

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL CEMENTO ASFÁLTICO
TIPO AC-20 EN LA SIERRA CENTRAL (CIUDADES: QUITO,
LATACUNGA, AMBATO, Y RIOBAMBA), MEDIANTE LA
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN.**

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

KARLA ISABEL ARÁUZ TIPANTA MARITZA GABRIELA TAMAYO VALLEJO

SANGOLQUI, JUNIO DE 2013

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

KARLA ISABEL ARÁUZ TIPANTA

MARITZA GABRIELA TAMAYO VALLEJO

DECLARAMOS QUE:

El Proyecto de grado denominado “**Caracterización y Análisis del Cemento Asfáltico Tipo AC-20 en la Sierra Central (Ciudades: Quito, Latacunga, Ambato, y Riobamba)**”, mediante la Determinación del Índice de Penetración”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente éste trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Junio de 2013

KARLA I. ARÁUZ TIPANTA

MARITZA G. TAMAYO VALLEJO

AUTORIZACIÓN

Nosotras, KARLA ISABEL ARÁUZ TIPANTA y MARITZA GABRIELA TAMAYO VALLEJO, autorizamos la publicación de la tesis: **“Caracterización y Análisis del Cemento Asfáltico Tipo AC-20 en la Sierra Central (Ciudades: Quito, Latacunga, Ambato, y Riobamba)**, mediante la Determinación del Índice de Penetración”, la cual es de nuestra propia autoría y responsabilidad.

Junio de 2013

KARLA I. ARÁUZ TIPANTA

MARITZA G. TAMAYO VALLEJO

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por las Srtas. KARLA ISABEL ARÁUZ TIPANTA Y MARITZA GABRIELA TAMAYO VALLEJO, como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERA CIVIL.

Junio de 2013

ING. FRANCO ROJAS RUALES

ING. HUGO BONIFAZ GARCÍA

REVISADO POR

ING. JORGE ZUÑIGA G.

DEDICATORIA

A los 2 ángeles que alumbran y guían mi camino, el primero que ilumina día a día mi vida con su presencia, mi amada hijita Ma. Paula Trujillo Aráuz, quien es el motivo para superarme constantemente.

Y el segundo que desde el cielo nos llena de bendiciones Ricardito Trujillo Arias, un hombre transparente, responsable y cariñoso, quien amó a nuestra hija incondicionalmente y será el ejemplo que guie permanentemente el futuro de su Princess. Les amo con mi vida

A familia, mis primas y amigos que con su apoyo y compañía me han demostrado cuán importante soy para ellos.

A mis maestros, especialmente, Ing. Franco Rojas-Director e Ing.Hugo Bonifaz-Codirector, por las facilidades y los conocimientos impartidos durante la elaboración del Proyecto, así como también al Tnlgo. Juan Haro por su colaboración en la realización de los ensayos en el laboratorio.

KARLA ARÁUZ TIPANTA

DEDICATORIA

En primer lugar a mi Dios, porque ha estado conmigo siempre, cuidándome, dándome la fortaleza para continuar y brindándome una vida llena de alegrías y aprendizaje.

A mis padres Iván Tamayo y Norma Vallejo, por brindarme los recursos necesarios y apoyarme en todo momento, gracias de corazón por todas las oportunidades que me han brindado.

A mis hermanas Verónica, Daniela y a mi sobrina Camila, por estar ahí cuando más lo he necesitado, por su apoyo incondicional, cariño y sus consejos.

MARITZA GABRIELA TAMAYO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y por entregarme cada oportunidad que he recibido hasta el día de hoy, principalmente por la bendición de tener a mi hija y junto a ella mi familia unida.

A mis queridos Padres por darme las herramientas y las facilidades necesarias para superarme, por su apoyo y amor sin medida durante el transcurso de mi vida.

A mi Padre Juan por direccionarme correctamente en la elección de mi profesión, por el ejemplo de ser un hombre responsable tanto el hogar como en el trabajo.

A mi madre Mariany por ser una mujer luchadora, que con su empuje ha sido el pilar fundamental para levantarme y empezar de nuevo, por ser un ejemplo de mujer trabajadora y honesta en todo ámbito.

A mi hermana Gaby por ser un apoyo incondicional, por darme la mano cuando más lo necesito, en las buenas pero sobre todo en las malas y por ser una madre más para mi hija.

KARLA ARÁUZ TIPANTA

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de toda mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanas por ser parte importante en mi vida y representar la unión familiar, a Verónica por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir.

Especial agradecimiento a nuestro Director de Tesis Ing. Franco Rojas y Codirector de Tesis Ing. Hugo Bonifaz, quienes con sus conocimientos, experiencias y motivaciones han logrado en mí culminar con éxitos mi carrera profesional.

A las empresas COVIPAL, HERDOIZA CRESPO, ALVARADO ORTIZ Y CHOVA, por abrirnos sus puertas y facilitarnos la toma de muestras de asfalto.

MARITZA GABRIELA TAMAYO

RESUMEN

El Proyecto de Tesis: “Caracterización y análisis del Cemento Asfáltico Tipo AC-20 en la Sierra Central (Ciudades: Quito, Latacunga, Ambato, y Riobamba), mediante la determinación del Índice de Penetración, pretende servir de referencia como una herramienta de gestión para la evaluación del cemento asfáltico siendo el material básico para la elaboración de hormigón asfáltico.

Por esta razón el desarrollo del presente trabajo se ha focalizado en el proceso de estandarización de toma de muestras en las plantas productoras de asfalto, clasificación de las propiedades físico-químicas mediante ensayos realizados en el Laboratorio de Asfaltos de la ESPE, tomando como referencias normativas ASTM.

De los resultados obtenidos se realizó un análisis comparativo para verificar si las muestras satisfacen los requerimientos según los parámetros establecidos por el Manual de Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

ABSTRACT

The Thesis Project: "Characterization and analysis of asphalt cement type AC-20 in the central region (cities: Quito, Latacunga, Ambato and Riobamba), by determining penetration index, a reference and management tool for asphalt cement evaluation, being the basic material for the production of asphalt concrete.

For this reason the development of this study has focused on the process of sampling standardization in asphalt production plants, classification of physicochemical properties by tests conducted in Asphalt's Laboratory at ESPE, having as a reference the ASTM standards.

From obtained results, was performed a comparative analysis to verify if samples accomplish requirements according to the parameters established by Technical Specifications Manual of Transport and Public Works Ministry.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II	9
EL CEMENTO ASFALTICO	9
2.1 CONCEPTO.....	9
2.2 COMPOSICIÓN	10
2.2.1 Composición Fisicoquímica del Asfalto.....	10
2.3 CLASIFICACIÓN.....	12
2.3.1 Asfaltos Naturales.....	12
2.3.2 Asfaltos Derivados de Petróleo.....	13
2.3.2.1 Asfalto de Pavimentación	13
2.4 PROPIEDADES DEL ASFALTO.....	22
2.4.1 Relación Viscosidad-temperatura	28
2.4.2 Funciones del Asfalto en la Construcción de Pavimentos	29
2.4.3 Características Técnicas.....	30
2.5 FABRICACIÓN Y SUMINISTRO.....	30
2.5.1 Proceso de Obtención del Asfalto.....	30
2.5.2 Suministro	33
2.6 ALMACENAMIENTO	34
2.6.1 Exigencias Sobre Tanques de Almacenamiento:	35
2.6.2 Almacenamiento y Manipulación del Asfalto Caliente.....	35

2.6.3 Transporte	36
2.7 USOS.....	36
CAPÍTULO III	39
FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO	39
3.1 EVAPORACIÓN DE LOS COMPONENTES VOLÁTILES	39
3.2 ACCIÓN QUÍMICA DEL OXÍGENO DE LA ATMOSFERA.....	40
3.3 ENDURECIMIENTO POR ENVEJECIMIENTO.	40
3.4 POLIMERIZACIÓN PRODUCIDA POR LOS CAMBIOS QUÍMICOS EN EL ASFALTO	41
3.5 SINÉRESIS.....	41
3.6 SEPARACIÓN.....	41
3.7 PROCESO QUE CONDUCEN AL ENVEJECIMIENTO DE LOS ASFALTOS	42
3.7.1 Tipos de Mecanismos para el Endurecimiento del Asfalto.....	42
3.7.2 Variables que Intervienen en el Proceso de Envejecimiento	43
3.7.3 Técnicas de rejuvenecimiento del Asfalto.....	48
3.7.3.1 Reciclaje de asfalto.....	50
3.8 COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	51
CAPÍTULO IV	54
CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO.....	54
4.1 Categorías de control de calidad.....	54
4.2 PARÁMETROS MÁXIMOS Y MÍNIMOS	55
4.2.1 Normas Vigentes de Ensayos en Productos Asfálticos	57
4.3 PROCEDIMIENTOS A SEGUIR PARA LA ELABORACIÓN DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD.....	57
4.3.1 Ensayo de Penetración.....	58

Norma: ASMT D -5 Penetración de materiales bituminosos.....	58
4.3.2 Ensayo de Reblandecimiento	59
NORMA: D 3695 Método Anillo y Bola	59
4.3.3 Ensayo de Inflamación.....	59
NORMA: ASTM D 92 Punto de inflamación para materiales bituminosos.....	59
4.4 MÉTODOS PARA CLASIFICAR EL ASFALTO EN DIFERENTES GRADOS.....	60
4.4.1 Grado de Penetración.....	60
CAPÍTULO V	62
METODOLOGÍA.....	62
5.1 IMPORTANCIA	62
5.2 Metodología de Trabajo	67
5.2.1. Toma de Muestras en Campo	70
5.3 ENSAYOS REALIZADOS	75
5.3.1 Ensayo de penetración de materiales bituminosos.....	76
Norma Referencial: ASTM D-5-97 (Anexo 1).....	76
5.3.1.1 Objeto del ensayo	76
5.3.1.2 Definición:	76
5.3.1.3 Equipo para el ensayo de penetración.....	77
5.3.1.4 Condiciones de Ensayo	80
5.3.1.5 Procedimiento del ensayo de penetración	80
5.3.1.6 Cálculos	82
5.3.1.7 Resultados Aceptables del Ensayo de Penetración.....	82
5.3.2 Ensayo de Reblandecimiento de Materiales Bituminosos (Método del Anillo y Bola).....	83
Norma Referencial: ASTM D-36-09 (Anexo 2).....	83
5.3.2.1 Objeto del ensayo	83

5.3.2.2 Definición	83
5.3.2.3 Equipo para el ensayo de reblandecimiento	83
5.3.2.4 Condiciones de Ensayo	84
5.3.2.5 Cálculos:	88
5.3.2.6 Resultados aceptables del ensayo de penetración.....	88
5.3.3 Cálculo del Índice de Penetración de cementos asfálticos	89
5.3.3.1 Objeto	89
5.3.3.1 Definición	89
5.3.4 Ensayo para determinar el punto de inflamación (Método del Vaso Abierto Cleveland)	90
Norma Referencial: ASTM D-91-11 (Anexo 3).....	90
5.3.4.1 Objeto de ensayo.....	90
5.3.4.2 Definición	91
5.3.4.3 Equipo para el ensayo de punto de inflamación	91
5.3.4.4 Procedimiento del ensayo de punto de inflamación.....	92
5.3.4.5 Corrección del resultado del ensayo de punto de inflamación	94
5.3.4.6 Cálculos	94
5.3.4.7 Resultados.....	94
CAPÍTULO VI.....	96
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES	96
6.1 REFERENCIAS NORMATIVAS.....	96
6.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN	97
6.2.1 Análisis de resultados	100
6.3 ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO	101
6.3.1 Análisis de resultados	104
6.4 ÍNDICE DE PENETRACIÓN IP	105
6.4.1 Análisis de resultados	108

6.4 Ensayo para determinar el punto de inflamación	109
6.4.1 Análisis de resultados	112
6.5 ANÁLISIS COMPARATIVO	112
ANÁLISIS COMPARATIVO	113
6.6 COMPARACIÓN DEL ASFALTO ECUATORIANO CON NORMAS INTERNACIONALES	114
6.6.1 Normativa Americana	114
6.6.2 Normativa Venezolana.....	115
6.6.3 Normativa Colombiana	116
6.6.4 Normativa argentina.....	117
CAPÍTULO VII.....	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
7.1 CONCLUSIONES	118
7.2 RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA.....	121

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 Inversión Asignada en Obra Publica	2
Tabla 1.2 Red vial nacional	3
Tabla 1.3 Red vial estatal	4
Tabla 2.4 Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración.....	14
Tabla 2.5 Clasificación para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración.....	15
Tabla 2.6 Clasificación basada en el residuo del ensayo de la película fina	16
Tabla 2.7 Requisitos de cementos asfálticos para tipos de 200 dmm a 20 dmm de penetración.....	17
Tabla 2.8 Requisitos de cementos asfálticos para tipos de 200 dmm a 20 dmm de Penetración	18
Tabla 2.9 Requisitos de cementos asfálticos de viscosidad a 60°	19
Tabla 2.10 Caracterización de cemento asfáltico.....	20
Tabla 4.11 Requisitos del cemento asfáltico	56
Tabla 4.12 Normas Vigentes de Ensayos en Productos Asfálticos	57
Tabla 4.13 Requerimientos para el Cemento Asfáltico según los grados de penetración	61
Tabla 5.14 Fechas de Muestreo de Asfalto	74
Tabla 5.15 Condiciones para Ensayos Especiales.....	80
Tabla 5.16 Resultados Aceptables.....	83
Tabla 5.17 Valores de corrección del punto de Inflamación.....	94
Tabla 6.18 Tabla de Referencias Normativas	96
Tabla 6.19 Resultados de Ensayos de Penetración.....	97
Tabla 6.20 Promedio Zona Sierra-Central del Ecuador.....	99
Tabla 6.21 Resultados de Ensayo de Reblandecimiento	101
Tabla 6.22 Resultados Generales de Ensayo de Reblandecimiento.....	103
Tabla 6.23 Resultados de Índice de Penetración	105
Tabla 6.24 Resultados Generales de índice de Penetración	107
Tabla 6.25 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación	109

Tabla 6.26 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación	111
Tabla 6.27 Comparativa de resultados Generales	113
Tabla 6.28 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Americana AST M	114
Tabla 6.29 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Venezolana COVENIN	115
Tabla 6.30 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Colombiana INV	116
Tabla 6.31 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Argentina IRAM 6604	117

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 Resultados de Ensayos de Penetración en la Sierra-Central	98
Gráfico 6.2 Resultados Generales Ensayo de Penetración	99
Gráfico 6.3 Resultados de Ensayos de Reblandecimiento.....	102
Gráfico 6.4 Resultados Generales de Ensayo de Reblandecimiento	103
Gráfico 6.5 Índice de Penetración	106
Gráfico 6.6 Resultados Generales de índice de Penetración	107
Gráfico 6.7 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación	110
Gráfico 6.8 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación	111

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1 Clasificación fisicoquímica de los asfaltos.....	11
Figura 2.2 Clasificación de asfaltos.....	12
Figura 2.3 Diagrama de proceso de productos asfálticos	31
Figura 2.4 Esquema de obtención de los asfaltos en Refinería	33
Figura 3.5 Etapas en el proceso de envejecimiento.....	47
Figura 5.6 Panamericana Sur.....	63
Figura 5.7 Ampliación a 4 y 6 carriles de la vía Colibrí-Pifo-Cusubamba.....	64
Figura 5.8 Intercambiador Latacunga.....	65
Figura 5.9 Ampliación Panamericana Jambelí-Latacunga-Ambato.....	65
Figura 5.10 Intercambiador Salcedo	66
Figura 5.11 Vía Ambato-Riobamba	66
Figura 5.12 Planta Asfáltica COVIPAL Riobamba.....	68
Figura 5.13 Muestra Tomada del Tanquero de Asfalto	68
Figura 5. 14 Identificación de Muestras de Asfalto.....	69
Figura 5.15 Clasificación de Muestras de Asfalto.....	69
Figura 5.16 Recipiente de un litro.....	71
Figura 5.17 Tanquero Distribuidor de Asfalto.....	73
Figura 5.18 Ensayo de penetración.....	77
Figura 5.19 Equipo para Ensayo de Penetración	78
Figura 5.20 Aguja normalizada.....	78
Figura 5.21 Equipo para Baño María	79
Figura 5.22 Muestra de Asfalto a ensayarse	79
Figura 5.23 Recipientes de asfalto al Interior del Horno.....	80
Figura 5.24 Muestra durante el ensayo.....	81
Figura 5.25 Puntos de penetración	82
Figura 5.26 Anillo con borde de latón.....	84
Figura 5.27 Moldes de muestra para ensayo	85
Figura 5.28 Preparación de la muestra	86
Figura 5.29 Ensamble del aparato con las muestras	86
Figura 5.30 Desarrollo del ensayo.....	87
Figura 5.31 Temperatura de Reblandecimiento	88

Figura 5.32 Aparato Cleveland.....	92
Figura 5.33 Vertido de muestra de asfalto en Vaso Abierto Cleveland	93
Figura 5.34 Desarrollo del Ensayo	93
Figura 5.35 Temperatura Punto de Inflamación	94

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 NORMA REFERENCIAL ASTM D-5-97; **Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 2 NORMA REFERENCIAL ASTM D-36-09; **Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 3 NORMA REFERENCIAL ASTM D-91-11; **Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 4 ENSAYO DE PENETRACIÓN DE MATERIALES
BITUMINOSOS QUITO, LATACUNGA, AMBATO Y RIOBAMBA; **Error! Marcador no definido.**
- ANEXO 5 ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO DE MATERIALES
BITUMINOSOS (MÉTODO DEL ANILLO Y BOLA) QUITO,
LATACUNGA, AMBATO Y RIOBAMBA **Error! Marcador no definido.**
- ANEXOS 6 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE
CEMENTOS ASFÁLTICOS QUITO, LATACUNGA, AMBATO
Y RIOBAMBA..... **Error! Marcador no definido.**
- ANEXOS 7 ENSAYO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE
INFLAMACIÓN (MÉTODO DEL VASO ABIERTO CLEVELAND)
QUITO, LATACUNGA, AMBATO Y RIOBAMBA; **Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el Ecuador viene presentando un crecimiento económico favorable, debido a la estabilización de los precios al consumidor, al incremento de los ingresos fiscales, incremento del precio del petróleo, ingresos que han sido asignados de mejor manera, especialmente para el desarrollo de proyectos y programas que buscan mejorar la red de servicios para los habitantes, donde resaltan los programas de desarrollo vial que abarcan la construcción, rehabilitación y ampliación de la red vial nacional.

Entre los principales factores que han influido a tal desarrollo económico del país, ha sido la disponibilidad de una mejor red vial, que de acuerdo al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP) se la define como “el conjunto total de las carreteras, existentes en el territorio ecuatoriano, y, se clasifica según su jurisdicción en: red vial estatal, red vial provincial y red vial cantonal”¹. Se la asocia directamente con el desarrollo, no solo por las prestaciones para el flujo del comercio, sino para la transportación de personas, quienes al ver mejorar sus costos y tiempos de viaje, intensifican su uso, lo que favorece a una mayor dinamización de la economía en su conjunto.

¹ Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2011). *Dirección de Conservación del transporte*.

La inversión en la obra pública, concretamente en redes viales en el Ecuador ha evolucionado lentamente, sin embargo, en la actualidad se evidencia una mejora sustancial en este aspecto. Si se realiza un análisis de los montos asignados a la ejecución de obra pública, el gobierno de Rafael Correa lleva por delante a sus antecesores.

