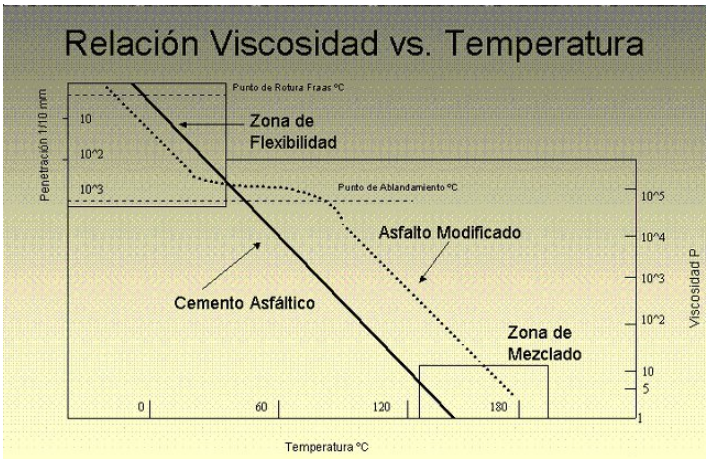


Figura Nº. 3.1. Relación Viscosidad – Temperatura

Una mezcla asfáltica ideal debe tener las siguientes características:

- Baja rigidez o viscosidad a las temperaturas normales de manejo en planta y colocación obra.

- Alta rigidez a las temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.

- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambio de temperatura.

- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir la rigidez.

3.5. POLÍMEROS

3.5.1. Introducción

El polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas.

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras, los adhesivos, el vidrio y la porcelana.

3.5.2. Estructura de los Polímeros

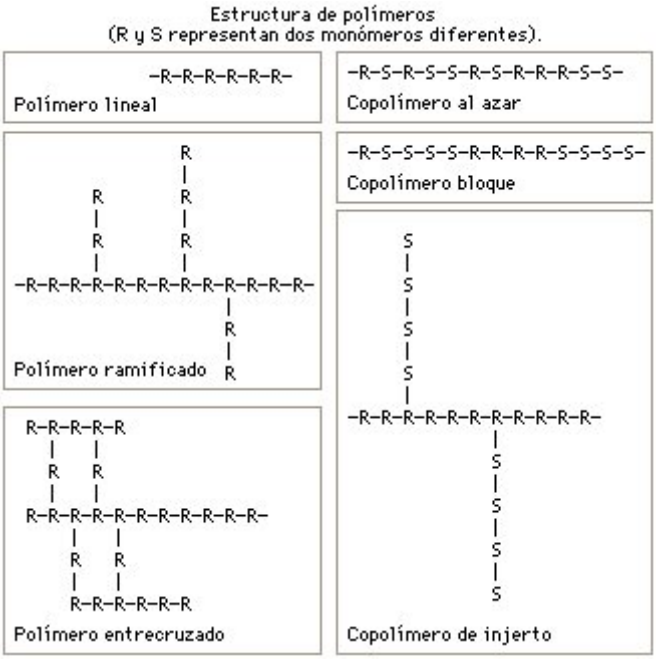


Figura Nº 3.2. Estructura de polímeros

Los polímeros pueden subdividirse en tres o cuatro grupos estructurales. Las moléculas de los polímeros lineales consisten en largas cadenas de monómeros unidos por enlaces como las cuentas de un collar. Ejemplos típicos son el polietileno, el alcohol polivinílico y el policloruro de vinilo (PVC).

Los polímeros ramificados tienen cadenas secundarias que están unidas a la cadena principal. La ramificación puede ser producida por impurezas o por la presencia de monómeros que tienen varios grupos reactivos. Los polímeros compuestos por monómeros con grupos secundarios que forman parte del monómero, como el poliestireno o el polipropileno, no se consideran polímeros ramificados.