Tabla 1.1 Inversión Asignada en Obra Publica

INVERSIÓN EN OBRA PUBLICA	
GOBIERNO	MILLONES USD
Jamil Mahuad-Gustavo Noboa	475,10
Lucio Gutiérrez	459,70
Alfredo Palacio	570,70
Rafael Correa	3.300,00

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2011.

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V 2013

De los datos expuestos, resalta la inversión asignada por el gobierno de turno por un monto de USD 3.300 millones, los cuales han sido asignados para la readecuación de la red estatal y para la ejecución de proyectos emblemáticos tales como la Vía Pedernales – Cojimíes, El Puente sobre el Estuario del río Chone, la Ruta Spondylus, la Troncal Amazónica, entre otros, lo cual se refleja en una mayor red nacional.

Tabla 1.2 Red vial nacional

RED VIAL NACIONAL SEGÚN CATEGORÍA DE CAMINO		
CLASIFICACIÓN DE CAMINOS	LONGITUD KM.	% TOTAL DE LA RED
Caminos primarios	5.608,84	12,98%
Caminos secundarios	3.876,42	8,97%
Caminos terciarios	11.105,93	25,71%
Caminos vecinales	22.153,98	51,29%
Caminos locales	452,2	1,05%
TOTAL	43.197,37	100,00%

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012.
Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo 2013

La longitud total de la red vial se aproxima a 43.500 km, la mayor extensión se encuentra en la Sierra, la región interandina del país, una de las cuatro en las que se divide el Ecuador. “El 12 % de la red vial total está pavimentada y el 57% con superficie de rodadura afirmada; entre ambos aseguran la movilización continua durante todo el año entre las regiones del país; sin embargo, algo más de la cuarta parte de la red son caminos terciarios y vecinales.”² De ellos en lo que respecta a la red vial estatal, esta es de 8.653,6 kilómetros de carreteras, de las cuales 6.741 son administradas de forma directa, 1.350 km están concesionadas y 562 km delegadas a los consejos provinciales.

“Actualmente, se ha intervenido en 4.860 km de carreteras y 16.970 metros lineales de puentes, de los cuales el 54% son destinados a trabajos de reconstrucción, mejoramiento y rehabilitación. Además, para garantizar el tráfico normal, varias carreteras de la red principal son ampliadas a 4, 6 y 8 carriles, incluidos los accesos a las poblaciones adyacentes.”³

² Asfalto. (2011). *Red vial del Ecuador*.

³ Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2011). *Construyendo obras viales en el Ecuador*.

Tabla 1.3 Red vial estatal

ESTADO ACTUAL	TIPO DE PAVIMENTO	LONGITUD KM.	PORCENTAJE %
INTERVENIDAS	Pavimento Flexible	3.382	50.2
	Pavimento Rígido	1.118	16.6
	Doble Tratamiento Superficial Bituminoso	180	2.7
	Mantenimiento	2.061	30.5
TOTAL		6.741	100.00

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012.

La adecuada circulación de vehículos y el período de vida de la red vial depende del tipo de superficie con la que está construida, la misma que puede ser de hormigón asfáltico, hormigón armado y material granular. Se considera que las vías de hormigón son más resistentes, su ciclo de vida aproximada es de 10 años.

La red vial se ve afectada por el factor climático, convirtiéndose en el principal inconveniente para mantener en buen estado de las vías, especialmente en la época de invierno donde las lluvias se acentúan, es por ello, que la calidad de los materiales con los que se construyen las vías deben cumplir con estándares de calidad permitiendo alargar la vida útil del material asfáltico.

En el país, sin duda que la red vial ha mejorado, sin embargo en los sitios de mayor afluencia vehicular de las grandes ciudades aún se observan grandes deficiencias de la calidad de los materiales, tal es el ejemplo de la red vial del Sistema de Transporte Trolebús, la misma que tuvo que ser repuesta casi en su totalidad, puesto que la circulación vehicular era caótica, al igual que otras obras que han tenido que ser restituidas a en gran parte del país, situación que llama la atención puesto que no se puede identificar con certeza quienes son los responsables, si la empresa que pavimenta las vías o la empresa proveedora del

cemento asfáltico. Es por ello que se torna necesario la realización de la caracterización y análisis del cemento asfáltico utilizado en la construcción de vías, específicamente en las ciudades de Quito, Ambato, Latacunga y Riobamba, donde se evidencia un gran avance en materia vial, todo ello con el fin de identificar posibles problemas a causa de la utilización intensiva de materiales de mala calidad, lo cual afectaría al desarrollo económico de dichas ciudades.

El presente estudio pretende además servir de referencia como una herramienta de gestión para la evaluación del cemento asfáltico como material básico para la elaboración de hormigón asfáltico, donde resalte los pasos a seguir y las normas a cumplir para elevarlos como productos confiables y de excelente calidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Al evidenciar un cambio sustancial en la red vial del país, gracias a la inversión asignada por el actual gobierno en más de “USD 3.716 millones en apenas cinco años de gestión”.⁴ El gran problema que viene arrastrando el país, son las dificultades que implica una renovación total de la carpeta asfáltica de las vías ecuatorianas, puesto que en anteriores años, por el hecho de realizar trabajos sin los estudios técnicos y de especificidad se incurrían en graves errores, como es la contratación de empresas que ofertaban materias primas de mala calidad, lo que reflejaba en el bajo desempeño de las vías, a causa de los efectos climáticos o ambientales, que tienden a afectar directamente el estado de las vías.

Es por ello que la realización de la caracterización y análisis del cemento asfáltico en el país se vuelve muy importante, no solo por garantizar la calidad de las materias primas utilizadas en la construcción de carreteras de pavimento asfáltico, sino por salvaguardar el beneficio implícito de la población que al tener una mayor disponibilidad de las redes viales, tienden a mejorar su calidad de vida. A ello se suma que las grandes inversiones que vienen realizando el gobierno de turno debe tener el aprovechamiento óptimo, que se refleje en mejores sistemas de carreteras que duren el tiempo estipulado en los proyectos.

El presente estudio se justifica, por cuanto al tener un conocimiento certero de la calidad de las materias primas utilizadas, los procesos de construcción de carreteras se cumplen dentro de parámetros exigidos tanto en calidad y economía, pues a futuro se está proponiendo eximir de gastos elevados en mantenimiento, que solo implica demoras en los flujos de transporte pero sobre todo en menores asignaciones económicas para el emprendimiento de otros proyectos que beneficien a la población.

A fin de llevar adelante esta investigación y los respectivos análisis de los materiales, éstos serán obtenidos de empresas representativas que están

⁴ Andes (2012). *El desarrollo vial en Ecuador es uno de los iconos más visibles del progreso.*

localizadas en la zona Sierra Centro del Ecuador, específicamente en las ciudades de Quito, Ambato, Latacunga y Riobamba, donde aún se evidencian proyectos de construcción de carreteras. Los materiales tomados como muestras serán sometidas a ensayos de laboratorio para la determinación de las características físico-mecánicas exigidas por la normatividad nacional, respecto al grado de penetración e inflamación, sobre los cuales se puedan proponer mejoras respecto a las características de los materiales utilizados en la construcción vial a base de cemento asfáltico.

A lo mencionado anteriormente, se suma que en el país, aun no se han desarrollado estudios acertados para la determinación de las causas y efectos que modifican la calidad de los pavimentos asfálticos y su buen funcionamiento, especialmente respecto a la intervención de los ligantes asfálticos que influyen en el comportamiento y resistencia real de los pavimentos asfálticos de las carreteras de las zonas en cuestión. Todo ello motiva a los promotores a realizar un estudio que aporte con criterios que a futuro permitan el establecimiento de métodos de controles para el cumplimiento de las especificidades técnicas incluidas en la normativa nacional e internacional en la construcción de obras viales, que solo busquen prolongar los tiempos de uso, duración, pero sobre todo a la reducción de gastos de mantenimiento, que resulta perjudicial para el estado y para la empresa privada que tienen concesionadas ciertas vías.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivo General

Realizar caracterización y análisis del cemento asfáltico Tipo AC-20 en la sierra central (Ciudades: Quito, Ambato, Latacunga y Riobamba) mediante la determinación del índice de penetración.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estandarizar los procesos de toma de muestras de asfalto en empresas constructoras dedicadas a la construcción de carreteras en base a cemento asfáltico.
- Realizar ensayos de penetración y reblandecimiento, con la determinación del índice de inflación a los asfaltos tomados de muestra, observando la normatividad nacional vigente.
- Verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad exigidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F 2002), Capítulo 800 -Materiales-, Sección 810 –Asfaltos y productos asfálticos-, a fin de establecer si el asfalto utilizado en la construcción de vías en el país cumple o no con la normativa establecida.
- Establecer parámetros para el diseño de un manual de procedimientos de control de calidad del cemento asfáltico nacional, por medio del cual se pueda definir las características y comportamiento específico de las materias primas.

CAPÍTULO II

EL CEMENTO ASFALTICO

2.1 CONCEPTO

El asfalto es un material constituido en gran medida por una mezcla de hidrocarburos pesados, con propiedades destacables tales como: impermeabilidad, adherencia y cohesividad, capaz de resistir esfuerzos instantáneos de gran magnitud y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Al ser calentado se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida, además, sus cualidades aglutinantes, propiedades físicas y químicas, lo hacen óptimo para un gran número de aplicaciones, en particular es utilizado para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, al asfalto se lo define como: “Material aglomerante de color entre negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se encuentran en la naturaleza o son obtenidos por destilación del petróleo.”⁵

De igual forma, la entidad rectora de normalización en el país, la define como: “El material aglomerado sólido o semisólido, de color que varía negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse; sus constituyentes predominantes son betunes que se encuentran en la naturaleza en forma sólido o

⁵ Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F 2002). Capítulo 800 -Materiales-, Sección 810 –Asfaltos y productos asfálticos.

semisólida; también se obtienen de la destilación del petróleo o combinaciones de estos entre sí con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.”⁶

2.2 COMPOSICIÓN

2.2.1 Composición Fisicoquímica del Asfalto

La composición química de los asfaltos comprende una serie de elementos complejos que lo conforman, esencialmente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono (70%-85%), hidrógeno (7%-12%), azufre (1%-7%), oxígeno (0%-5%), nitrógeno (0%-1%) y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio. La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo. El análisis químico del asfalto conlleva procesos extensos y laboriosos, sin embargo, es posible distinguir dos grandes grupos que lo constituyen: los asfáltenos y máltenos.

A. Asfáltenos

Los asfáltenos son partículas sólidas, sin punto de fusión definido; al calentarse forman una masa viscosa que se descompone, se hincha y se aglutina, dejando un residuo de carbón (Reyes, 2003)

B. Máltenos

“Los máltenos son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición”⁷. El contenido de los asfaltenos en el cemento asfáltico varía entre el 15 y 20%, estos elementos le proporcionan las características estructurales. En un mayor porcentaje se encuentran los

⁶ Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1996). NTE INEN 2060:1996. p.1.

⁷ Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. p.83

maltenos, que le brindan la calidad al asfalto. Por lo tanto los maltenos rigen las propiedades químicas de los asfaltos.

Dentro del grupo de los máltenos, podemos distinguir a tres grupos estructurales con propiedades definidas y son los saturados, aromáticos y resinas.

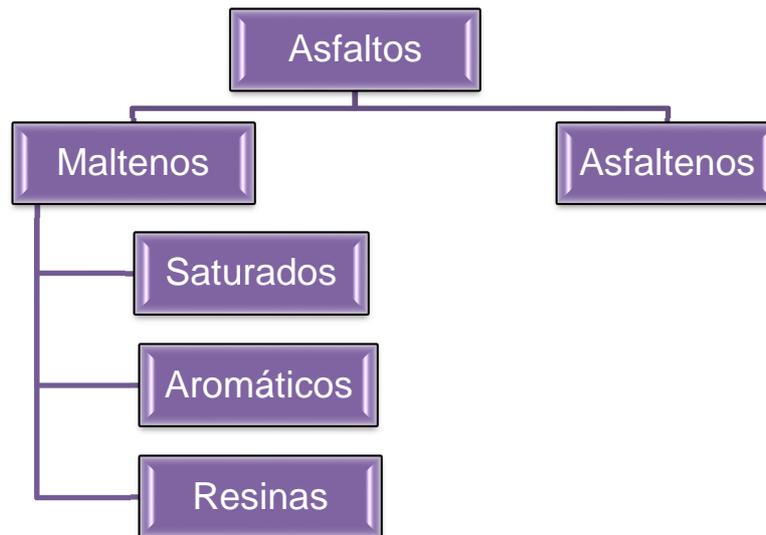


Figura 2.1 Clasificación fisicoquímica de los asfaltos

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V. (2003)

- **Saturados**

Son aceites viscosos que están conformados por cadenas lineales y ramificadas, saturadas, no polares, con reactividad muy baja.

- **Aromáticos**

Son compuestos orgánicos conformados por cadenas no polares, con una elevada capacidad para disolver diferentes compuestos con alto

peso molecular. Estos constituyen entre el 40 y 65 % de la composición total de los asfaltos. Los saturados y aromáticos permiten dar consistencia al asfalto para que sea trabajable.

- **Resinas**

Son compuestos muy polares, con elevada adhesividad que actúan como dispersantes de los asfaltenos, encargadas de brindar las características aglutinantes del asfalto.

2.3 CLASIFICACIÓN

Los asfaltos constituyen complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Estos pueden tener dos orígenes: los naturales y los derivados de petróleo.

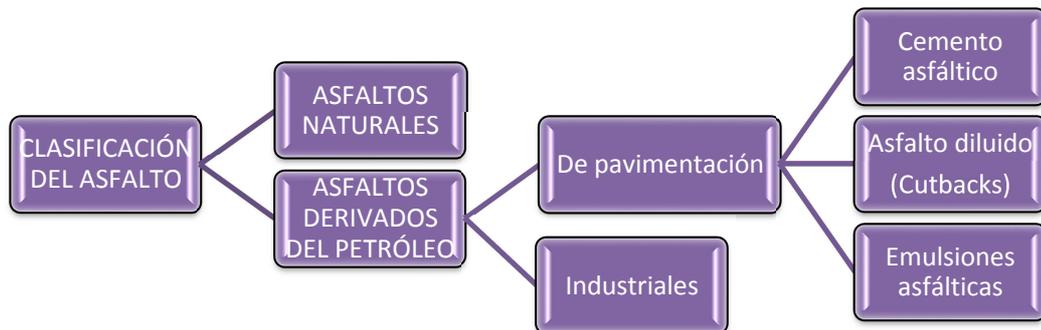


Figura2.2 Clasificación de asfaltos

2.3.1 Asfaltos Naturales

Son compuestos que se han originado a partir del petróleo, 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. También aparecen impregnando los poros de ciertas rocas, que se denominan rocas asfálticas, como

la gilsonita. Estos asfaltos pueden clasificarse en asfaltos nativos, sólidos o semisólidos, que a su vez se subdividen en:

- Puros o casi puros
- Asociados con materia mineral
- Asfaltitas duras

2.3.2 Asfaltos Derivados de Petróleo

Son los asfaltos que se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. “Las implicaciones poco deseables que normalmente se atribuyen a la palabra residual han conducido a la industria del asfalto a preferir el empleo de la expresión –destilación directa-, que sin embargo es inexacta, ya que pocas veces se producen asfaltos del petróleo por destilación simple, sin ningún tratamiento posterior.”⁸ Se clasifican en:

2.3.2.1 Asfalto de Pavimentación

Es un ligante denso que a la temperatura ambiente es semisólido, comúnmente pegajoso y de color variable entre café muy oscuro y negro. Se obtiene por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento, continuándose la destilación hasta obtener la consistencia deseada. Se clasifica en:

- Según su viscosidad
- Según su penetración

⁸ Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. p.78.

- **Clasificación del cemento asfáltico según su viscosidad**

“La viscosidad es la propiedad fisicoquímica que relaciona la aplicación de la resistencia al flujo y a la velocidad del flujo. En ocasiones llamado coeficiente de viscosidad dinámica. Este valor, es en sí, una medida de resistencia al flujo del líquido. La unidad de la viscosidad en el sistema internacional es el pascal segundo (Pa.s). Un centipoise (cP) equivale a un milipascal segundo.”⁹

Los cementos asfálticos según su viscosidad se clasifican en tres grupos:

- I. **Grupo I:** Aquella clasificación basada en los ensayos realizados al asfalto original, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración:

Tabla 2.4 Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 °C Pascal. segundo (Pa s) ⁽¹⁾
AC-2.5	25±5
AC-5	50±10
AC-10	100±20
AC-20	200±40
AC-40	400±80
⁽¹⁾ 1 Pa.s (Pascal. segundo)=10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

⁹ Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010): NTE INEN 2515:2010.p.2.

- II. Grupo II:** aquella clasificación basada en los ensayos realizados al asfalto original, para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración. Son menos susceptibles a la temperatura que los asfaltos del grupo I

Tabla 2.5 Clasificación para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 °C Pascal. segundo (Pa s) ⁽²⁾
AC-2.5	25±5
AC-5	50±10
AC-10	100±20
AC-20	200±40
AC-30	300±60
AC-40	400±80
⁽²⁾ 1 Pa.s (Pascal. segundo)=10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

- III. Grupo III:** aquella clasificación basada en las pruebas realizadas al residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio.

Tabla 2.6 Clasificación basada en el residuo del ensayo de la película fina

Tipo	Viscosidad a 60 °C Pascal. segundo (Pa s)⁽³⁾
AR-100	100±25
AR-200	200±50
AR-400	400±100
AR-800	800±200
AR-1600	1600±400
⁽³⁾ 1 Pa.s (Pascal. segundo)=10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

De igual forma la normativa nacional vigente de igual forma establece los requisitos que deben cumplir los cementos asfálticos de acuerdo a su clasificación según viscosidad, así se tiene lo siguiente:

Requisitos para cemento asfáltico de viscosidad 60°C, basado en el asfalto original:

Tabla 2.7 Requisitos de cementos asfálticos para tipos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-40		Norma de ensayo
		Mi n.	Max	Mi n.	Max	Mi n.	Max	Mi n.	Max	Mi n.	Max	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa.s ⁽⁴⁾	25±5		50±10		100±20		200±40		400±80		ASTM D2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² .s ⁻¹	80	-	110	-	150	-	210	-	300	-	ASTM D2171
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s	Dmm	200	-	120	-	70	-	40	-	20	-	NTE INEN 917
Punto de inflamación	°C	163	-	177	-	219	-	232	-	232	-	NTE INEN 808
W Solubilidad en tricloroetileno	%	99	-	99	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	ASTM D1754
Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película delgada al horno												ASTM D1754
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa.s ⁽⁴⁾	-	125	-	250	-	500	-	1000	-	2000	ASTM D2171
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	Cm	100	-	100	-	50	-	20	-	10	-	NTE INEN 916
⁽⁴⁾ 1 Pa.s (Pascal. segundo)=10 P (Poise). ⁽⁵⁾ Ver NTE INEN 53 ⁽⁶⁾ Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15.5 C es mínimo a una velocidad de tiro de 5 cm/min												

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

Los requisitos para el cemento asfáltico de viscosidad 60°C basado en el asfalto original, pero menos susceptibles a la temperatura:

Tabla 2.8 Requisitos de cementos asfálticos para tipos de 200 dmm a 20 dmm de Penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40	Norma de ensayo	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa.s ⁽⁷⁾	25±5		50±10		100±20		200±40		300±60		400±80	ASTM D2171	
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² .s ⁻¹	80	-	110	-	150	-	210	-	400	-	400	-	ASTM D2170
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s	dmm	200	-	120	-	70	-	40	-	40	-	40	-	NTE INEN 917
Punto de inflamación	°C	163	-	177	-	219	-	232	-	232	-	232	-	NTE INEN 808
W Solubilidad en tricloroetileno	%	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	NTE INEN 915
Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película delgada al horno												ASTM D1754		
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa.s ⁽⁷⁾	-	125	-	250	-	500	-	1000	-	1500	-	2000	ASTM D2171
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	Cm	100	-	100	-	75	-	50	-	40	-	25	-	NTE INEN 916
⁽⁷⁾ 1 Pa.s (Pascal. segundo)=10 P (Poise). ⁽⁸⁾ Ver NTE INEN 53 ⁽⁹⁾ Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15.5 C es mínimo a una velocidad de tiro de 5 cm/min														

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

Los requisitos cemento asfáltico de viscosidad 60°C basado en el residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio son:

Tabla 2.9 Requisitos de cementos asfálticos de viscosidad a 60°

Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio	Unidad	AR-100	AR-200	AR-400	AR-800	AR-1600	Norma de ensayo
		Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s	100±25	200±50	400±100	800±200	1600±400	ASTM D2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² .s ⁻¹	140	200	275	400	550	ASTM D2170
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s	dmm	65	40	25	20	20	NTE INEN 917
Porcentaje original de penetración a 25 °C	%	-	40	45	50	52	NTE INEN 917
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min	cm	100	100	75	75	75	NTE INEN 916
Ensayo sobre asfalto original							
Punto de inflamación	°C	205	219	227	232	238	NTE INEN 808
W Solubilidad en tricloroetileno	%	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	NTE INEN 915
<p>⁽¹⁰⁾ El ensayo de película fina en horno rotatorio debe ser usado como método regulador (ASTM D2872). El ensayo de película fina al horno (ASTM D1754) puede utilizarse.</p> <p>⁽¹¹⁾ 1 Pa s (Pascal segundo) = 10 P (Poise).</p> <p>⁽¹²⁾ No aplica para la viscosidad absoluta a 60 °C</p> <p>⁽¹³⁾ Ver NTE INEN 53.</p> <p>⁽¹⁴⁾ Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15.5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5cm/min.</p>							

Fuente: INEN NTE 2515: 2010

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

- **Clasificación del cemento asfáltico según su penetración**

Según su penetración los cementos asfálticos se clasifican en 5 grados:

- Grado I: Penetración 40/50.
- Grado II: Penetración 60/70.