En los polímeros entrecruzados dos o más cadenas están unidas por cadenas secundarias. Con un grado pequeño de entrecruzamiento se obtiene una red poco compacta esencialmente bidimensional. Los grados elevados de entrecruzamiento dan lugar a una estructura compacta tridimensional. El entrecruzamiento es producido normalmente por reacciones químicas. Un ejemplo de estructura entrecruzada bidimensional es el caucho vulcanizado, en el cual los eslabones están formados por átomos de azufre. Los duroplásticos son polímeros entrecruzados con una estructura tan rígida que al calentarse se descomponen o arden en lugar de fundirse.

3.5.3. Síntesis

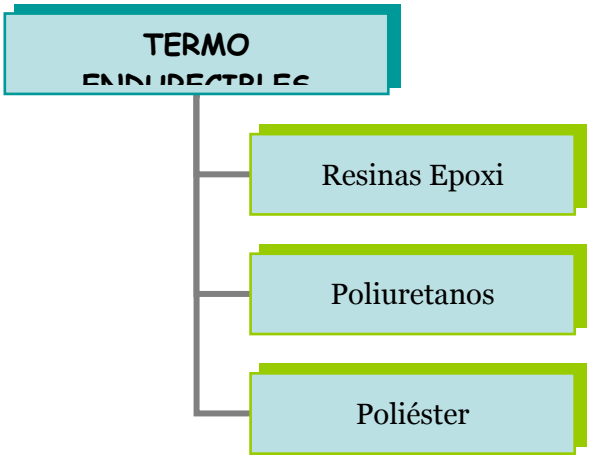
Existen dos métodos generales para formar moléculas grandes a partir de monómeros pequeños: la polimerización por adición y la polimerización por condensación. En el proceso químico llamado polimerización por adición, los monómeros se unen sin que las moléculas pierdan átomos. Algunos ejemplos de polímeros de adición son el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el etanoato de polivinilo y el politetrafluoroetileno (teflón).

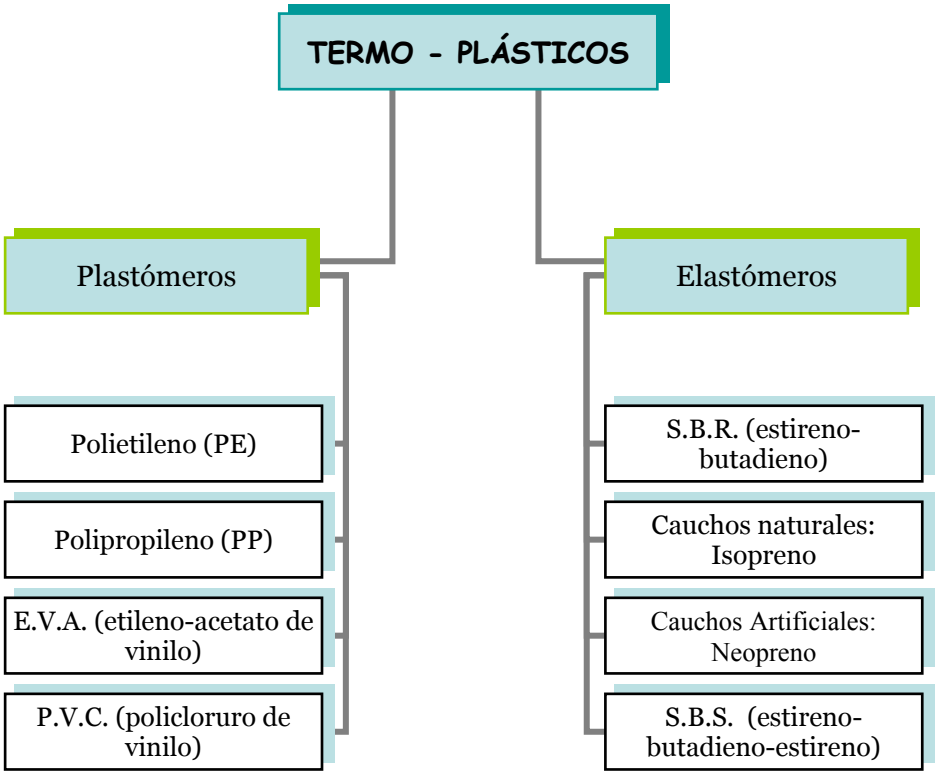
En la polimerización por condensación, los monómeros se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos. Algunos polímeros de condensación típicos son las poliamidas, los poliésteres y ciertos poliuretanos.

En 1983 se anunció un nuevo método de polimerización por adición llamado polimerización por transferencia de grupo. Un grupo activador dentro de la molécula que inicia el proceso se transfiere al final de la cadena polímera creciente mientras que los monómeros individuales se insertan en el grupo. El método, que se ha utilizado para los plásticos acrílicos, también debería poder ser aplicable a otros plásticos.

3.6. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Debido a la gran variedad de polímeros existentes, se hace muy compleja su dosificación y sistematización. De acuerdo a su estructura se clasifican en:


TERMO
Resinas Epoxi
Poliuretanos
Poliéster



3.6.1. Termo-endurecibles

Son polímeros formados por reacción química de dos componentes (base y endurecedor), dando lugar a una estructura entrecruzada, por lo que

no pueden ser recuperados para volver a transformarse. Los termoendurecibles más comunes son:

Resinas Epoxi.- Tienen agentes endurecedores de los enlaces transversales. Se usan en grandes porcentajes, mayores de 20%. Muy costosas, se usan en zonas especiales.

Poliuretano.- Similares a las Resinas Epoxi. Muy caros. Se usan a bajas temperaturas y en capas delgadas.

Poliésteres.- Son menos usados

3.6.2. Termoplásticos

Son polímeros solubles que se reblandecen por acción del calor y pueden llegar a fluir. Son generalmente polímeros lineales o ligeramente ramificados. Se dividen en dos grupos:

Plastómeros.- Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la solicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con la poca elasticidad (son materiales poco elásticos). Son buenos para mejorar la rigidez del material, pueden dañar propiedades a bajas temperaturas. Los Elastómeros más comunes son:

Polietileno.- Tienen buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas

Polipropileno atáctico (EPDM).- Se lo mezcla con elastómeros para hacerlo más flexible. Muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

E.V.A. (Etileno-Acetato de Vinilo).- Los copolímeros de Etileno copolimerizan al Etileno con otros monómeros (Acetato de Vinilo) para destruir su regularidad estructural y reducir su grado de cristalinidad.

Sus propiedades dependen del peso molecular (si aumenta, menor flexibilidad y mayor dificultad para mezclarlo) y del porcentaje de acetato de vinilo (del 33 al 40% si aumenta, es más flexible). Hay que recircularlo en

almacenamiento para evitar la separación. Se lo mezcla a 160 ºC sin aditivos. Tiene buena compatibilidad con el asfalto.

P.V.C. (policloruro de Vinilo).- Tienen muy baja actividad química, pero al mezclarlo con el asfalto a 130 ºC se melifica, obteniéndose un ligante más viscoso que el original. Muy resistente a os solventes, es usado en estaciones de servicio y aeropuertos. Se usa de un 2 al 6%. Tiene bajo precio comparativamente.

Elastómeros.- Son polímeros lineales amorfos, generalmente insaturados, que sometidos al proceso de vulcanización adquieren una estructura parcialmente reticulada, que le confiere sus propiedades elásticas. Tienen la propiedad de recuperar su forma inicial después de

deformarse. Generalmente tienen buen desempeño en el campo aún a bajas temperaturas. Los principales elastómeros o cauchos son.

S.B.R...- Cauchos sintéticos del 25 % de Estireno y 75 % de Butadieno. Para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico.

Isopreno.- Caucho natural, se lo usa para hacer caucho sintético.

Neopreno.- Caucho sintético con gran resistencia a los agentes atmosféricos. Se usan en carreteras para apoyo de vigas y estructuras.

S.B.S...- (Estireno-butadieno-estireno) o Caucho Termoplástico: Desarrollado en Estados Unidos en la década del 60 en adhesivos y suelos.

Llega luego al asfalto. Los dos homopolímeros que lo forman son incompatibles entre si.