- c. Grado III: Penetración 85/100.
- d. Grado IV: Penetración 120/150.
- e. Grado V: Penetración 200/300.

Según el INEN, el cemento asfáltico debe ser homogéneo, exento de agua y no debe formar espuma cuando se caliente a 175°C. De igual forma para ser utilizado para riegos, debe estar comprendida entre 140°C y 175°C.

A continuación se presenta las características fisicoquímicas de los cementos asfálticos, según su grado de penetración:

Tabla 2.10 Caracterización de cemento asfáltico

REQUISITOS	UNIDAD	GRADO DE PENETRACIÓN										METODO DE ENSAYO
		I		II		III		IV		V		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Penetración a 25°C, 100g,5s	1/10mm	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	NTE INEN 917
Viscosidad a 135°C: Saybolt-Furol Cinemática	SSF	120	--	100	--	85	--	70	--	50	--	NTE INEN 1981
	cSt	240	--	200	--	170	--	140	--	100*	--	NTE INEN 810
Punto de inflamación	°C	232	--	232	--	232	--	218	--	177	--	NTE INEN 808
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min	cm	100	--	100	--	100	--	100	--	100*	--	NTE INEN 916
Solubilidad en tricloroetileno	% m/m	99	--	99	--	99	--	99	--	99	--	NTE INEN 915
Pérdida de masa por calentamiento	% m/m	--	0,8	--	0,8	--	1,0	--	1,3	--	1,5	NTE INEN 924
Ensayos en el residuo: Penetración (% del original)	% m/m	58	--	54	--	50	--	46	--	40	--	NTE INEN 918
Ductilidad a 25°C, 5cm/min	cm	--	--	50	--	75	--	100	--	100*	--	NTE INEN 916

* Si la ductilidad a 25°C es menor a 100 cm el material será aceptado; si la ductilidad a 15,5°C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Fuente: INEN NTE 2060: 1996

Por las propiedades aglutinantes e impermeabilizantes que presentan, son ideales para pavimentación, poseen características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayor parte de ácidos, sales y alcoholes.

Las propiedades del crudo varían dentro de un mismo yacimiento y por el sistema de refinación que se haya empleado, afectando a la calidad del cemento asfáltico.

a) Asfalto diluido (Cutbacks)

El asfalto diluido puede ser de diversos tipos a continuación de indican los siguientes:

- De curado rápido (RC): Son cementos asfálticos diluidos con un destilado del petróleo como es la gasolina, que al evaporarse con rapidez facilita un cambio rápido desde la forma líquida en el momento de la aplicación hasta la consistencia del cemento asfáltico. De acuerdo a la proporción de la gasolina se obtendrá un asfalto con mayor o menor viscosidad.
- De curado medio (CM): Son cementos asfálticos diluidos a una mayor fluidez, licuado con un diluyente a base de kerosene o aceite diesel ligero que se evaporan a una velocidad relativamente baja. Es el más utilizado para pavimentación, con los varios grados de viscosidad obtenidos al cambiar la proporción asfalto/diluyente.
- De curado lento (CL): Cuyo solvente es un aceite pesado de baja volatilidad, usualmente del tipo Fuel-oil. Son poco utilizados a acepción de las técnicas de estabilización de arenas, riegos de sello y penetración.

b) Emulsiones Asfálticas

Es un sistema heterogéneo formado principalmente por dos fases como es el asfalto (60-70%) y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficies llamado emulsificante (0.2-1%), el cual mantienen en dispersión el sistema.

El agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen varios tipos de emulsificantes, ciertos emulsificantes permiten que esta rotura sea instantánea, en cambio otros producen el efecto contrario de tal manera que retardan éste fenómeno.

Pueden ser utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones desde la construcción, mantenimiento y pavimentación de carreteras y aeropuertos, también incluye aquellas que necesiten una capa protectora como: bacheos, riegos de curado, de penetración y de imprimación, fabricación de morteros asfálticos para impermeabilización, estabilización de suelos, riegos especiales de protección de taludes.

2.3.2.2 Asfaltos Industriales

Los asfaltos de impermeabilización u oxidado se producen al hacer burbujear aire a través de asfalto calentado entre 200 y 300°C, con el objetivo de mejorar sus características y ser empleado en aplicaciones más especializadas, como por ejemplo: en la impermeabilización de techos, por lo tanto el punto de ablandamiento debe soportar altas temperaturas ocasionadas por los rayos solares, además en revestimientos de cañerías, subsellados asfálticos para rellenar cavidades debajo de pavimentos rígidos (hormigón) y como protección anticorrosiva para fundaciones de tanques, columnas y otras construcciones

2.4 PROPIEDADES DEL ASFALTO

Las propiedades de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

1) Consistencia

La consistencia se define como el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada, esta propiedad relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación.

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Para poder establecer la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia.

Si el cemento asfáltico es expuesto al aire en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo en las mezclas con agregado pétreo, el asfalto tiende a endurecerse y aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta, por lo cual un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar un daño al cemento asfáltico, tanto como el servicio en el camino terminado.

De manera general, para especificar y medir la consistencia de un tipo de asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración.

2) Pureza

El cemento asfáltico está compuesto principalmente por betunes, los cuales por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más del 99,5 % solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto, casi betunes puros. Las impurezas son inertes o insolubles, en el caso de presentarse. De manera habitual el cemento asfáltico al salir de la refinería, está libre de humedad, pero puede presentarse en los tanques de transporte. Si

presenta cierto contenido de agua, dicho contenido provocará espumas cuando se calienta por encima de los 100 °C

La pureza de un asfalto se relaciona directamente con el grado de ausencia de materiales insolubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos que se originan de procesos de refinación son, en forma general, más del 99% soluble y son prácticamente bitúmenes puros. La pureza también se relaciona con que los asfaltos no presenten humedad.

3) Durabilidad

Es la capacidad de un ligante para mantener sus propiedades originales cuando está sometido a los procesos normales de trabajo en obra. Estos procesos son los de almacenamiento y mezclado en planta, transporte, extendido y compactación en el pavimento y luego durante la etapa de servicio a lo largo del período de servicio en obra.

Es una propiedad que es evaluada a través del desempeño o comportamiento de la mezcla en el pavimento y que depende no sólo del material asfáltico sino del diseño de la mezcla, características de los agregados, procesos de producción y compactación en obra, así como de las condiciones climatológicas del sitio en el cual se construye el pavimento.

La pérdida de durabilidad a lo largo de estos procesos, que no pueden evitarse sino sólo controlarse, se denomina “envejecimiento”. Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Sin embargo existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto, éstas son: de película delgada en horno y la prueba de película delgada en horno rotatorio, ambas incluyen el calentamiento de la película delgada de asfalto.

4) Ductilidad

Es una propiedad que evalúa cuanto puede ser estirado una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos partes. La ductilidad es medida mediante una prueba de “extensión”, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica. El estiramiento continúa hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud de hilo de material en el momento del corte se mide en centímetros.

Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes, además que con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.

5) Adherencia

La adherencia se define como la capacidad de un ligante asfáltico para separarse mientras está caliente, mantenerse unido a un agregado después de enfriarse, aun en presencia de agua y paso de los vehículos. La adherencia es una propiedad inherente al asfalto, pero depende también del agregado. Existen agregados con afinidad por el asfalto (hidrofóbicos), los cuales la separación de la unión asfalto-agregado es más difícil que aquéllos que son afines al agua (hidrofílicos).

6) Cohesión

La cohesión es la habilidad de un material asfáltico para mantener firmemente unidas las partículas de agregados, después de que la mezcla ha sido compactada se ha enfriado a la temperatura ambiente. Capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

7) Gravedad específica

La gravedad específica de un asfalto es definida como la relación de su masa a una temperatura establecida y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura. La gravedad específica del asfalto presenta cambios cuando el asfalto es calentando ya que se expande.

8) Densidad

Es una propiedad que presenta un rango de variación notable, debida principalmente a que depende del diseño de la mezcla, del uso al que va a ser destinado, ya instalado, de su compactación, y de la temperatura. Una densidad típica en asfaltos es de 1.80 gr/cm^3 .

Dicha propiedad permite conocer las impurezas que contiene un producto, además la medida nos sirve para un control de la uniformidad de un suministro. Se la determina por medio de un picnómetro.

9) Punto de Inflamación

Es la temperatura a la cual un asfalto puede calentarse con seguridad, sin que éste se inflame en presencia de una llama. Esta temperatura es menor que la temperatura de combustión o punto de combustión.

Se determina para identificar la temperatura máxima a la cuál este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame, esto es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado con su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado. El punto de inflamación de un asfalto está en el orden de los 215°C.

10) Resistividad y Conductividad Eléctrica

El asfalto tiene una alta resistencia correspondientemente una baja conductividad y es en consecuencia un buen material aislante. La resistencia de los asfaltos decrece con el incremento de la temperatura.

11) Susceptibilidad a la temperatura

Es una de las propiedades más destacable de los asfaltos, debido a que todos los asfaltos son termoplásticos, es decir se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta, se puede conocer la temperatura adecuada para que el asfalto adquiriera una viscosidad requerida para los diferentes usos a que sea sometido el asfalto.

Es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura, debiendo tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir

las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

12)Endurecimiento

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

13)Seguridad

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175 °C. El cemento asfáltico, si se le somete a temperaturas suficientemente elevadas, emana vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a que esto ocurre, normalmente es más elevada que la de trabajo en obras de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto, que se revisara posteriormente.

2.4.1 Relación Viscosidad-temperatura

Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos, pero como consecuencia de las variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es suficiente para hacer uso adecuado de los materiales. La temperatura más adecuada para mezclado en

instalación mezcladora es aquella a la cual la viscosidad del asfalto está comprendida entre un rango específico. Las temperaturas más elevadas de este campo de variación son normalmente más adecuadas para mezclas con áridos finos. No hay que olvidar que la temperatura de los áridos regula en medida importante la temperatura de la mezcla.

La viscosidad más conveniente para la aplicación depende de varios factores, como

- Condiciones atmosféricas
- Características y granulometría de los áridos
- Tipo de aplicación (mezcla o riego)

Se recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura de cada material asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado.

2.4.2 Funciones del Asfalto en la Construcción de Pavimentos

Sus principales funciones en la construcción de carreteras son:

- Impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Actúa como aglomerante en mezclas asfálticas a instancias de la construcción de carreteras, autovías y autopistas es decir proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora, la capacidad portante de la estructura y por ende permite disminuir el espesor, Facilitando una estructura de pavimento con características flexibles.

2.4.3 Características Técnicas

- Excelente adherencia.
- Óptima ductibilidad, plasticidad y elasticidad que le otorgan gran manejo, eliminando así la fragilización.
- Adecuada dureza y viscosidad, lo cual permite su uso específico para cada condición de clima.
- Presentan bajo índice de susceptibilidad térmica, permitiendo un comportamiento estable ante las variaciones de temperatura del ambiente.
- Excelente estabilidad a la oxidación.
- Muy resistente al agua y a la mayoría de ácidos y álcalis.

2.5 FABRICACIÓN Y SUMINISTRO

2.5.1 Proceso de Obtención del Asfalto

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 las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

Actualmente más del 90% de los asfaltos utilizados como ligantes en las mezclas asfálticas son producidos por la destilación fraccionada del crudo como se observa en la figura 2.3.

El asfalto que se utilizó en épocas pasadas fue el asfalto natural, el cual se encuentra en la naturaleza en forma de yacimientos que pueden explotarse sin

dificultad y cuyo empleo no requiere de operaciones industriales de ningún tipo para su preparación. Estos yacimientos se han producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas.

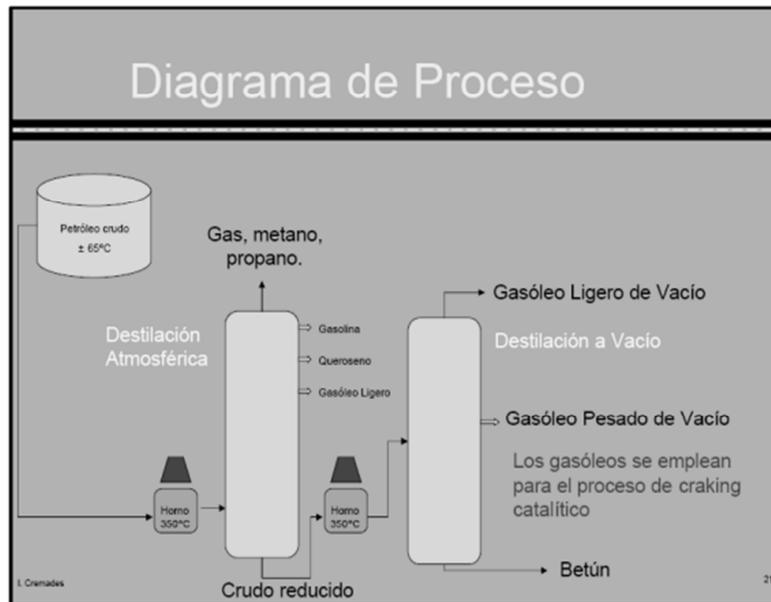


Figura 2.3 Diagrama de proceso de productos asfálticos

- **Obtención de Asfaltos en Refinerías**

El asfalto se obtiene en las refinerías por medio de diferentes procesos los cuales se menciona a continuación:

a. Destilación primaria

Es la operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, keroseno, gas oíl), hierven hasta esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionada. 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.

b. 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 fraccionada, 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, es 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 obtendrá distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

c. Desasfaltización con propano o butano

El residuo del vacío obtenido, 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 es gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "Desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y que da un residuo semisólido llamado "bitumen". En la figura 2.4 se muestra en forma esquemática el proceso de refinación del petróleo.

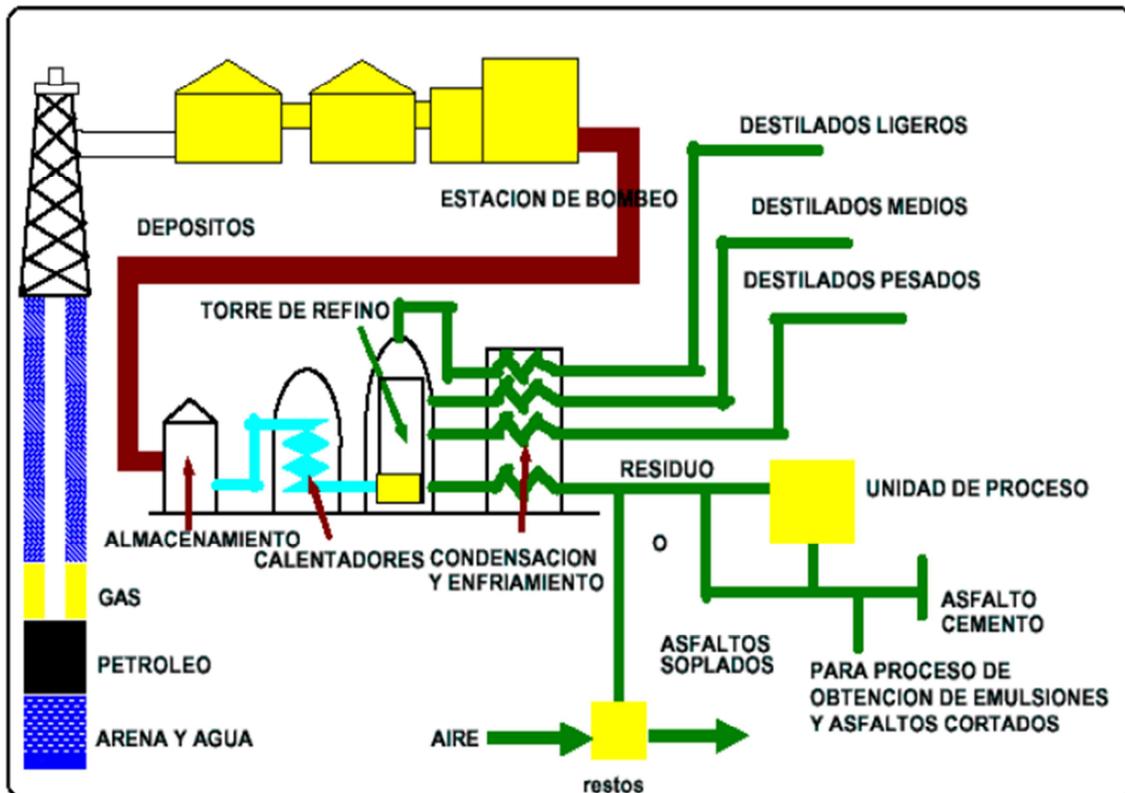


Figura 2.4 Esquema de obtención de los asfaltos en Refinería

FUENTE: AsfaltoenObraCivil.vías.

2.5.2 Suministro

La Refinería de Esmeraldas es la única planta industrial que suministra en el Ecuador, el asfalto. Se producen tres tipos o grados de asfalto en volúmenes que satisfacen la demanda nacional.

Esta planta tiene la responsabilidad de proveer el asfalto que se utilizan en las regiones del país: Costa, Sierra Y Oriente, es así que se distinguen diferentes tipos de asfalto de penetración como: De Grado II (85-100) y III (85-100, estos asfaltos se obtienen directamente como residuo de las torres de destilación al vacío; con respecto al asfalto de Grado I, RC-250, se lo prepara en los tanques de almacenamiento a partir del asfalto base, al que se agrega nafta pesada en cantidades cercanas al 25% hasta ajustar su viscosidad.