El más incompatible es el Estireno (fase dura) con temperatura de cristalización de 100 ºC, en cambio el Butadieno (fase elástica) con temperatura de cristalización menor que la ambiente.

La incorporación de un polímero (sustancia macromolecular con propiedades visco elásticas) a un asfalto dará lugar a interacciones entre las moléculas del primero y los componentes de segundo y producirá alteraciones en el sistema coloidal del asfalto, con el consiguiente cambio de propiedades. Las interacciones y cambio de propiedades producidas, dependerán de los siguientes factores:

- Composición y estructura molecular del polímero incorporado (peso molecular, composición química, temperatura de transición vítrea, polaridad, etc.)

- Composición química y estructura coloidal del asfalto.

- Proporción relativa de asfalto polímero.

- Proceso de incorporación (modo de fabricación, temperatura, tiempo de mezclado, etc.)

3.7. PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS

A pesar de que los polímeros en función de su composición química, estructuración (lineal, ramificada, entrecruzada), configuración espacial, estado de agregación, peso molecular, aditivos, etc., presenten una gran variedad de propiedades que hace prácticamente imposible su sistematización; tienen una serie de propiedades generales, que pueden considerarse a todos ellos.

3.7.1. Peso molecular

Una de las características común a todos los polímeros es el bajo peso específico. Los valores más bajos corresponden altos plásticos expandidos y cauchos esponjosos, así el poliestireno expandido tienen un peso específico de 0.02, mientras que la espuma poliuretano de 0.04. Los pesos específicos más altos corresponde a los polímeros fluorados, así el politetrafluoretileno (teflón) tienen un peso específico de 2.1.

La mayoría de los materiales poliméricos compactos tienen un peso específico próximo a la unidad.

3.7.2. Propiedades Mecánicas

El comportamiento mecánico de los polímeros a temperaturas ambiente puede variar desde las características de un vidrio rígido y quebradizo, hasta la flexibilidad y elasticidad de una goma.

Entre los polímeros rígidos a temperaturas ambiente se encuadra el policloruro de vinilo, el poliéster heno, el poli metacrilato de metilo, etc., y entre los más flexibles y elásticos se encuentran los cauchos, PVC plastificados, entre otros.

Las características mecánicas de los polímeros se miden generalmente mediante ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto, desgarro, etc.

La mayoría de los polímeros tiene un comportamiento reológico tipo viscoelástico, lo cual hace que sus propiedades mecánicas tengan luna gran dependencia con el tiempo de duración de la carga. Si se aplica un esfuerzo constante, se tendrá una deformación inicial instantánea y una deformación de fluencia (más lenta). Si se mantiene la deformación constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación irá disminuyendo paulatinamente (relajación de esfuerzos).

3.7.3. Influencia de la temperatura

La variación de la temperatura, genera en los polímeros cambios en sus propiedades, lo que limita su uso a un cierto rango.

La elevación de la temperatura produce en los materiales termoplásticos un rápido descenso de su resistencia mecánica, que comienza antes de su punto de ablandamiento, mientras que las temperaturas bajas los hace más frágiles y quebradizos, con la consiguiente disminución de la resistencia a la tracción y al impacto.

En los polímeros termoestables las propiedades mecánicas se mantiene en un mayor rango de temperatura. En los elastómeros cuando baja la temperatura, se produce primero un aumento de la rigidez y finalmente por debajo de la temperatura de transición vitre, pierden su capacidad de deformación y se tornan frágiles. A temperatura elevada y en presencia de oxígeno se envejecen con la consiguiente pérdida de propiedades.

3.7.4. Durabilidad

Se define como la capacidad que tiene todo material para mantener sus propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades de lo polímeros se producen por fatiga (aplicación repetida de esfuerzos) o por envejecimiento (acción del medio ambiente), aunque normalmente ambos factores actúan conjuntamente.

Los agentes que pueden dar lugar a cambios apreciable en las propiedades de los polímeros son:

- Los agentes atmosféricos: agua, ozono, oxígeno y humedad
- La radiación solar y el calor

- Los microorganismos
- Los agentes químicos
- La acción del tránsito

Los cambios generados por esos agentes dependerán del tipo de polímero, su composición y estructura química.

3.8. ADITIVOS

Por muchos años, investigadores y desarrolladores han experimentado con la modificación del asfalto, principalmente en asfaltos para usos industriales, agregando asbestos, fillers especiales, fibras vegetales, minerales y cauchos.

La utilización de fibras celulósicas no modifica químicamente al bitumen pero interviene en las propiedades físicas permitiendo incrementar el contenido del mismo. Tiende a espesar o conferir una reología al bitumen evitando que el mismo drene de la mezcla previa a la compactación.

En los últimos 20 años muchos investigadores han observado un gran espectro de materiales que modifican a los asfaltos utilizados en la construcción de caminos.

Para que un aditivo modificador sea efectivo para ser utilizado debe ser práctico y económico, entonces debe ser:

- Fácilmente aplicable

- Resistente a la degradación a altas temperaturas

- Mezclable con el asfalto

- Mejorar la resistencia a la fluencia a altas temperaturas de los pavimentos sin hacer que el asfalto sea demasiado viscoso a las temperaturas de mezcla y de compactación o demasiado →liviano→ o quebradizo a bajas temperaturas.

Los aditivos cuando son mezclados con el asfalto deberían tener las siguientes características:

- Mantener sus propiedades durante el almacenamiento, aplicación y servicio

- Ser capaz de ser procesado con equipamiento convencional

- Ser física y químicamente estable durante el almacenamiento, aplicación y servicio

- Asegurar un recubrimiento o viscosidad de aplicación a condiciones normales de temperatura

3.9. LOS ADITIVOS PARA POLÍMEROS

Los polímeros no se utilizan tal como se obtienen de un proceso de polimerización, sino que llevan incorporados una serie de productos que se denominan aditivos, modificando considerablemente sus propiedades.

Las funciones dadas a los aditivos son muy diversas, y su empleo puede ser optativo o imprescindible.

La incorporación de un aditivo permite la obtención de productos con propiedades y funciones muy diferentes. En muchos casos, un mismo aditivo puede encontrarse en una gran variedad de polímeros, y en otros, el aditivo se encuentra solo en un determinado polímero y para aplicación especifica.

Entre los aditivos de uso más frecuente se tienen:

- Los estabilizantes térmicos
- Los plastificantes
- Los antioxidantes
- Las cargas y fibras
- Los pigmentos colorantes
- Los agentes de vulcanización
- Los espumantes
- Los agentes de entrecruzamiento
- Promotores de adhesión

El empleo de cada aditivo y la cantidad dentro del polímero, dependerá de las propiedades requeridas, del tipo de polímero y la función concreta a que se destine.

3.10. BENEFICIOS DE USAR ADITIVOS DE ADHERENCIA

El cemento asfáltico es un material aceitoso de baja polaridad y muy poca afinidad por la superficie del agregado, mientras que el agregado tiene una alta afinidad por el agua lo que significa que el asfalto es fácilmente desplazado por el agua. La adhesión entre el asfalto y el agregado depende de la fuente del asfalto y la química superficial del agregado. Experiencias

han mostrado que solamente hay pocos agregados que resisten completamente a la acción del agua bajo cualquier condición.

La afinidad química entre al asfalto y el agregado puede ser mejorada con la adición de pequeñas cantidades de químicos que cambian la naturaleza del asfalto. Estos productos químicos son conocidos como promotores de adhesión, agentes anti-desprendimiento o aditivos de adherencia. Es más fácil y eficiente modificar el asfalto, el cual es el menor componente en una mezcla comparado con modificar el agregado.