La Refinería de Esmeraldas realiza un riguroso control de calidad a los asfaltos, con continuos análisis de penetración a los fondos de vacío y cuando se llena el tanque de almacenamiento previo al despacho.

Los distribuidores de asfalto consistirán en depósitos montados sobre camiones o unidades similares, aislados y provistos de un sistema de calentamiento, que generalmente calienta el asfalto haciendo pasar gases a través de tuberías situadas en su interior. Deberán disponer de un grupo de motobombas adecuadas para manejar productos con viscosidad entre 20 y 120 Centistokes. En zonas singulares como cunetas, pasajes, etc., se podrá utilizar equipos distribuidores manuales, cuidando de que la aplicación sea uniforme.

2.6 ALMACENAMIENTO

Se lo realiza en tanques de diferente capacidad siendo el más común los de 40000 lt. También los hay de 32000 y 26000 lt. Estos tanques deben disponer de serpentines de circulación de vapor o aceite que puedan emplearse para calentar el producto cuando sea necesario.

Las cantidades de asfalto almacenadas en las plantas deben ser suficientes para permitir una operación uniforme. Los tanques de almacenamiento deberán ser calibrados para que la cantidad remanente de material en el tanque pueda ser determinado en cualquier momento.

Para romper el vacío creado en las líneas cuando se invierte la bomba, y para limpiar las líneas, se deben cortar dos o tres ranuras verticales en las líneas de retorno dentro del tanque, por encima de la marca del máximo nivel.

2.6.1 Exigencias Sobre Tanques de Almacenamiento:

- Tener termómetros tipo inscriptor situados en puntos específicos que permitan un control efectivo de temperaturas en cualquier momento.
- Tener capacidad suficiente re reserva para al menos un día de trabajo sin interrupciones.
- El sistema de circulación deberá tener capacidad suficiente para un cauda uniforme y estar provisto de camisas de aislamiento térmico y conservación de la temperatura.
- Tener dispositivos confiables para la medición y muestreo del asfalto, e muestreo generalmente se lo realiza por medio de válvulas en el sistema de circulación.

Generalmente, los tanques y camiones se conservan entre 50 y 80°C, para mantenerlo líquido, y que las bombas lo puedan mover. Si se enfría, se empieza a poner pastoso como una grasa, o se solidifica, según el tipo de asfalto que se trate.

Finalmente, para su utilización (ya sea para hacer pavimentos, o cubierta de techos, o pegar pisos de parquet), se lo calienta entre 90 y 120°C.

2.6.2 Almacenamiento y Manipulación del Asfalto Caliente

El revestimiento o formación de pieles en tanques de asfalto es causado por el sobre calentamiento en una atmosfera oxidante. Esto puede ser minimizado reduciendo la temperatura de almacenamiento o evitando picos temporarios de temperatura causados por controles deficientes de la temperatura. El asfalto no debe ser almacenado a granel a altas temperaturas. Si la temperatura de

aplicación está por encima de los 160°C, se deberá utilizar un pequeño tanque calentador para llegar a esa temperatura y la temperatura en el tanque de estar 50°C por encima del punto de ablanamiento del asfalto en cuestión. Gas inerte como el nitrógeno o el dióxido de carbono puede ser utilizado para reducir la formación de pieles en la superficie del asfalto.

La manipulación y almacenamiento del producto en estado líquido se debe realizar de tal manera que no sea posible el contacto con el agua.

2.6.3 Transporte

El producto es transportado a granel en camiones tanque, que poseen sistemas de calentamiento para mantener el producto en estado líquido; el personal que realiza el traslado del producto debe estar previamente capacitado para acciones de emergencia durante el trayecto. Si el producto está envasado en cilindros y es transportado a temperatura ambiente no presenta riesgos de peligrosidad. El transporte se realiza de acuerdo a las normas de seguridad vigentes.

2.7 USOS

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy en día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Un criterio que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción es: Un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo.

Es un producto antiguo y que gracias a la tecnología y al desarrollo de la humanidad ha variado su forma, su manejo, e, inclusive, sus características, permitiendo utilizarlo en diferentes ramas de la construcción, Por ejemplo: en vialidad es utilizado como lecho de las carreteras o de las vías por donde transitan los vehículos. Es perfecto como aislante en las estructuras, no el asfalto en sí, pero si un derivado o compuesto a base de este material. En la impermeabilización de losas es magnífico, así como también depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas

Entre los usos que se le da al asfalto existen dos muy importantes, por un lado, como mencionamos, para la construcción de pavimentos de carreteras y autopistas, por sus características adherentes, cohesivas y altamente resistentes que permiten que reciba cargas importantes y permanentes. También como impermeabilizante de techos, por ejemplo, ya que es muy poco sensible a la humedad y da resultados efectivos contra la acción del agua que proviene de las lluvias.

- **Para rellenos de juntas:** tiras prefabricadas de asfalto mezclado con sustancias minerales muy finas, materiales fibrosos, corcho, etc., de dimensiones adecuadas para la construcción de juntas.
- **Paneles:** compuestos generalmente de una parte central de asfalto, minerales y fibras, cubierta por ambos lados con una capa de fieltro impregnado de asfalto y revestido en el exterior con asfalto aplicado en caliente. Con anchuras de 90cm a 1.20m, con un espesor de 9cm a 25mm y de la longitud que se desee

- **Tablones:** mezclas premoldeadas de asfalto, fibras y filera mineral, reforzadas a veces con malla de acero o fibra de vidrio. Con longitudes de 90cm a 2.40m y anchuras de 15 a 30cm. Pueden contener arena silíceo lo que los hace parecer ligas
- **Bloques:** hormigón asfáltico moldeado a alta presión. El tipo de áridos empleados, la cantidad, tipo de asfalto, el tamaño y el espesor de los bloques pueden variarse según las necesidades de empleo.
- Los cementos asfálticos se emplean con éxito en la construcción de carreteras, pistas de aeropuertos, impermeabilizaciones y revestimientos. Son de fácil aplicación en caliente y no se requiere de maquinaria especializada.
- Los cementos asfálticos se usan para formular los asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas, para aplicación en frío.
- Los asfaltos líquidos se emplean para tratamientos superficiales, imprimación, revestimientos e impermeabilización. Su aplicación es en frío, pudiendo calentarse hasta una temperatura máxima de 70 °C, según requerimiento del uso.

CAPÍTULO III

FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO

La durabilidad del cemento asfáltico es la capacidad para conservar las propiedades ligantes y cohesivas en la mezcla, antes y después de envejecido. La naturaleza del material constituida por hidrocarburos de distintos grados de polaridad, juegan un papel importante para que las cualidades se mantengan a lo largo de la vida útil del pavimento, y por el contrario existen factores internos y externos que contribuyen a su envejecimiento.

Los factores más importantes que producen la disminución de la durabilidad de un asfalto en el proceso de mezclado o de servicio son:

3.1 EVAPORACIÓN DE LOS COMPONENTES VOLÁTILES

La volatilización es la evaporación de los solventes más livianos, es directamente proporcional a la temperatura, por esta razón la temperatura debe ser debidamente controlada en el proceso de mezclado.

Este factor no contribuye al envejecimiento a largo plazo del asfalto en condiciones de servicio.

3.2 ACCIÓN QUÍMICA DEL OXÍGENO DE LA ATMOSFERA

Es un proceso mediante el cual algunos de los componentes del asfalto reaccionan con el oxígeno, presentes en el aire y en el agua. Los componentes que más se oxidan son los asfaltenos que se convierten en carbón, luego las resinas que pasan a ser asfaltenos, y en menor grado los aceites que pasan a ser resinas y asfaltenos. En consecuencia del cambio de proporciones de los componentes del asfalto se pierden las propiedades de adherencia y flexibilidad.

La acción del oxígeno, catalizada por la radiación ultravioleta de la luz solar, y la elevación de temperatura, producen una oxidación de las moléculas más susceptibles y como consecuencia un envejecimiento del ligante que va perdiendo consistencia, se torna quebradizo y frágil, permitiendo que el agua penetre a través de la película y desplace el asfalto con el consiguiente deterioro de la mezcla.

La velocidad y magnitud de la oxidación, dependen de las características del cemento asfáltico y de la mezcla asfáltica, así como de la temperatura del aire.

3.3 ENDURECIMIENTO POR ENVEJECIMIENTO.

El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos altera las propiedades fisicoquímicas del material y por ende la durabilidad de los pavimentos asfálticos, causando pérdidas económicas debido a deterioros prematuros de las carpetas asfálticas.

Las propiedades del asfalto cambian con el tiempo, y debido a esto las especificaciones utilizadas para el diseño de las mallas viales basadas en las

propiedades físicas iniciales no aseguran un buen desempeño después que el asfalto ha sido mezclado con el agregado, aplicado y puesto en marcha para soportar los esfuerzos mecánicos propios del transporte. Durante este proceso de elaboración de una mezcla asfáltica, los asfaltos se oxidan por acción del oxígeno del aire y de las altas temperaturas de mezclado, permitiendo que el fenómeno de envejecimiento inicie en forma inmediata, y posteriormente, es inducido por los diversos factores climáticos que inciden en los pavimentos. Por lo tanto, para conseguir carpetas asfálticas con una mayor durabilidad se debe considerar el efecto del cambio en la composición química del cemento asfáltico en el proceso de mezclado en caliente y durante el tiempo de servicio. Para incluir este efecto antes que nada es necesario estudiar el fenómeno de oxidación del asfalto, ya que de hecho son las características de oxidación del ligante del petróleo las que condicionan el comportamiento y durabilidad del pavimento después de su elaboración, así como la composición química inicial.

3.4 POLIMERIZACIÓN PRODUCIDA POR LOS CAMBIOS QUÍMICOS EN EL ASFALTO

Consiste en la combinación de moléculas similares para formar otras más grandes; el incremento en el peso molecular significa que las resinas y los aceites han pasado a ser asfaltenos.

3.5 SINÉRESIS

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

3.6 SEPARACIÓN

Es la remoción de los aceites, asfaltenos y resinas que es causada por una adsorción selectiva de agregados muy porosos.

3.7 PROCESO QUE CONDUCEN AL ENVEJECIMIENTO DE LOS ASFALTOS

La mezcla asfáltica experimenta cambios de orden físico, mecánico, químico y reológico, al envejecerse el asfalto disminuye la penetración y la ductilidad y aumenta la temperatura del punto de ablandamiento y del punto de inflamación.

Desde el punto de vista mecánico y dinámico hay un incremento en la relación de los módulos antes y después del envejecimiento, corresponde a un incremento en el módulo, es decir el endurecimiento del material, el ahuellamiento se reduce como la vida de fatiga y se incrementa el agrietamiento. De igual forma, los cambios químicos que se experimentan corresponden a un reacomodo de las moléculas de asfalto por efecto de la volatilización y la oxidación que producen cambios en los grupos de saturados, asfaltenos, resinas y aromáticos. También, se muestra la formación de grupos funcionales carbonilos y sulfoxidos en las mezclas con asfaltos envejecidos.

Cuando ocurre la oxidación, la respuesta elástica del asfalto se incrementa más rápidamente que la respuesta viscosa, esto se da por el incremento en el tamaño de las moléculas por la presencia de oxígeno, ya que las aglomeraciones moleculares pierden movilidad para fluir, el ángulo de fase decrece y se incrementa, lo que corresponde a cambios manifiestos en las propiedades reológicas.

3.7.1 Tipos de Mecanismos para el Endurecimiento del Asfalto

- La volatilización de componentes del asfalto mientras está caliente en la planta.

- La prolongada oxidación por la acción de las variables ambientales durante la vida de servicio.
- El endurecimiento esterítico del asfalto producido por los cambios de temperatura cercana a la temperatura ambiente.
- Los mecanismos de volatilización y oxidación, son de carácter químico y por tanto, irreversibles, ya que alteran la composición química del asfalto, mientras que el endurecimiento esterítico corresponde a un reajuste estructural el cual se puede revertir mediante la exposición al calor o al trabajo mecánico.
- Como resultado de estos mecanismos, el envejecimiento produce un endurecimiento global del material el cual incrementa la probabilidad de agrietamiento de las mezclas asfálticas iniciando en la superficie de la capa expuesta a las condiciones ambientales.

El envejecimiento en las mezclas asfálticas es un fenómeno producido por la interacción de variables intrínsecas y extrínsecas, las cuales producen un efecto de endurecimiento en la mezcla, que se detallan a continuación:

3.7.2 Variables que Intervienen en el Proceso de Envejecimiento

a. Variables intrínsecas

Son las características propias de la mezcla asfáltica, es decir los materiales y las características de fabricación. Entre ellas se cuenta el asfalto y los agregados, referidos a los materiales y el contenido de vacíos con aire y la permeabilidad como características propias de la fabricación de la mezcla.

- **El Asfalto**

Es un material con comportamiento viscoso o viscoelástico dependiendo de la temperatura en la que se encuentre. A temperaturas bajas se comporta como un material sólido (elástico) y a medida que la temperatura se incrementa presenta comportamiento fluido (viscoso).

Los elementos químicos presentes en mayor proporción son el carbono (80-88%) y el hidrogeno (8 - 12%), y en menor proporción se encuentran el oxígeno (0-2%), nitrógeno (0-2%), azufre (0-9%), adicionalmente se encuentran trazas de metales como níquel, vanadio y manganeso entre otros.

- **La película de asfalto**

La película de asfalto en un pavimento es del orden de 15 a 20 micrones y el espesor mínimo recomendado es del orden de 6 a 8 micrones, el cuál no es constante en toda la mezcla. Un adecuado espesor de la película alrededor de los agregados asegura una razonable durabilidad a la mezcla asfáltica. Esta película es la que realmente experimenta la acción del envejecimiento y en consecuencia es la que se endurece. Los cambios de temperatura producidos por el clima y el tránsito hacen que a medida que pasa el tiempo el asfalto se oxide y presente comportamiento quebradizo con la consecuente aparición de grietas. El espesor de la película de asfalto sobre los agregados y la cantidad de vacíos en la mezcla inciden directamente en el envejecimiento de las mezclas asfálticas.

- **Los agregados**

Son materiales inertes o áridos que no son objeto de reacciones químicas que alteren su composición al ser mezclados con otros materiales, la presencia del agua en la mezcla en servicio cambia el PH de los agregados, en consecuencia de esto, se da la pérdida de cohesión así como también se reduce la adhesión y por tanto el desprendimiento de la película de asfalto. Es posible que algunos agregados, particularmente agregados silíceos, tiendan a formar las mezclas

susceptibles al daño por humedad sin importar el tipo de asfalto con el que se combinen. Durante el envejecimiento oxidante de los asfaltos, se generan las moléculas polares que pueden mejorar resistencia al daño del agua.

La influencia de los agregados radica en la calidad de la mezcla asfáltica producida siempre y cuando se cumplan las condiciones para la producción de la mezcla. Esas condiciones se refieren a la gradación y limpieza de los agregados, las características de absorción del asfalto en el momento de la mezcla, así como la temperatura previa a la mezcla, la ausencia de humedad y el espesor de la película asfalto que los envuelve.

- **El contenido de vacíos con aire**

El tamaño y la distribución de los vacíos con aire en las mezclas asfálticas dependen de las propiedades de los agregados, el diseño de la mezcla y el proceso de compactación.

La función de los vacíos en la mezcla es la de generar unos espacios de estabilización de la mezcla en sí, ya que en el momento de incrementarse la temperatura por efecto del clima o por el tránsito vehicular, el asfalto tiende a fluir y puede ocupar esos espacios vacíos. En general el contenido de vacíos es una variable importante que afecta el desempeño, la deformación permanente y la fatiga de una mezcla asfáltica. El flujo de aire y agua a través de los vacíos permite la oxidación de los asfaltos, por lo que se da el envejecimiento de la mezcla asfáltica. Entre mayor sea la percolación de aire y agua en la capa de rodadura mayor será la oxidación del asfalto.

b. Variables extrínsecas

- **Temperatura**

Es el primer agente externo al cual es sometida la mezcla asfáltica para su elaboración, el asfalto es elevado a temperaturas entre 150 y 170 °C, ambiente en el cual se da la volatilización del asfalto y por ello hay una pérdida de masa, luego ocurre la polimerización de algunas moléculas pequeñas. La volatilización del

asfalto inicia a los 150 °C y la cantidad de volátiles se puede incrementar al doble cada 10 o 12°C adicionales, este proceso ocurre por la evaporación de los componentes aromáticos del asfalto y en todos los casos la volatilización está acompañada de reacciones de oxidación lo que influye directamente en el incremento de la rigidez. La temperatura es una variable a controlar cuidadosamente en los procesos de transporte del asfalto, producción y colocación de la mezcla ya que de exceder los valores mencionados se producirá un envejecimiento prematuro del asfalto lo que reduce la vida de servicio de la mezcla asfáltica.

- **La humedad**

Es un factor que afecta en mayor grado el desempeño de la mezcla asfáltica debido a que produce una degradación en las propiedades mecánicas del material por la presencia de agua en forma líquida o como vapor. La degradación de las propiedades mecánicas se da por la pérdida de adhesividad entre el asfalto y el agregado y la pérdida de resistencia cohesiva en el cemento asfáltico por la presencia de agua.

Para que esto ocurra es necesario que exista algún elemento que permita el ingreso de agua o vapor dentro de la mezcla y esta situación es atribuible a una deficiente superficie de rodadura y a problemas de drenaje.

- **Radiación UV**

Los efectos de la radiación ultra violeta en el cemento asfáltico pueden cambiar la estructura molecular del mismo, así como pueden acelerar los procesos de envejecimiento térmico o alterar la susceptibilidad al agua de las mezclas, se pueden presentar en tres mecanismos de envejecimiento como: volatilización, oxidación y polimerización.

La consecuencia de estos procesos corresponde al endurecimiento superficial de la capa de rodadura, la fragilidad de la misma y la aparición de grietas.

- **Tiempo de exposición**

El envejecimiento es un proceso complejo el cual ocurre durante el mezclado se da en dos etapas:

- El envejecimiento a corto plazo: Este fenómeno se debe a la pérdida de componentes volátiles, y a la oxidación de una manera muy rápida, mientras la mezcla está caliente, durante el transporte y la construcción
- El envejecimiento a largo plazo: Se produce por las condiciones ambientales y los efectos del clima que generan una oxidación progresiva durante el tiempo de servicio, este proceso es lento y sus efectos se detectan con el paso de los años. Los efectos del envejecimiento a largo plazo son el incremento de la viscosidad y la rigidez de la mezcla asfáltica.