Los grupos polares o cabezas de grupos de las moléculas del promotor de adhesión ligan fuertemente la superficie polar del agregado. Por

el otro lado los cuerpos hidrocarbonos no polares de las moléculas son compatibles con el asfalto y se encajan en la cobertura de asfalto. Hasta este punto los promotores de adhesión actúan como un puente resistente a la acción del agua entre el asfalto y la superficie del agregado. El asfalto modificado por agentes de adhesión tiene una afinidad más alta con la superficie del agregado que con el agua. Por lo tanto, no solamente se logra formar una buena liga con agregados secos sino que puede desplazar el agua y formar una enlace químico con superficies de agregados húmedos. El uso de agentes de adhesión amplia más la selección de agregados desde que agregados locales con problemas de desprendimiento pueden ser usados con un apropiado promotor de adhesión. Este proceso se muestra en la siguiente figura:

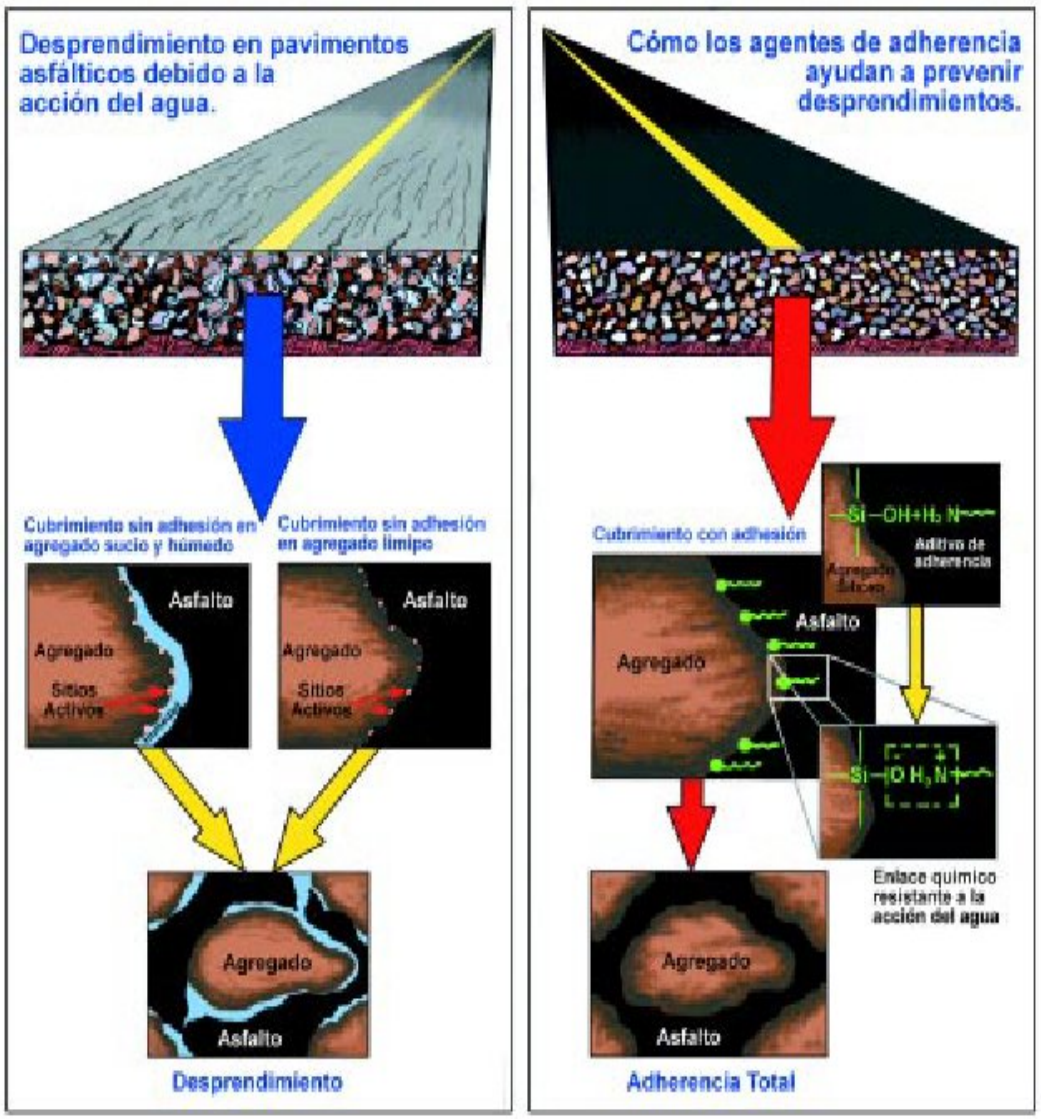


Figura Nº 3.3. Beneficios de los aditivos adherencia

3.11. MAGNABOND 2700

Para la realización de esta investigación se utilizaron tres tipos de asfaltos: Convencional, aditivado y aditivado-modificado.