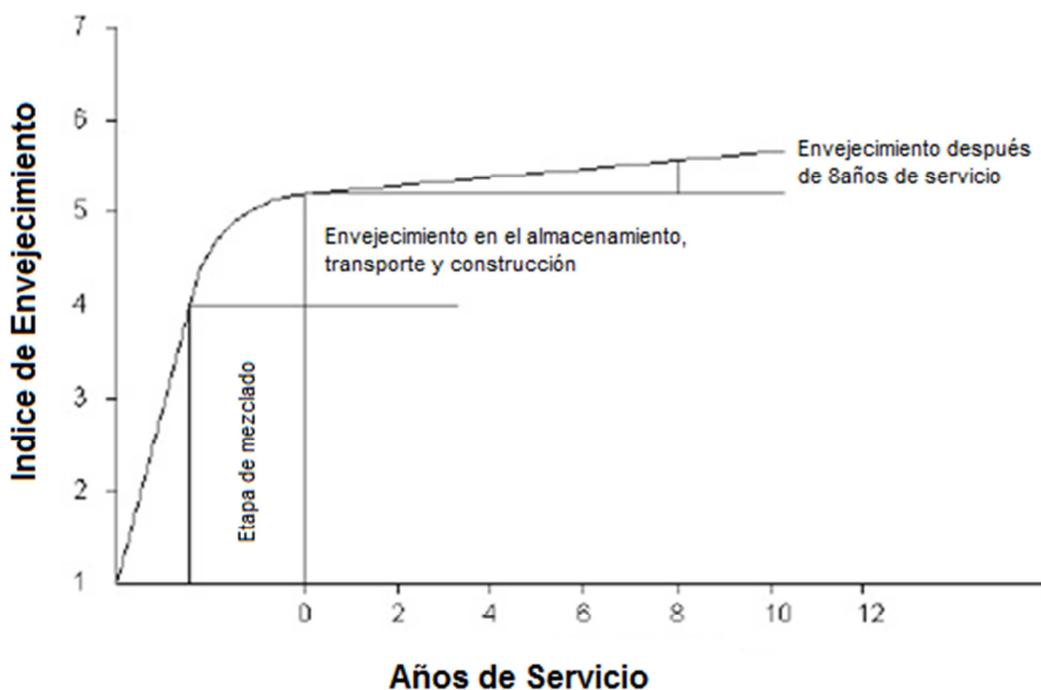


Figura 3.5 Etapas en el proceso de envejecimiento

El grado de envejecimiento con el tiempo puede cuantificarse en términos del porcentaje retenido de la penetración o mediante el índice de consistencia dados por:

$$\text{Porcentaje retenido de penetración} = \frac{\text{Penetración del asfalto envejecido}}{\text{Penetración del asfalto original}} \times 100$$

$$\text{Índice de envejecimiento} = \frac{\text{Viscosidad del asfalto envejecido}}{\text{Viscosidad del asfalto original}} \times 100$$

3.7.3 Técnicas de rejuvenecimiento del Asfalto

Existen muy pocas acciones que puedan ser tomadas después de que el proceso de envejecimiento se ha iniciado:

- Diseño adecuado de las mezclas para obtener vacíos bajos
- Diseño adecuado de mezclas seleccionando mezclas con granulometría densa y evitando mezclas con granulometría abierta.
- Control en las temperaturas de almacenamiento y mezclado del ligante, evitando superar las máximas recomendadas según el tipo de asfalto.
- Control de la temperatura de calentamiento de los agregados en la planta de mezclado, tratando de que sean calentados a la misma temperatura que el asfalto y en todo caso evitado que excedan los 170 C.
- Reducción al mínimo del tiempo de mezclado del asfalto y de los agregados.

- Verificación de los procesos de compactación en campo con el fin de que pueda ser obtenida la densidad establecida en el proyecto.

La degradación de la carpeta asfáltica causada por diferentes factores, se pueden reparar por medio de un tratamiento rejuvenecedor de asfalto, esta se degrada a causa de su exposición a la intemperie, los cambios climáticos, variaciones de temperatura, humedad y por el desgaste que ocasiona el paso vehicular.

La pérdida de elasticidad y adherencia en los componentes de la mezcla asfáltica, son provocados por factores como la oxidación, la radiación de los rayos UV y la humedad, por lo que los componentes no mantienen su unión con los agregados y se forman fisuras en las que penetran la humedad y la radiación, expandiéndose en profundidad y tamaño, para generar un proceso continuo de erosión mecánica.

En el tratamiento para rejuvenecer un asfalto, se le agregan agentes químicos especiales a los materiales que se van a reutilizar o sobre la misma carpeta, con los que se consigue revertir el efecto de su envejecimiento, modificándolo de manera tal que le devuelve su aptitud para funcionar correctamente como ligante del concreto asfáltico. La aplicación directa se emplea para reabrir rápidamente el paso del flujo vehicular, con el fin de minimizar el impacto económico asociado con el cierre por mantenimiento.

Algunos de los aditivos que se emplean para lograr los efectos de rejuvenecimiento son mezclas de microasfalto polimerizado compuesto, que extienden la vida de servicio de los pavimentos de 8 a 10 años, de acuerdo a la calidad del asfalto a tratar, por medio del sellado y rejuvenecimiento, pues previenen la oxidación y descomposición de las superficies asfálticas, la formación de fisuras microscópicas, penetración de agua, erosión y deterioro. Con

estas mezclas se forma una membrana muy delgada, que actúa como una capa selladora para la reacción química que va a generar, creando un gas con agentes rejuvenecedores.

Existen otras alternativas con emulsiones asfálticas, que a diferencia de los polimerizados no generan un periodo de reactivación de la carpeta tan duradero, pues solo protegen la carpeta entre 2 y 5 años. Su tiempo de curado es de 2 horas, con penetración en el asfalto por medio de un sellado a base de copolímero termoplástico que forma una reacción química con la superficie dañada. La mezcla contiene estireno, que genera una alta afinidad con el asfalto. Se aplican normalmente en una sola capa de hasta 1 mm de espesor y su respuesta a la exposición de la humedad y rayos UV es bastante buena.

3.7.3.1 Reciclaje de asfalto

La tendencia actual en el tratamiento de residuos es el aprovechamiento máximo de sus recursos mediante su reutilización, con el objetivo de cuidar el medio ambiente, evitar la masificación de los vertederos y contribuir a la disminución en el uso de materias primas naturales. Es importante relacionar estos conceptos con los residuos sólidos urbanos, ya que son los que mayor presencia tienen en la sociedad; plásticos, vidrio, papel, materia orgánica, etc., pero estos conceptos se extienden hoy en día a muchos residuos de los que se puede sacar partido y reutilizarlos.

Aproximadamente los costos de reparación de firme mediante técnicas de reciclado o sustitución suponen ahorros económicos de hasta un 25% y, aproximadamente, 7.000 toneladas de árido por kilómetro.

Las ventajas que genera esta técnica no solo proporcionan beneficios económicos sino también medioambientales, ya que contribuye la disminución del uso de

materias primas; en este caso la explotación de canteras para la extracción de áridos y el uso de productos bituminosos.

La técnica del reciclado asfáltico, se puede realizar de dos formas diferentes:

1. **In situ:** Se realiza separando el material y mezclándolo con un ligante. Se aplica sobre pavimentos viejos o muy dañados, que presenten un firme en mal estado.
2. **En planta:** Consiste en trasladar la mezcla bituminosa que ha retirado del firme a una planta donde se mezclan con árido virgen y betún en caliente para originar una mezcla bituminosa que está formada en un 30% por material reciclado. Se obtienen mezclas bituminosas de gran calidad.

En fin, el reciclado de asfaltos para la reparación de firmes dañados, es una técnica viable con resultados contrastados, los cuales no presentan ningún problema de durabilidad si están bien proyectados y ejecutados.

3.8 COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas bituminosas se pueden definir como un material elasto-viscoplástico. Esto es debido a que la respuesta de las mezclas y de los ligantes bituminosos varía con la temperatura a que se realicen los ensayos y con la duración de la carga aplicada.

El comportamiento mecánico de una mezcla o de un ligante bituminoso se puede relacionar en unos casos al de un sólido elástico, en otros al de un cuerpo viscoso, y en otros al de un material plástico.

Las mezclas se comportan de forma elástica a temperaturas bajas y tiempos muy cortos de aplicación de carga, al contrario a temperaturas altas y largos periodos de aplicación de carga se comporta de manera visco-plástica.

A temperaturas altas, la propiedad mecánica que más nos interesa es su estabilidad, mientras que a temperaturas bajas nos preocupa su resistencia a la fisuración por esfuerzos térmicos. A temperaturas medias nos importa su módulo y su resistencia a fatiga.

De las características del ligante depende la estabilidad de la mezcla, pero que, en muchos casos, es predominante la granulometría de los áridos y el rozamiento interno de su esqueleto mineral.

Otra de las propiedades que deberíamos considerar al caracterizar una mezcla bituminosa es el comportamiento a fatiga. Durante su vida de servicio, se somete a una serie de sollicitaciones a flexotracción, que aunque muy inferiores a las que producirían su rotura, acaban fisurándola por fatiga. A pesar de su importancia, ésta propiedad no se toma muy en cuenta en el diseño de una mezcla.

Esta propiedad depende de la granulometría y porcentaje de huecos de la mezcla, pero, principalmente, de las características del ligante empleado.

El principal problema de las mezclas bituminosas a bajas temperaturas, es su fisuración por retracción térmica. El módulo de rigidez de la mezcla aumenta al bajar la temperatura y disminuye la ductilidad del betún, llegando un momento en que el betún no puede soportar el incremento de tensiones y deformaciones a que se ve sometido, fisurándose la mezcla.

La respuesta de la mezcla a bajas temperaturas depende en su mayor parte del tipo de ligante empleado y del porcentaje del mismo. Para mejorar esta propiedad en la mezcla es necesario emplear betunes que mantienen su ductilidad a bajas temperaturas y aumentar su contenido.

Las propiedades pueden variar por envejecimiento del ligante, o al ser desplazado éste de la mezcla por acción del agua. Se debe comprobar también la resistencia a la oxidación del ligante bituminoso y la buena adhesividad de éste a los áridos de la mezcla.

CAPÍTULO IV

CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos, debe presentar las propiedades ideales para la construcción de pavimentos, cumpliendo las siguientes funciones:

- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados
- Impermeabilizar la estructura del pavimento.

La calidad de una obra es de responsabilidad, tanto del contratista como de la fiscalización. En lo que respecta al Contratista el control de calidad está orientado a realizar las pruebas requeridas para obtener un producto satisfactorio y en lo que respecta al Fiscalizador el aseguramiento de la calidad está orientado a realizar las pruebas necesarias para aceptar o rechazar el producto terminado.

4.1 Categorías de control de calidad¹⁰

Para evaluar las propiedades requeridas del asfalto y estimar el comportamiento del mismo, el proveedor del asfalto deberá cumplir con los parámetros de control exigidos en la categoría 1 y 2, mientras que el contratista deberá ensayarlo al nivel de la categoría 1, para comprobar los resultados presentados por el proveedor.

¹⁰ Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F 2002)*. Capítulo 800 -Materiales-, Sección 810 –Asfaltos y productos asfálticos-. pág. VIII-68.

- **Categoría 1:**

Comprende el chequeo sobre el betún original de:

- a. Penetración
- b. Punto de ablandamiento
- c. Índice de penetración
- d. Punto de inflamación
- e. Densidad relativa.

- **Categoría 2:**

Comprende el control sobre el betún original de:

- a. Ductilidad
- b. Contenido de humedad
- c. Solubilidad
- d. Ensayo de la mancha
- e. Contenido de parafina
- f. Todos los ensayos previstos sobre el residuo del TFOT.

4.2 PARÁMETROS MÁXIMOS Y MÍNIMOS

Los parámetros máximos y mínimos que deben cumplir cada uno de los ensayos especificados en la categoría 1 y 2 que se establecen Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F 2002):

Tabla 4.11 Requisitos del cemento asfáltico

ENSAYOS	60-70		85-100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Betún original				
Penetración (25°C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	- 1.5	+ 1.5	- 1.5	+ 1.5
Ductilidad (25°C, 5 cm/minuto), cm.	100	-----	100	-----
Contenido de agua (en volumen), %.	-----	0.2	-----	0.2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	-----	99	-----
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	-----	232	-----
Densidad Relativa, 25 °C/ 25 °C	1.00	-----	1.00	-----
Ensayo de la mancha (* *)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	-----	2.2	-----	2.2
Ensayos al residuo del TFOT:				
Variación de masa, %.	-----	0.8	-----	1.0
Penetración, % de penetración original.	54	-----	50	-----
Ductilidad, cm.	50	-----	75	-----
Resistencia al endurecimiento (***)	-----	5.0	-----	5.0

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002.

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

TFOT (Thin Film Oven Test) - Ensayo en horno sobre película delgada.

El índice de penetración (IP) se determina a partir del valor de la penetración en mm/10, a 25 °C, 100 gramos y 5 segundos (Pen) y del punto de ablandamiento, °C, por el método de anillo y bola (Tab), según las expresiones siguientes:

$$A = 50. \left[\frac{\log 800 - \log Pen}{Tab - 25} \right]$$

$$IP = \frac{20 - 10.A}{A + 1}$$

Deberá indicarse el tipo de solvente. Si se usan solventes con xileno debe especificarse el porcentaje a emplear.

La resistencia al endurecimiento es la relación entre la viscosidad absoluta a 60 °C después del ensayo TFOT y dicha viscosidad a 60 °C en el betún original (antes de la prueba).

4.2.1 Normas Vigentes de Ensayos en Productos Asfálticos

La muestra¹¹ y los ensayos necesarios que se efectúen para comprobar las propiedades de los cementos asfálticos, deben seguir los procedimientos, haciendo referencia según lo estipulado en las Normas American Society for Testing and Materials (ASTM).

Tabla 4.12 Normas Vigentes de Ensayos en Productos Asfálticos

ENSAYO	NORMAS
1) CEMENTOS ASFÁLTICOS Y SIMILARES	ASTM
PENETRACIÓN	D-5
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36
MUESTREO	D-140

Fuente: Normativas ASTM para control de calidad de cementos asfálticos
Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

4.3 PROCEDIMIENTOS A SEGUIR PARA LA ELABORACIÓN DE ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD

El contratista debe encargarse de comprobar la calidad de los materiales que recibe, produce y documentar los resultados de las pruebas del laboratorio para la fiscalización, la cual debe verificar mediante pruebas complementarias dentro de un programa de aseguramiento de la calidad.

¹¹ Muestra: es un grupo de unidades de cemento asfáltico extraído de un lote que sirve para obtener la información necesaria que permita apreciar una o más características de ese lote, lo cual servirá para tomar una decisión sobre dicho lote o sobre el proceso que lo produjo.

Es así que el contratista implementa un control integrado de la obra y el fiscalizador asegura la calidad. En consecuencia, el objetivo es armonizar intereses de ambas partes. Debe tenerse en cuenta que la elaboración de la colocación de una mezcla bituminosa es una producción a nivel industrial y como tal debe recurrirse a tratar de conseguir una calidad óptima, durable y permanente.

- **Caracterización del cemento asfáltico**

Para determinar las características de los materiales asfálticos, así como su comportamiento, existen ensayos de laboratorio que tienen por objeto dar a conocer las propiedades, tanto físicas como mecánicas sometidos a esfuerzos y a temperaturas extremas, según sea el caso. A continuación se presenta la descripción de los ensayos más importantes:

4.3.1 Ensayo de Penetración

Norma: ASMT D -5 Penetración de materiales bituminosos

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y se elaboran a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Se clasifican según su grado de dureza o consistencia, lo cual se mide a través de un ensayo de penetración en décimas de milímetros.

- **Objeto del ensayo:** Clasificar al asfalto en grados según su consistencia medida en (mm/10), Según la Tabla 5. Requerimientos para el Cemento Asfáltico según los grados de penetración.

4.3.2 Ensayo de Reblandecimiento

NORMA: D 3695 Método Anillo y Bola

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

- **Objeto del ensayo:** Clasificar al asfalto en grados según el promedio de las temperatura, cuando éste se estira una pulgada, medida en (°C), Según la Tabla 5. Requerimientos para el Cemento Asfáltico.

4.3.3 Ensayo de Inflamación

NORMA: ASTM D 92 Punto de inflamación para materiales bituminosos

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material

ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El ensayo se realiza en el "vaso abierto Cleaveland " consiste en llenar un vaso de bronce con asfalto, y se calienta a una velocidad gradual de temperatura. Cada cierto tiempo se pasa una llama sobre la superficie hasta que se produzca una inflamación o flash debido a la evaporación de solventes. Esta temperatura representará el punto de inflamación.

- **Objeto del ensayo:** Determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce llamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo, así como aquella en que inicia su combustión medida en (°C) Según la Tabla 5. Requerimientos para el Cemento Asfáltico.

4.4 MÉTODOS PARA CLASIFICAR EL ASFALTO EN DIFERENTES GRADOS

4.4.1 Grado de Penetración

Según su penetración los cementos asfálticos se clasifican en 5 grados:

- Grado I: Penetración 40/50.
- Grado II: Penetración 60/70.
- Grado III: Penetración 85/100.
- Grado IV: Penetración 120/150.
- Grado V: Penetración 200/300.

A continuación se presenta las características fisicoquímicas de los cementos asfálticos, según su grado de penetración:

Tabla 4.13 Requerimientos para el Cemento Asfáltico según los grados de penetración

	Penetration Grade									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Ma x	Min	Ma x	Min	Ma x	Min	Ma x	Min	Ma x
Penetration at 25°C(77°F), 100g, 5s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Softening Point, °C(°F)	40(120)	-	46(115)	-	42(108)	-	38(100)	-	32(90)	-
Flash Point, °C(°F), (Cleveland open cup)	230(450)	-	230(450)	-	230(450)	-	220(425)	-	175(350)	-
Ductility at 25°C(77°F), 5cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-	100 [^]	-
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-
Retain penetration after thin-film oven test, %	56*	-	52*	-	47*	-	42*	-	37	-
Ductility at 25°C(77°F), 5cm/min, cm after thin-film oven test	-	-	50	-	75	-	100	-	100 [^]	-

[^]If ductility at 25°C(77°) is less than 100 cm, material will be accepted if ductility at 15°C(60°F) is 100cm minimum at the pull rate of 5cm/min.

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

Fuente: ASTM D946/D946M – 09^a

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1 IMPORTANCIA

El avance tecnológico que vive el mundo globalizado en la actualidad, nos obliga a que el Ecuador permanezca inmerso dentro de las competencias transformadoras que elevan la calidad de los productos.

Por esta razón el desarrollo de nuestro trabajo se ha focalizado en el proceso de estandarización de toma de muestra, clasificación de las propiedades físico-químicas, para elevar y mejorar la calidad del cemento asfáltico a utilizar en los pavimentos de las vías del Ecuador.

Dentro de la práctica de la construcción, para la producción de la mezcla asfáltica, se debe tomar en cuenta las condiciones climáticas y la temperatura media anual del aire que se registra en la zona donde se desarrollará la obra.

No se debe olvidar que los cementos asfálticos presentan una alta susceptibilidad a la temperatura, lo que influye considerablemente en la rendición de la vía.

A la hora de elegir la mezcla asfáltica se debe tomar en cuenta las principales propiedades físicas: durabilidad, adhesión y cohesión, susceptibilidad a la temperatura, endurecimiento y envejecimiento.

El presente estudio está dirigido a empresarios y profesionales encargados del diseño y ejecución de proyectos viales, incluyendo sus distintas sub-fases, domiciliados en las ciudades de interés del presente estudio, que permita la caracterización de la calidad del asfalto que se utilizan en la fabricación de hormigón asfáltico en el país.

Las poblaciones de Quito, Ambato, Latacunga y Riobamba, que se benefician por el desarrollo de proyectos viales en base a hormigón asfáltico, que a su vez se favorecen por contar con vías de calidad, principalmente por la utilización de materiales que cumplen normas exigidas por las normas ASTM o en su defecto por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) referente al control de calidad de materiales, la forma de cálculo y diseño vial, respectivamente.



Figura 5.6 Panamericana Sur

Durante el trayecto hacia las diferentes localizaciones de plantas asfálticas en la Sierra Central para la obtención de las muestras, se observaron los siguientes proyectos viales que se encuentran en ejecución y otros ya ejecutados:

- Ampliación a 4 y 6 carriles de la vía Colibrí-Pifo-Cusubamba
- Intercambiador Latacunga
- Ampliación Panamericana
- Intercambiador Salcedo
- Ampliación a 4 carriles vía Ambato.Riobamba



Figura 5.7 Ampliación a 4 y 6 carriles de la vía Colibrí-Pifo-Cusubamba



Figura 5.8 Intercambiador Latacunga



Figura 5.9 Ampliación Panamericana Jambelí-Latacunga-Ambato



Figura 5.10 Intercambiador Salcedo



Figura 5.11 Vía Ambato-Riobamba

5.2 Metodología de Trabajo

Para la consecución del presente estudio, se partirá de los problemas detectados en la calidad del cemento asfáltico utilizado en la construcción vial del país, haciendo un análisis mediante los ensayos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Asfaltos de la Carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica de Ejército, para de esta manera determinar conclusiones y soluciones a la problemática identificada.

Las muestras de asfalto que serán tomadas para las respectivas pruebas de laboratorio, corresponderán a plantas asfálticas de la sierra central, clasificadas de la siguiente forma:

- Una planta asfáltica localizada en la ciudad de Quito.
- Una planta asfáltica localizada en la ciudad de Latacunga.
- Una planta asfáltica localizada en la ciudad de Ambato.
- Una planta asfáltica localizada en la ciudad de Riobamba.

- Las actividades que se realizaron fueron:

1. Visita a las plantas asfálticas en la ciudad de Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba.



Figura 5.12 Planta Asfáltica COVIPAL Riobamba

2. Obtener información de los personeros de las empresas de asfalto, respecto a los procesos de control.
3. Toma de muestras de material asfáltico.



Figura 5.13 Muestra Tomada del Tanquero de Asfalto

4. Identificación de las muestras por el lugar y fecha de donde provienen.



Figura 5.14 Identificación de Muestras de Asfalto

5. Traslado hacia el laboratorio y clasificación de las muestras por sectores y según el tipo de ensayo a realizarse.



Figura 5.15 Clasificación de Muestras de Asfalto

6. Desarrollar los ensayos de laboratorio requeridos:

- Ensayo de Penetración (Equipo Penetrómetro)
- Índice de Penetración
- Ensayo de Reblandecimiento (Método del anillo y bola)

- Ensayo de Inflamación (Copa Cleveland)

7. Analizar los resultados
8. Concluir y recomendar.

5.2.1. Toma de Muestras en Campo

- OBJETO

Describir el procedimiento que se debe seguir para la toma de muestras de asfalto líquido (Tipo AC-20) en el sitio de producción.

- USO Y SIGNIFICADO

En la toma de muestras deben adoptarse las precauciones necesarias para obtener muestras que representen efectivamente la naturaleza y el estado de los materiales. Los resultados de los ensayos van a tener valor cuando se realizan sobre muestras que sean realmente representativas del material que se va identificar.

Los fines para la toma de muestras son:

- Identificar las condiciones en las que se encuentra el material.
- Establecer las variaciones máximas de las características que posee el material.
- Estandarizar los procesos de toma de muestras en las plantas productoras de asfalto.

- MÉTODOS PARA TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO

Las muestras de asfalto deben ser tomadas en el lugar de la producción, al momento de arribo del tanquero a la planta, antes de ingresar a los tanques de almacenamiento ya que en éstos se pueden

encontrar otros componentes como por ejemplo aditivos y disolventes que pueden alterar las propiedades físico-químicas del asfalto natural que proviene de la refinería.

Precauciones:

- Deben seguirse todas las precauciones de seguridad en el almacenamiento del asfalto caliente.
- El ligante asfáltico estará muy caliente cuando se haga el muestreo, por esta razón se deben usar elementos de protección como: guantes, protector para la cara y camisas de manga larga, para protegerse de las quemaduras.

• **TAMAÑO DE LA MUESTRA**

El tamaño de la muestra de asfalto líquido para los ensayos de laboratorio es:

1 litro (1 cuarto de galón)



Figura 5.16 Recipiente de un litro

Recipientes metálicos para muestreo de cemento asfáltico

• **RECIPIENTES:**

- Deben ser de boca ancha con tapa de rosca, provista de empaques.

- El tamaño de los recipientes estará de acuerdo con la cantidad de muestra requerida.

- **TOMA DE MUESTRAS DE LOS TANQUES DISTRIBUIDORES**

- Se tomará de la válvula tomamuestras o del grifo. Antes de tomar la muestra definitiva, se deberán sacar de la válvula tomamuestras 4 litros(1 galón), los cuáles no serán tomados en cuenta para el ensayo.

- También se pueden tomar las muestras por el método de inmersión, empleando recipientes de boca ancha, sostenidos en un soporte, empleando un recipiente limpio para cada toma, y el material obtenido se pasa a otro recipiente nuevo y limpio, para formar la muestra de ensayo.

- **Notas:**

- Cuando el material procede de una sola partida de producción, todas las muestras tomadas del lote se fundirán y se mezclarán bien, tomando de ésta mezcla una muestra de material de 4lt (1 galón) para realizar con ella los ensayos. Cuando se dé el caso de que exista material procedente de una sola partida o de que los lotes de las distintas partidas puedan diferenciarse claramente, se preparará una muestra compuesta de 1 galón de cada lote. Cuando no sea posible diferenciar los distintos lotes, cada muestra tomada se ensayará por separado.

- La toma de muestras de los materiales asfálticos se hará tan pronto como sea posible, después que el material haya llegado al sitio de producción o durante su descarga.



Figura 5.17 Tanquero Distribuidor de Asfalto

Para obtener muestras representativas del asfalto se tomaron en distintas fechas según la producción de cada planta asfáltica. Para el muestreo se ha tomado como referencia la Norma ASTM-D 140-09 de Muestreo de Materiales Bituminosos.

Tabla 5.14 Fechas de Muestreo de Asfalto

SEMANA	MUESTRAS		
	Lugar	Identificación	Fecha de toma
28 Febrero - 03 Marzo	Latacunga	HCC 001	28/02/2013
	Ambato	AO 001	01/03/2013
	Latacunga	HCC 002	03/03/2013
	Latacunga	HCC 003	04/03/2013
	Latacunga	HCC 004	06/03/2013
	Quito	CH001	07/03/2013
08 Marzo - 19 Marzo	Latacunga	HCC 005	08/03/2013
	Quito	CH 002	09/03/2013
	Latacunga	HCC 006	10/03/2013
	Riobamba	CV 001	11/03/2013
	Quito	CH 003	12/03/2013
	Ambato	AO 002	13/03/2013
	Latacunga	HCC 007	14/03/2013
	Ambato	AO 003	15/03/2013
	Riobamba	CV 002	16/03/2013
	Riobamba	CV 003	19/03/2013
20 Marzo - 30 Marzo	Quito	CH 004	20/03/2013
	Quito	CH 005	21/03/2013
	Riobamba	CV 004	22/03/2013
	Ambato	AO 004	23/03/2013
	Ambato	AO 005	24/03/2013
	Latacunga	HCC 008	25/03/2013
	Latacunga	HCC 009	26/03/2013
	Riobamba	CV 005	27/03/2013
	Riobamba	CV 006	29/03/2013
	Riobamba	CV 007	30/03/2013
01 Abril - 12 Abril	Quito	CH 006	02/04/2013
	Latacunga	HCC 010	06/04/2013
	Riobamba	CV 008	08/04/2013
	Ambato	AO 006	09/04/2013
	Quito	CH 007	11/04/2013
	Ambato	AO007	12/04/2013
13 Abril - 26 Abril	Ambato	AO 008	16/04/2013
	Quito	CH 008	17/04/2013
	Ambato	AO 009	18/04/2013
	Quito	CH 009	19/04/2013
	Quito	CH 010	22/04/2013
	Ambato	AO 010	23/04/2013

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

En cada fecha se tomo una muestra de asfalto en recipientes metálicos nuevos de 1 litro de capacidad, teniendo un total de 38 muestras para el estudio.

- **PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS**

1. Los recipientes serán nuevos, no se lavarán ni se enjuagarán con productos aceitosos, tampoco podrán usarse si presentan rastros de elementos fundentes de soldadura o sino están perfectamente limpios o secos.
2. Las muestras no deben contaminarse, inmediatamente después del llenado el recipiente se cerrará y se sellará.
3. El recipiente con la muestra no debe limpiarse exteriormente con ninguna clase de disolvente.

- **IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Después de llenarse, cerrado y sellado, se marcará el recipiente para su identificación, pero no en su tapa. Para identificarse puede usarse cualquier tipo de etiquetas, siempre y cuando se coloque perfectamente para evitar su pérdida durante el transporte.

5.3 ENSAYOS REALIZADOS

- **Procedimientos de ensayos de control de calidad**

La muestra¹² y los ensayos necesarios que se efectúen para comprobar las propiedades de los cementos asfálticos, deben seguir los procedimientos estipulados en las Normas ASTM y los resultados serán comparados con los requerimientos establecidos por el Manual de Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MTOP-001-F-2002, para verificar el cumplimiento o no de los parámetros.

¹² Muestra: es un grupo de unidades de cemento asfáltico extraído de un lote que sirve para obtener la información necesaria que permita apreciar una o más características de ese lote, lo cual servirá para tomar una decisión sobre dicho lote o sobre el proceso que lo produjo.

- **ENSAYOS APLICADOS A LOS ASFALTOS**

5.3.1 Ensayo de penetración de materiales bituminosos

Norma Referencial: ASTM D-5-97 (Anexo 1)

5.3.1.1 Objeto del ensayo

Describir el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

5.3.1.2 Definición:

“Penetración es la distancia en décimas de milímetros que una aguja de dimensiones específicas penetra verticalmente en la muestra, bajo condiciones específicas de carga, temperatura y tiempo.”¹³

“La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados.

Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.”¹⁴

Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.

¹³ Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010): NTE INEN 917:1982.p.1.

¹⁴ Universidad Católica del Norte. (2010). Ensayos a cemento asfáltico.

En la figura que se muestra a continuación puede verse el ensayo de penetración normal.

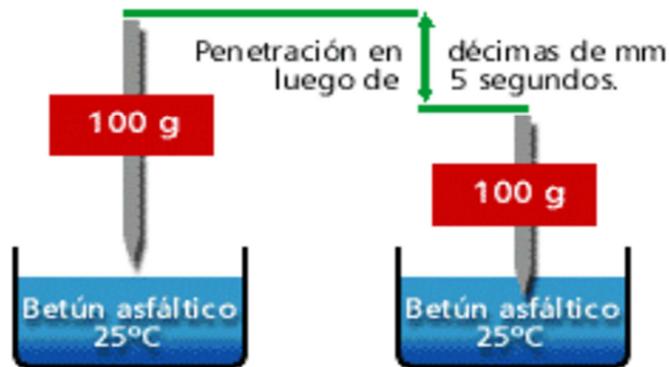


Figura 5.18 Ensayo de penetración

El proceso de ensayo de penetración consiste en calentar la muestra hasta obtener consistencia fluida, que se la deja enfriar bajo condiciones controladas y se la coloca en un baño de agua a 25°C por un tiempo especificado. A continuación se coloca la muestra en el penetrómetro, se deja caer la aguja por un tiempo de 5 segundos y se mide la penetración.

5.3.1.3 Equipo para el ensayo de penetración

- **Penetrómetro:** Está constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual pueda fijarse firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración; y que permita, además, la colocación sobre el mismo, de diferentes cargas suplementarias; el aparato deberá estar calibrado para dar directamente la lectura en unidades de penetración. El peso del vástago será de 47.5 ± 0.05 g, y el peso total del conjunto móvil formado por el vástago juntamente con la aguja, de 50.0 ± 0.05 g.



Figura 5.19 Equipo para Ensayo de Penetración

- Aguja normalizada: de acero inoxidable templado de grado 440 C, dureza Rocwell 54 a 60 y 50 mm de longitud.

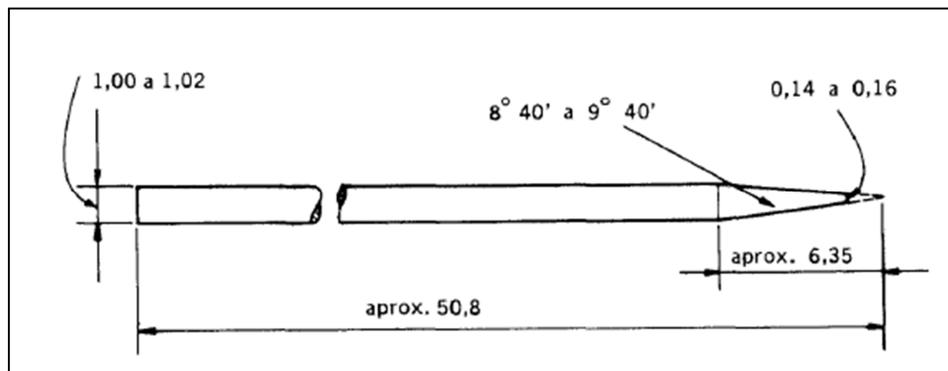


Figura 5.20 Aguja normalizada

Fuente: AST D5 (2000)

- Recipiente para la muestra: de diámetro 55 mm y profundidad interna de 35 mm.
- Baño de agua: con una capacidad no menor a 10 litros y capaz de mantener una temperatura de $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$.



Figura 5.21Equipo para Baño María

- Recipiente de transferencia: de forma cilíndrica y fondo plano, de vidrio, metal o plástico de 350 cm³ de capacidad.
- Termómetro: debe ser sumergido en el baño de agua a 150 mm +/- 15 mm-
- Cronómetro: graduado en segundos.
- Material a ensayar: una muestra de 200 g de material bituminoso.



Figura 5.22 Muestra de Asfalto a ensayarse

5.3.1.4 Condiciones de Ensayo

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C, 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla 16

Tabla 5.15 Condiciones para Ensayos Especiales

Temperatura (°C)	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

Fuente: ASTM D5

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensayo.

5.3.1.5 Procedimiento del ensayo de penetración

Se calienta el bitumen en el horno cuidando de que la temperatura no ascienda sobre los 150 °C con el fin de pasarlo al recipiente adecuado cuando adquiera la fluidez necesaria.



Figura 5.23 Recipientes de asfalto al Interior del Horno

Se calienta la superficie del producto bituminoso con ayuda del mechero para eliminar las posibles burbujas. Luego se deja enfriar por un periodo de una a una hora y media.

Se coloca el recipiente en un baño de agua a temperatura constante de 25°C (77 °F) durante una a una hora y media. De igual manera se coloca otro recipiente cuyo diámetro sea 9 cm dentro del baño de agua a la misma temperatura.

Se saca el recipiente de diámetro 9 cm con algo de la misma agua de baño, hasta una altura de 2 cm.

Se saca el recipiente que contiene el betún, y se lo coloca dentro del otro recipiente de agua. Se disponen ambos sobre la plataforma del penetrómetro y se baja la aguja cuidadosamente hasta que su punta esté en contacto con la superficie de la muestra, pero sin penetrarla.



Figura 5.24 Muestra durante el ensayo

Se deja caer libremente la aguja durante 5 segundos, hasta penetrar la muestra, controlando previamente que el indicador marque cero. Por medio del mismo se mide la distancia de penetración, la cual debe realizarse en sitios que

se encuentren distantes por lo menos un centímetro del borde del recipiente y entre sí.

Por lo menos deben ejecutarse tres penetraciones. Luego de cada una se limpia la aguja sin usar solventes, solo se lo debe hacer con un trapo limpio.



Figura 5.25 Puntos de penetración

5.3.1.6 Cálculos

Será el promedio de las penetraciones obtenidas en cada punto medidas en (mm/10).

5.3.1.7 Resultados Aceptables del Ensayo de Penetración

El resultado se adoptará con aproximación al número entero más cercano, como el promedio al menos de tres penetraciones, cuyos valores no difieran de las siguientes cantidades:

Tabla 5.16 Resultados Aceptables

Penetración	0a49	50a 149	150 a 249	sobre 250
Máxima diferencia entre el mayor y menor valor en contrado	2	4	6	8

Fuente: INEN NTE 917: 1982.

Elaborado por: Karla Aráuz T y Maritza Tamayo V (2013)

Las hojas de registro de los ensayos de Penetración de cada muestreo, por ciudades, realizadas en el laboratorio de Asfaltos de la ESPE se encuentran descritas en el Anexo 4.

5.3.2 Ensayo de Reblandecimiento de Materiales Bituminosos (Método del Anillo y Bola)

Norma Referencial: ASTM D-36-09 (Anexo 2)

5.3.2.1 Objeto del ensayo

Este método establece la determinación del punto de reblandecimiento de productos bituminosos en el intervalo de (30 y 200°C), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 a 80°C).

5.3.2.2 Definición

El punto de reblandecimiento es la temperatura a la que una muestra circular de material a ensayar, contenida en un anillo en posición, es forzada hacia debajo de 25,00 mm bajo el peso de una bola de acero, mientras el material sumergido en un baño de agua o glicerina se somete a calentamiento a una velocidad previamente establecida.

5.3.2.3 Equipo para el ensayo de reblandecimiento

- Dos anillos con borde de latón.

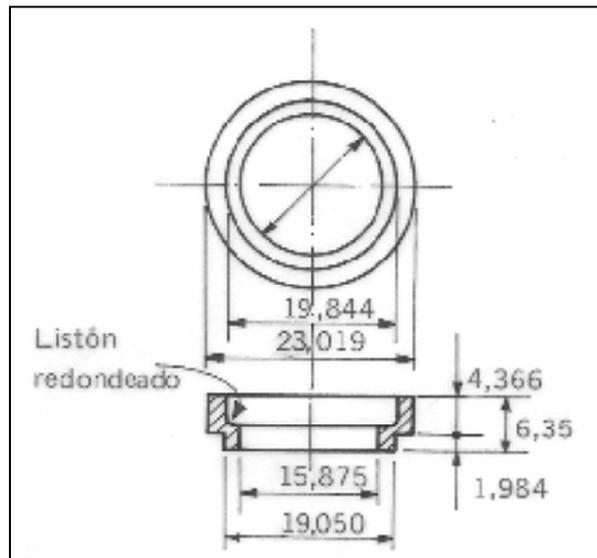


Figura 5.26 Anillo con borde de latón.

Fuente: AST D36 (2000)

- Dos bolas de acero de 9.53 mm (3/8) de diámetro y con un peso entre 3.45 a 3.55 gramos.
- Centrador de la bola: una guía o dispositivo que permite centrar la bola.
- Baño: vaso de vidrio refractorio resistente al calor, de diámetro mayor que 8.5 cm y altura mayor que 12 cm.
- Termómetro con escala de -2 °C a +80 °C y entre 30 y 200°C (15C y 16C).

5.3.2.4 Condiciones de Ensayo

- Es importante utilizar agua destilada recién hervida para evitar que se formen burbujas de aire en la muestra y que alteren los resultados del ensayo.
- Se deben seguir exactamente las instrucciones relacionadas a la velocidad de calentamiento.
- **Preparación de la muestra:**

- Calentar la muestra del material bituminoso en el horno agitándola frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados de manera que esté suficientemente fluida para poderla verter.
- El calentamiento de la muestra no debe tomar más de 2 horas y no debe exceder la temperatura de 110°C (200°F), por encima del punto de ablandamiento esperado.
- Verter la muestra caliente, en los 2 anillos previamente calentados a una temperatura aproximadamente igual a la del punto de fluidez del material



Figura 5.27 Moldes de muestra para ensayo

- Dejar enfriar la muestra durante 30 minutos a temperatura ambiente.
- Una vez enfriada la muestra cortar los excesos de asfalto cuidadosamente con un cuchillo o espátula ligeramente precalentada.