Para obtener un asfalto aditivado, la Compañía Brem Cía. Ltda. fue la encargada de proporcionar el agente de adherencia Magnabond 2700.

Este agente de adherencia, hecho por Akzo Nobel Asphalt Applications, Inc. de Waco, Texas, está diseñado para prolongar la vida del pavimento. En una planta de mezcla caliente, el agente de adherencia se inyecta al asfalto líquido calentado antes de mezclarse con al agregado. Este aditivo, generalmente, se aplica basado en un porcentaje del asfalto de 025% a 1%, según datos de la compañía manufacturadora del producto. Tiene un grupo polar terminal en su estructura química que se adhiere químicamente al agregado. El agente tiene, también, un terminal

hidrofóbico o repelente de agua que interactúa con el asfalto. Debido a esta interacción del agente de adherencia con el agregado y el asfalto, el adherente sirve como puente entre las superficies de los dos componentes.

El agregado utilizado en mezcla -caliente puede que no se encuentre totalmente seco, y como resultado puede tener una capa de humedad en su superficie. Debido a que el asfalto no puede desplazar el agua de la superficie del agregado, el asfalto añadido se acumula alrededor del agua y el agregado termina teniendo una capa de humedad entre él y el asfalto.

Esta capa puede ser dañina para el proceso ya que el agua puede dilatarse o evaporarse, debilitando el enlace entre el agregado y asfalto.

El aditivo Magnabond desplaza el agua de la superficie del agregado durante el proceso de mezcla del mismo y el asfalto para que, inclusive en condiciones húmedas, el agregado forme un buen enlace con el asfalto. También, los aditivos Magnabond pueden ser utilizados para reciclado de pavimentos. Cuando el concreto asfáltico viejo se calienta y el asfalto está en su punto de fusión. Magnabond puede agregarse para mejorar la adherencia entre el asfalto y el agregado.

3.11.1. Especificaciones del Magnabond 2700

- **Aplicación:** El Magnabond 2700 es un aditivo de adherencia asfáltica, térmicamente estable, especialmente diseñado para prevenir desprendimiento entre el asfalto y el agregado en concretos asfálticos. Puede ser usado con una amplia variedad de asfaltos y agregados. Este puede ser incorporado en el asfalto mediante agitación mecánica, recirculación en el tanque de almacenamiento o por inyección en la línea de alimentación y carga de asfalto seguido de recirculación en el tanque del camión para permitir una mezcla homogénea.

- **Dosificación:** Normalmente en porcentajes de 0.25 a 1.00% respecto al peso del asfalto.

- **Estabilidad Térmica:** Estable térmicamente. Cumple con especificaciones de los laboratorios analíticos Estatales y Federales.

- **Propiedades Físicas:**

Apariencia visual	Líquido Marrón Oscuro
Punto de ignición °C	sobre 100 °C
Densidad a 25 °C, g/ml	1.13
Viscosidad a 27 °C,	1600
Punto de fluidez °C	4.5

- **Almacenamiento:** Las temperaturas de almacenamiento no deben exceder 65°C

3.12. COMPATIBILIDAD

"Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptica para mejorar las propiedades reológicas" de acuerdo a Thompson.

Toda acción cuyo efecto sea la modificación de la composición química del asfalto conduce, inevitablemente, a la modificación de su estructura y de sus propiedades.