Figura 5.28 Preparación de la muestra

Procedimiento del ensayo de reblandecimiento

- Se arma el aparato colocando sobre el soporte los anillos, las guías y el termómetro en su correcta posición, introduciendo el conjunto en recipiente y llenando éste con agua destilada hasta que el nivel de la superficie quede por lo menos 5 cm por encima de la parte superior del anillo. Se introduce también la bola, pero no se coloca sobre la muestra.



Figura 5.29 Ensamble del aparato con las muestras

- Se mantiene el baño a la temperatura de 25 °C durante 15 minutos, colocando después la bola centrada por la guía sobre la muestra.

- Se aplica calor al baño agitando ligeramente el líquido de manera que la temperatura aumente 5 ± 0.5 °C por minuto, hasta que el material reblandezca y arrastrado por la bola, llegue a tocar la superficie situada a una pulgada.



Figura 5.30 Desarrollo del ensayo

- La temperatura que marca el termómetro en el instante en el que la muestra toca el fondo del baño, se toma como punto de reblandecimiento del material.



Figura 5.31 Temperatura de Reblandecimiento

- Se harán varios ensayos de un mismo material, teniendo en cuenta la velocidad a la que se eleva la temperatura sea uniforme durante todos y cada uno de los ensayos.
- Las variaciones máximas permitidas para un minuto, después de los tres primeros, serán de ± 0.5 °C. Todos los ensayos en los que la velocidad exceda este límite no se consideran válidos.

5.3.2.5 Cálculos:

El punto de ablandamiento será el promedio de las 2 determinaciones con aproximación al 0.5°C más cercano. Medida en (°C)

5.3.2.6 Resultados aceptables del ensayo de penetración

Cuando se usa agua destilada, los resultados de 2 ensayos efectuados correctamente por el mismo operador sobre la misma muestra de asfalto no deberían diferenciarse en más de 1,2 °C (2°F), y la media de las determinaciones con aproximación de 0.5 °C, será el punto de reblandecimiento del asfalto.

Las hojas de registro de los Ensayos de Reblandecimiento, de cada muestreo, por ciudades, realizadas en el laboratorio de Asfaltos de la ESPE se encuentran descritas en el Anexo 5.

5.3.3 Cálculo del Índice de Penetración de cementos asfálticos

5.3.3.1 Objeto

Este procedimiento describe la determinación del índice de penetración, IP, de los cementos asfálticos.

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

5.3.3.1 Definición

Expresión matemática para estimar la susceptibilidad térmica de los cementos asfálticos.

El índice de penetración (IP) se determina a partir de:

- Valor de la penetración en mm/10, a 25 °C, 100 gramos y 5 segundos **(Pen)**
- Punto de reblandecimiento, °C, por el método de anillo y bola **(Tab)**.

Según las expresiones siguientes:

$$A = 50. \left[\frac{\log 800 - \log Pen}{Tab - 25} \right]$$

$$IP = \frac{20 - 10.A}{A + 1}$$

- **VALORES LIMITES**

“En función del índice de Penetración (IP), se pueden clasificar los cementos asfálticos, de forma general, en tres grupos:

- **IP > +1:** Son cementos asfálticos con poca susceptibilidad a la temperatura, presentando cierta elasticidad y tixotropía. Se les denomina tipo gel o soplado, ya que la mayoría de los asfaltos oxidados pertenecen a este grupo.
- **IP < -1:** Cementos asfálticos con mayor susceptibilidad a la temperatura; ricos en resinas y con comportamiento algo viscoso.
- **IP entre +1 y -1:** Características intermedias entre los dos anteriores; pertenecen a este grupo la mayoría de los cementos asfálticos que se utilizan en la construcción de carreteras.”¹⁵

Las hojas de registro del cálculo del Índice de Penetración de cada muestreo, por ciudades, realizadas en el laboratorio de Asfaltos de la ESPE se encuentran descritas en el Anexo 6.

5.3.4 Ensayo para determinar el punto de inflamación (Método del Vaso Abierto Cleveland)

Norma Referencial: ASTM D-91-11 (Anexo 3)

5.3.4.1 Objeto de ensayo

Determinar los puntos de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland, del cemento asfáltico

¹⁵ Norma I.N.V.E - 724 - 2 Instituto Nacional de Vías para la construcción, rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de carreteras y puentes I.N.V.E /Colombia

5.3.4.2 Definición

“El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión (fire point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.”¹⁶

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "vaso abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

5.3.4.3 Equipo para el ensayo de punto de inflamación

- Aparato Cleveland de Vaso abierto.

¹⁶ Universidad Católica del Norte. (2010). Ensayos a cemento asfáltico.

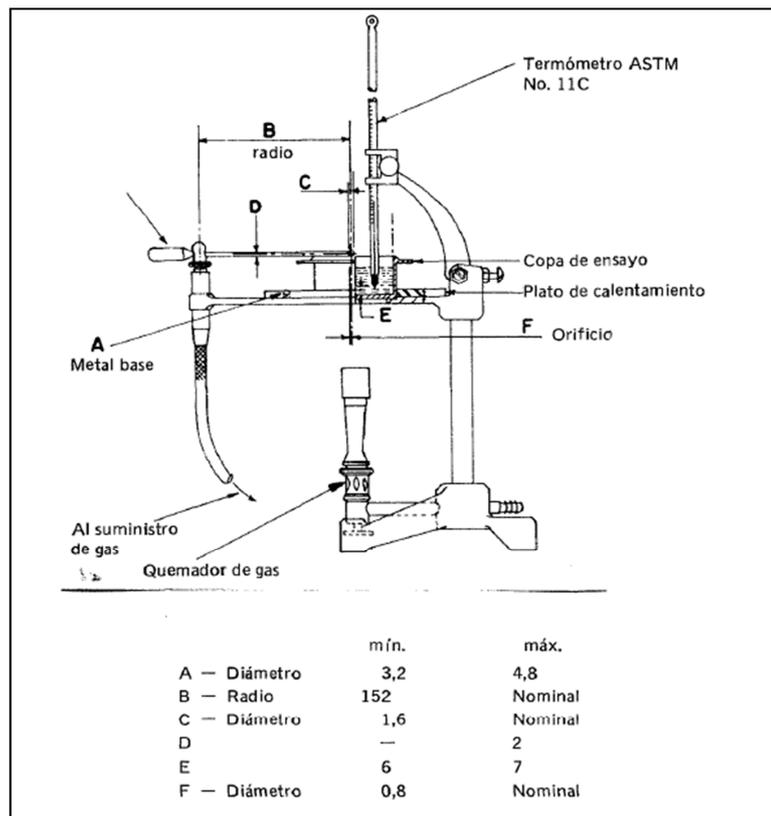


Figura 5.32 Aparato Cleveland

Fuente: AST D91 (2000)

- Placa de calentamiento de metal.
- Fuente de calor, ya sea un mechero de gas, hornilla eléctrica o lámpara de alcohol.
- Termómetro graduado con escala de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.3.4.4 Procedimiento del ensayo de punto de inflamación

- Se coloca el termómetro en posición vertical por medio de una abrazadera que la sostiene. La parte inferior quedará a 0.63 cm del fondo del vaso y a una distancia media entre el centro y la pared del vaso.
- Se calienta y vierte el material bituminoso en el vaso, de tal forma que la parte superior del menisco coincida con la línea de aforo a la temperatura ambiente.



Figura 5.33 Vertido de muestra de asfalto en Vaso Abierto Cleveland

- Se calentará el bitumen de manera que no se exceda de 16.5 °C (30 °F) por minuto hasta que alcance los 55.6 °C (100 °F) bajo el punto de inflamación probable. A partir de esta temperatura se disminuye la velocidad o al menos en los últimos 28 °C (50 °C) antes de alcanzar el punto de inflamación de manera que quede comprendida entre 5 y 6 °C.
- Se pasa la llama en línea recta por el centro del vaso y el ángulo recto con el diámetro sobre el que está situado el termómetro, cada vez que la temperatura se eleve 3 °C (5 °F), se aplicará la llama de ensayo.



Figura 5.34 Desarrollo del Ensayo

- La llama de ensayo, mientras se está pasando a través de la superficie del material, quedará en el plano del borde superior del vaso. El tiempo para cada pasada será un segundo.



Figura 5.35 Temperatura Punto de Inflamación

5.3.4.5 Corrección del resultado del ensayo de punto de inflamación

Si la presión barométrica fuera inferior a 0,972 kg/cm² (715 mm de Hg.), se suman a los puntos de inflamación y combustión, obtenidos experimentalmente, conforme a los siguientes resultados:

Tabla 5.17 Valores de corrección del punto de Inflamación

Presión barométrica (mm de Hg)	Corrección (°C)
715 a 665	2
664 a 610	4
609 a 550	6

Fuente: ASTM D-91-11

5.3.4.6 Cálculos

Observar y anotar la temperatura del punto de inflamación

5.3.4.7 Resultados

Indicar el punto de inflamación en °C

Las hojas de registro del Punto de Inflamación, de cada muestreo, por ciudades, realizadas en el laboratorio de Asfaltos de la ESPE se encuentran descritas en el Anexo 7.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio de asfaltos de la Carrera de Ingeniería Civil de la ESPE, se indicará las referencias normativas empleadas y las que están en concordancia con dichos ensayos.

6.1 REFERENCIAS NORMATIVAS

Tabla 6.18 Tabla de Referencias Normativas

ENSAYOS	UNIDAD	NORMAS	
		ASTM	INEN
Penetración a 25°C, 100g. 5s.	0.1 mm.	D-5	NTE INEN 917
Punto de Ablandamiento: Método anillo y bola	°C	D-36	NTE INEN 920
Punto de Inflamación: Vaso Cleveland	°C	D-92	NTE INEN 808

Fuente: ASTM. INEN

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

A continuación se detallan los resultados obtenidos en la investigación:

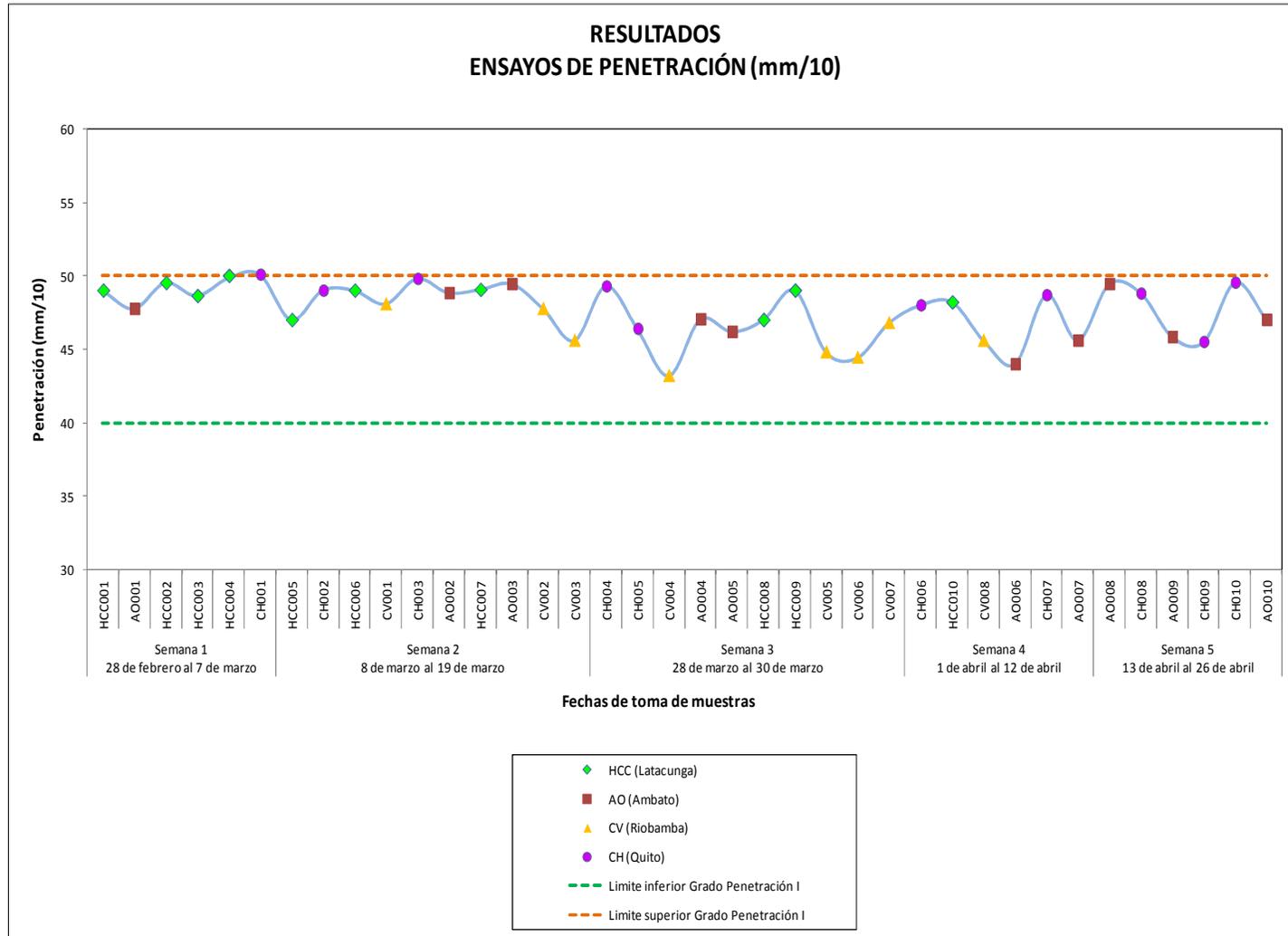
6.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN

Tabla 6.19 Resultados de Ensayos de Penetración

RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN (mm/10)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
Primer muestreo	50	49	48	48
Segundo muestreo	49	50	49	48
Tercer muestreo	50	49	49	46
Cuarto muestreo	49	50	47	43
Quinto muestreo	46	47	46	45
Sexto muestreo	48	49	44	44
Séptimo muestreo	49	49	46	47
Octavo muestreo	49	47	49	46
Noveno muestreo	46	49	46	_____
Décimo muestreo	50	48	49	_____

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.1 Resultados de Ensayos de Penetración en la Sierra-Central



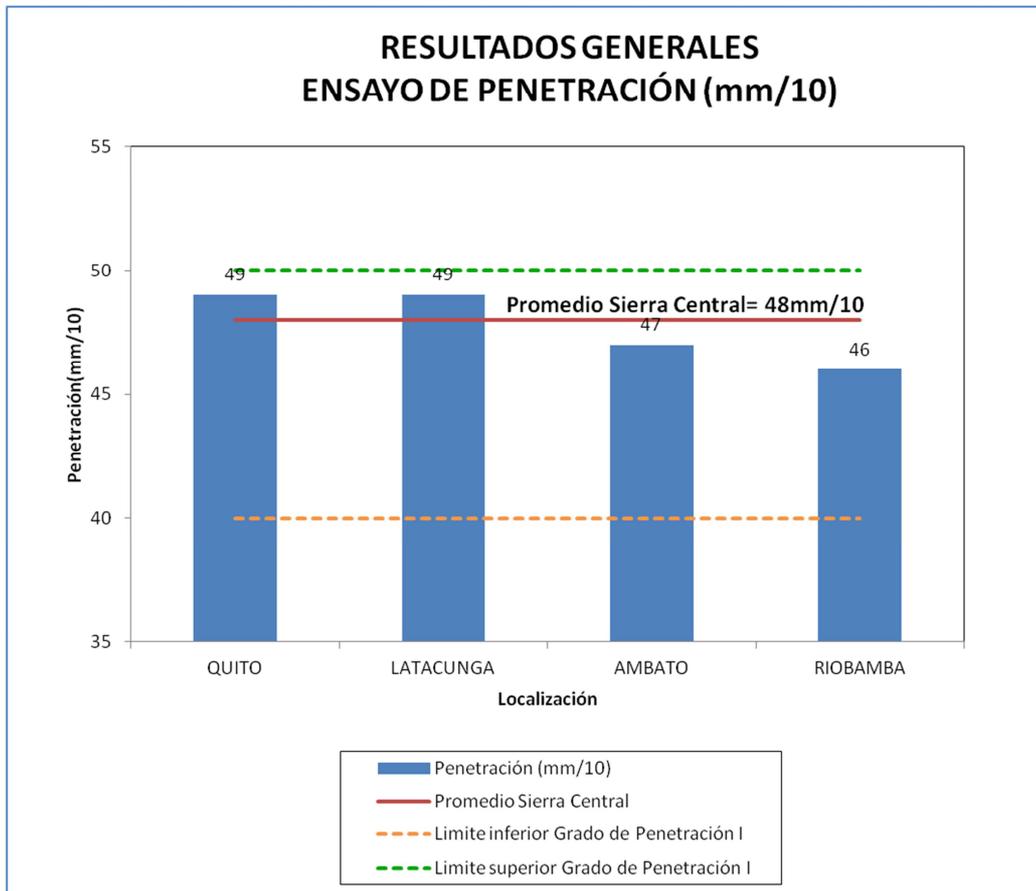
Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Tabla 6.20 Promedio Zona Sierra-Central del Ecuador

RESULTADOS GENERALES ENSAYO DE PENETRACIÓN (mm/10)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
PROMEDIO	49	49	47	46
PROMEDIO ZONA SIERRA-CENTRAL DEL ECUADOR = 48				

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.2 Resultados Generales Ensayo de Penetración



Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

6.2.1 Análisis de resultados

- Según la clasificación por grados de penetración de acuerdo a la norma ASTM-946, el rango se encuentra entre 40 y 50 (mm/10), que corresponde al Cemento Asfáltico Grado I.
- Todas las muestras de asfalto analizadas en este estudio se encuentran dentro del rango de Grado de Penetración I, tendiendo al límite superior 50 (mm/10).
- El valor promedio de las muestras tomadas en la Sierra-Central es de 48 (mm/10), el cuál se encuentra próximo al límite superior.
- Las muestras de las ciudades de Quito y Latacunga con un promedio de 49(mm/10), son más blandas que las muestras de Ambato y Riobamba con un promedio de 47 y 48 (mm/10) respectivamente.
- El asfalto de Riobamba con un promedio de 46 (mm/10), es la muestra de menor penetración, por lo cual se considera un asfalto de mayor consistencia, más duro