Si se mezclan en caliente, sin precauciones especiales, un asfalto y un polímero, se obtiene alguno de los tres resultados siguientes:

- *Mezclas heterogéneas:* es el caso más probable y ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles. En este caso, los componentes de la mezcla se separan y el conjunto sólo presenta las características de un ligante normal.

- *Mezcla totalmente homogénea (incluso al nivel molecular): es el caso de la compatibilidad perfecta. En este caso, el ligante es extremadamente estable, pero la modificación de sus propiedades de uso es muy débil respecto a las del asfalto original. Sólo se aumenta su viscosidad. No es, el resultado deseado.*

- *Mezclas micro-heterogénea y constituidas por dos fases finalmente imbricadas:* es el caso de la compatibilidad deseada, que permite realmente modificar el ligante. En un sistema de estas características, el polímero compatible “se hincha” absorbiendo una parte de las fracciones aceitosas ligeras del asfalto, para formar una fase polimérica diferente de la fase asfáltica residual constituida por las fracciones pesadas del ligante – aceites restantes, resinas y asfáltenos.

3.12.1. Polímeros compatibles

Debido a la gran variedad de polímeros existentes comercialmente, a su composición química y propiedades, se pensaría que es posible una compatibilidad al modificar los ligantes bituminosos con polímero.

Los polímeros idóneos para mejorar las propiedades de los asfaltos para uso vial son aquellos que cumplen las siguientes características:

- Cadena general suficientemente larga

- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto

- Peso molecular elevado pero no excesivamente alto, para disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.

- Baja temperatura vítrea, para permitir mejora los problemas de deformación a bajas temperaturas.

De acuerdo a las características señaladas anteriormente los polímeros más utilizados son los plastómeros (generalmente EVA) y los elastómeros (generalmente SBS).

3.12.2. Evaluación de la compatibilidad

La dispersión del polímero en el cemento asfáltico se realiza por medio de la técnica de microscopia óptica de fluorescencia por reflexión, en donde la muestra se ilumina con luz ultravioleta y el polímero disperso en el cemento asfáltico emite luz visible de color amarillo y de mayor longitud de onda, mientras que el betún no emite fluorescencia, lo cual permite observar la micro morfología de la muestra. Dicha micro morfología dependerá de la compatibilidad de los dos componentes, del método y condiciones de fabricación.

BIBLIOGRAFÍA

- Miro Recasens, Rodrigo. Metodología para la Caracterización de Ligantes Asfálticos Mediante el Ensayo Cántabro. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña 1994.

- Arenas Losano, Hugo León. Tecnología del Cemento Asfáltico, Editorial FAID, Colombia, 1999.

- Montejo Fonseca, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ediciones y Publicaciones Universidad Católica de Colombia, Segunda Edición, 1998.

- Agnusdei, J. Asfaltos modificados y sus aplicaciones. Curso de Postgrado de Caracterización de Ligantes y Mezclas Bituminosas Preparadas con Asfaltos Modificados con Polímeros. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional La Plata, Argentina, 1998.

- Pérez Jiménez, F. y Miró Recasens, R. Características mecánicas de ligantes asfálticos. Método UCL. Revista Rutas, Nº 48. Madrid, España, 1995.

- Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, R.; Des Croix, P. H., y Martín, T. Ligantes bituminosos: procedencia, composición, características y comportamiento. Revista Carreteras, Nº 88. Asociación Española de la Carretera, 1995.

- Pérez Jiménez, F.; Miró Recansens, R.; Khilid, H. A., y Walsh, C. M. Procedimientos funcionales para la caracterización de ligantes. Método SEP y UCL. Revista Carreteras, Nº 100. Asociación Española de la Carretera, 1999.

- Pareja Uribe, Carlos Alberto; Rodríguez Salah, Luz Angela y pareja Uribe, Carlos Alberto; Claver Morales, Pedro. Fundamentos teóricos

de las interacciones químicas entre el asfalto y el agregado mineral. Monografía Universidad Industrial de Santander.

- Villamizar Leal, Sandra y Londoño Cala, Jairo Alberto, Evaluación de la caracterización de agregados para capas de pavimentos. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander, 1997.