6.3 ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO

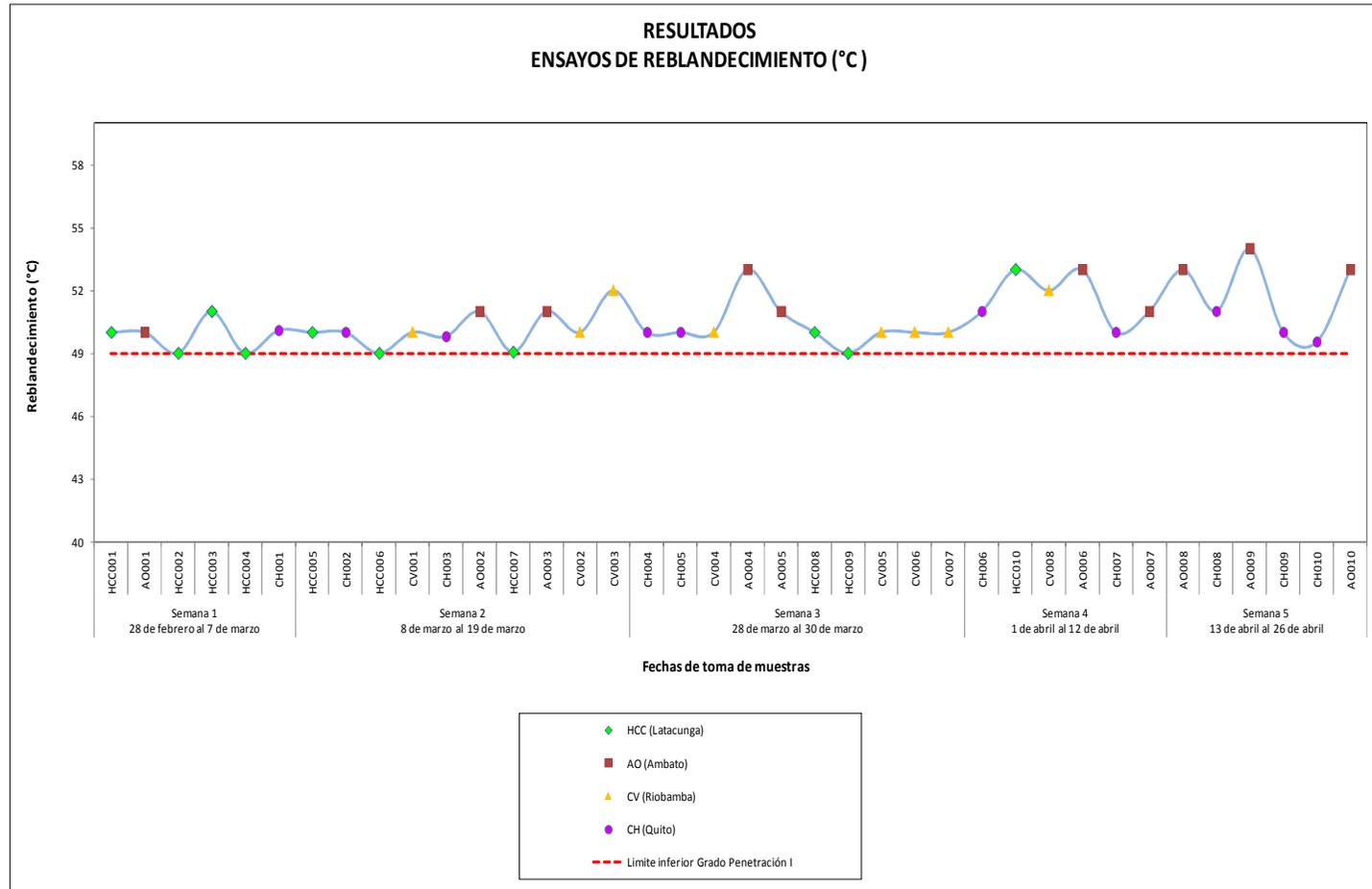
Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.21 Resultados de Ensayo de Reblandecimiento

RESULTADOS ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO T (°C)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
Primer muestreo	50	50	50	50
Segundo muestreo	50	49	51	50
Tercer muestreo	50	51	51	52
Cuarto muestreo	50	49	53	50
Quinto muestreo	50	50	51	50
Sexto muestreo	51	49	53	50
Séptimo muestreo	50	49	51	50
Octavo muestreo	51	50	53	52
Noveno muestreo	50	49	54	_____
Décimo muestreo	50	53	53	_____

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.3 Resultados de Ensayos de Reblandecimiento



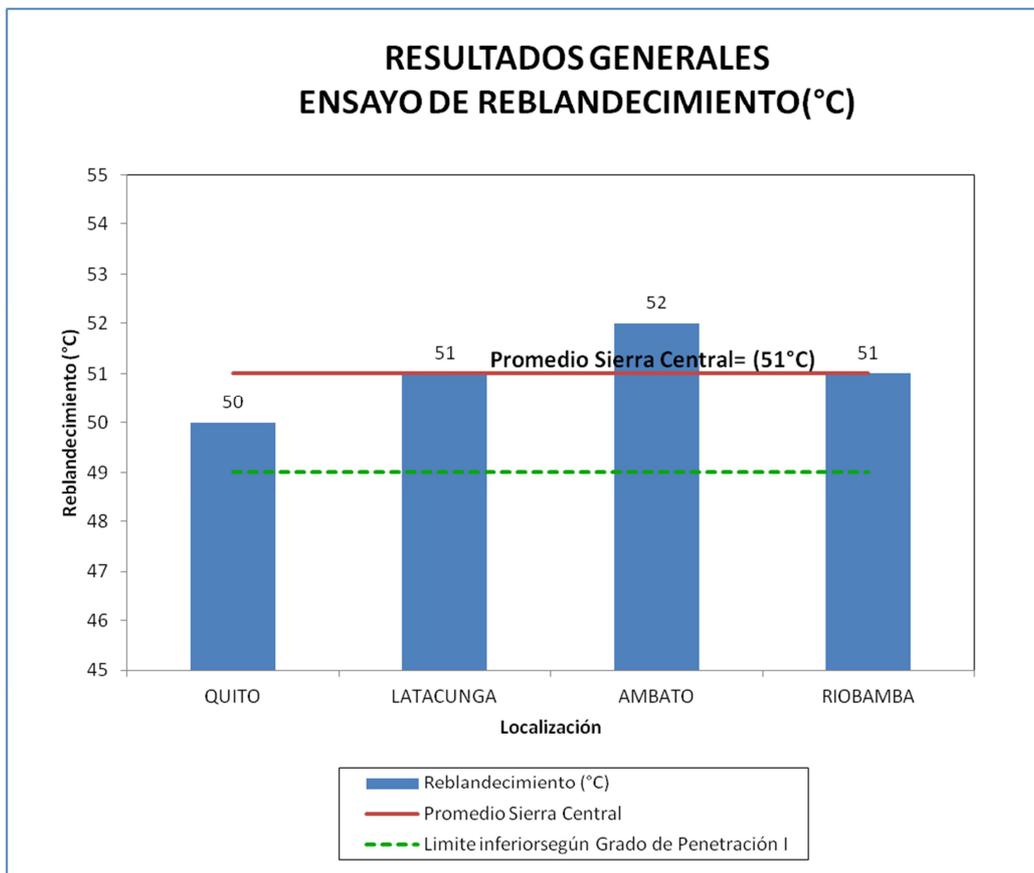
Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Tabla 6.22 Resultados Generales de Ensayo de Reblandecimiento

RESULTADOS GENERALES ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO (°C)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
PROMEDIO	50	51	52	51
PROMEDIO ZONA SIERRA-CENTRAL DEL ECUADOR = 51				

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.4 Resultados Generales de Ensayo de Reblandecimiento



Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

6.3.1 Análisis de resultados

- Según la clasificación por grados de penetración de acuerdo a la norma ASTM-946, el límite inferior para el punto de reblandecimiento es 49 (°C), sin un límite superior, que corresponde al Cemento Asfáltico Grado I.
- Todas las muestras de asfalto analizadas en este estudio se encuentran en la clasificación según el Grado de Penetración I, tendiendo al límite inferior del punto de reblandecimiento 49 (mm/10)
- El valor promedio de las muestras tomadas en la Sierra-Central es de 51 (°C), el cuál se encuentra por encima del límite inferior según el Grado de Penetración I.
- El asfalto de Quito con un promedio de 50°C, es la muestra de menor punto de reblandecimiento, por lo tanto es más susceptible a los cambios de temperatura y tiene menor resistencia a la deformación.
- Las muestras de Latacunga y Riobamba, se encuentran en el promedio de la Sierra-Central 51(°C).
- El asfalto de Ambato con un punto reblandecimiento de 52(°C), se encuentra por encima del promedio de la Sierra-central 51 (°C), es la muestra con el mayor punto de reblandecimiento por lo tanto presenta un buen desempeño ante los cambios de temperatura y tiene mayor resistencia a la deformación

6.4 ÍNDICE DE PENETRACIÓN IP

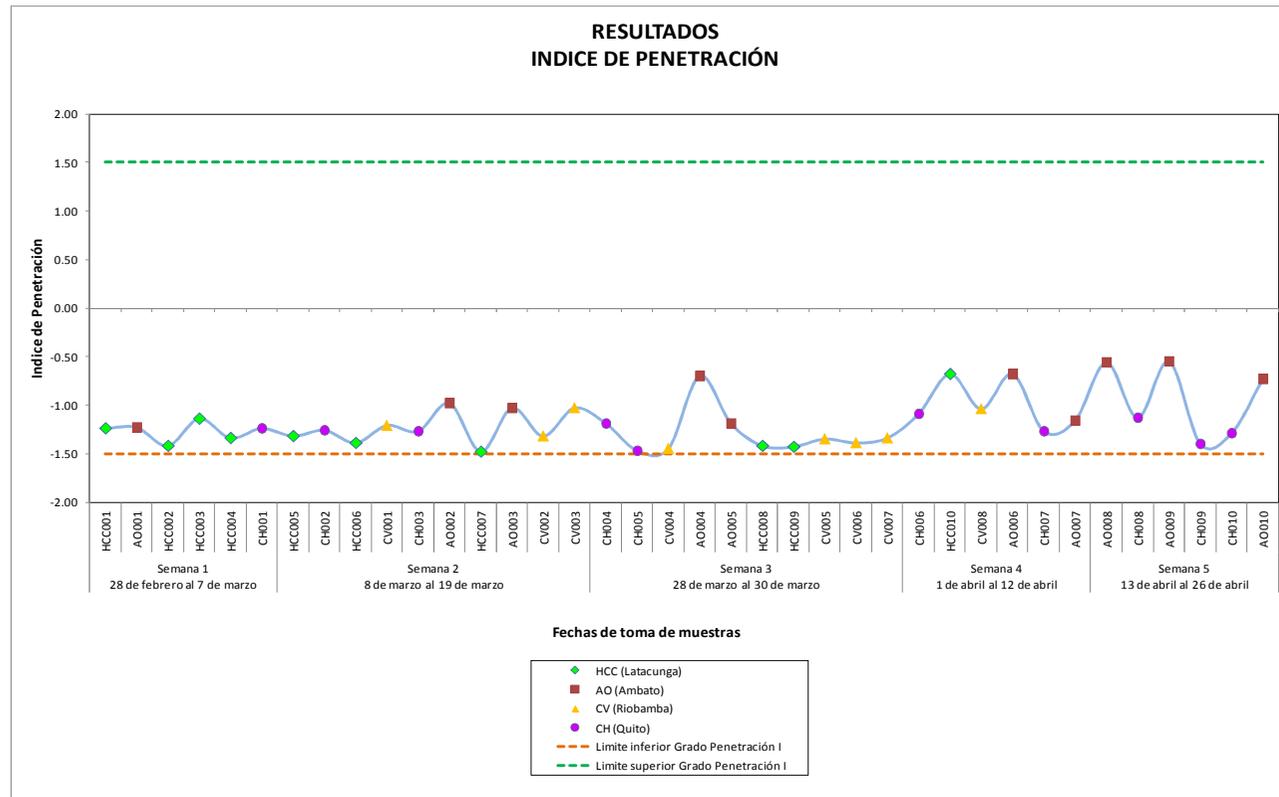
- se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.23 Resultados de Índice de Penetración

RESULTADOS ÍNDICE DE PENETRACIÓN IP				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
Primer muestreo	-1.24	-1.24	-1.23	-1.21
Segundo muestreo	-1.26	-1.42	-0.98	-1.32
Tercer muestreo	-1.27	-1.14	-1.03	-1.03
Cuarto muestreo	-1.19	-1.34	-0.70	-1.45
Quinto muestreo	-1.47	-1.32	-1.19	-1.35
Sexto muestreo	-1.09	-1.39	-0.68	-1.39
Séptimo muestreo	-1.27	-1.48	-1.16	-1.34
Octavo muestreo	-1.13	-1.42	-0.56	-1.04
Noveno muestreo	-1.40	-1.43	-0.55	_____
Décimo muestreo	-1.29	-0.68	-0.64	_____

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.5 Índice de Penetración



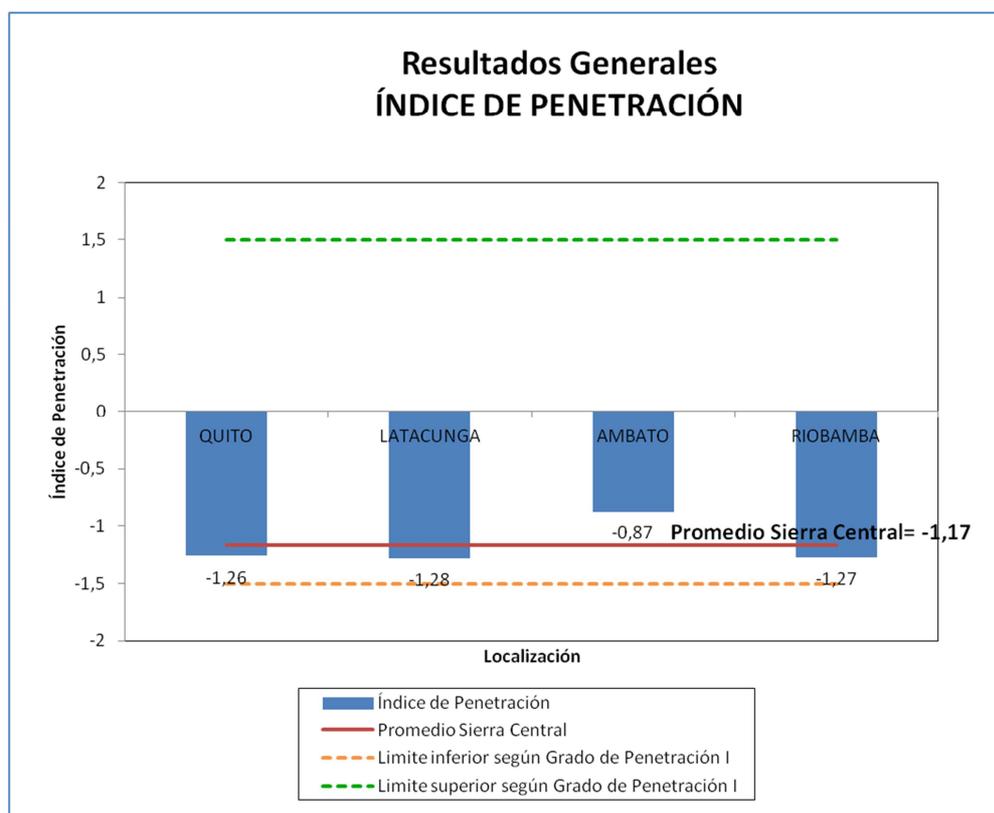
Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Tabla 6.24 Resultados Generales de índice de Penetración

RESULTADOS GENERALES INDICE DE PENETRACIÓN				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
PROMEDIO	-1.26	-1.28	-0.87	-1.27
PROMEDIO ZONA SIERRA-CENTRAL DEL ECUADOR = -1.17				

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.6 Resultados Generales de índice de Penetración



Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

6.4.1 Análisis de resultados

- Según la clasificación por grados de penetración de acuerdo a la norma ASTM-946, el límite inferior del Índice de Penetración es -1.5 y el límite superior es +1.5, que corresponde al Cemento Asfáltico Grado I.
- Todas las muestras de asfalto analizadas en este estudio se encuentran en la clasificación según el Grado de Penetración I, tendiendo al límite inferior del IP = -1,5
- Las muestras de Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba con Índices de Penetración -1.26, -1.28, -0.87 y -1.27, respectivamente, tienen valores negativos, por lo tanto son más susceptibles a la temperatura, ricos en resinas y con comportamiento algo viscoso.

6.4 Ensayo para determinar el punto de inflamación

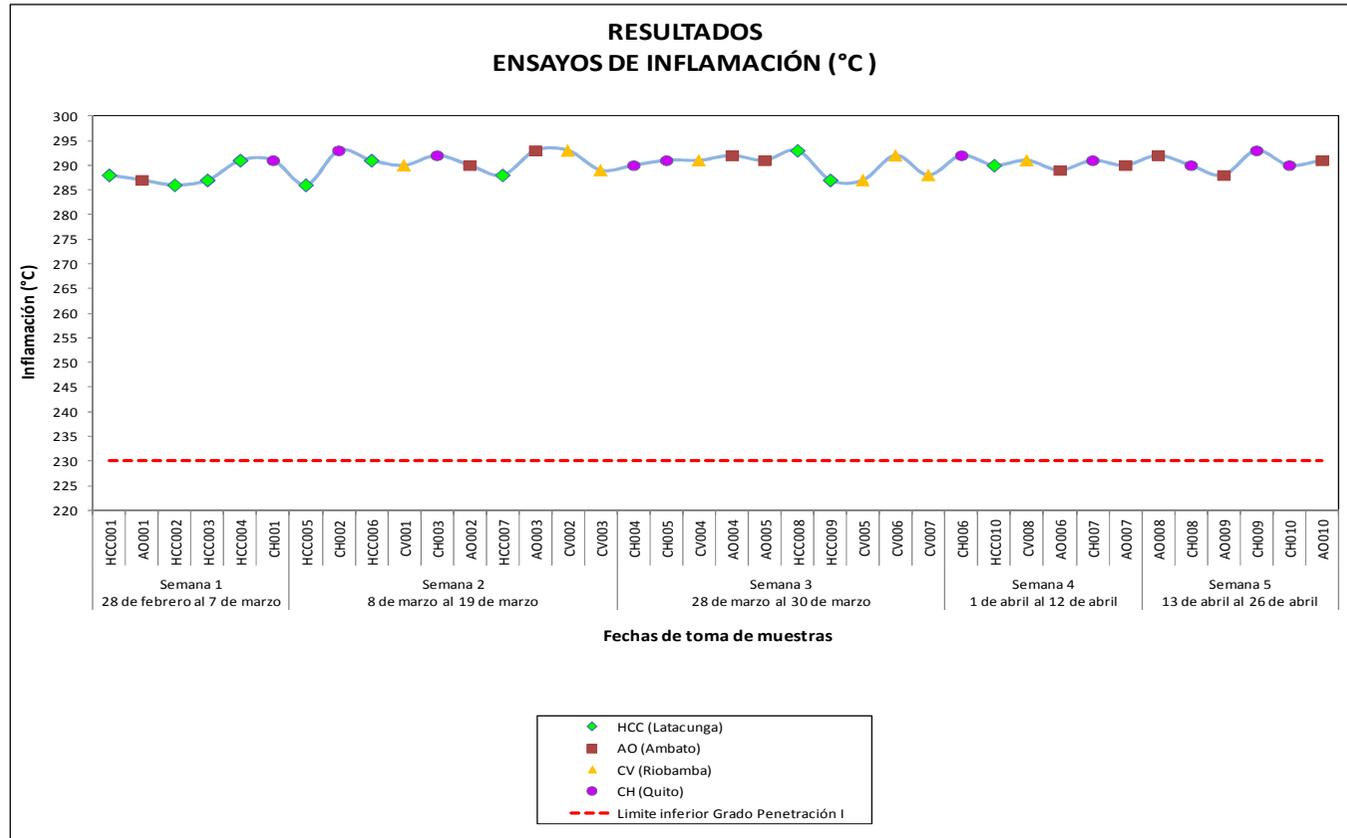
- Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.25 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación

RESULTADOS ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
Primer muestreo	291	288	287	290
Segundo muestreo	293	286	290	293
Tercer muestreo	292	287	293	289
Cuarto muestreo	290	291	292	291
Quinto muestreo	291	286	291	287
Sexto muestreo	292	291	289	292
Séptimo muestreo	291	288	290	288
Octavo muestreo	290	293	292	291
Noveno muestreo	293	287	288	—
Décimo muestreo	290	290	291	—

Elaborado por: Karla Aráuz, Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.7 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación



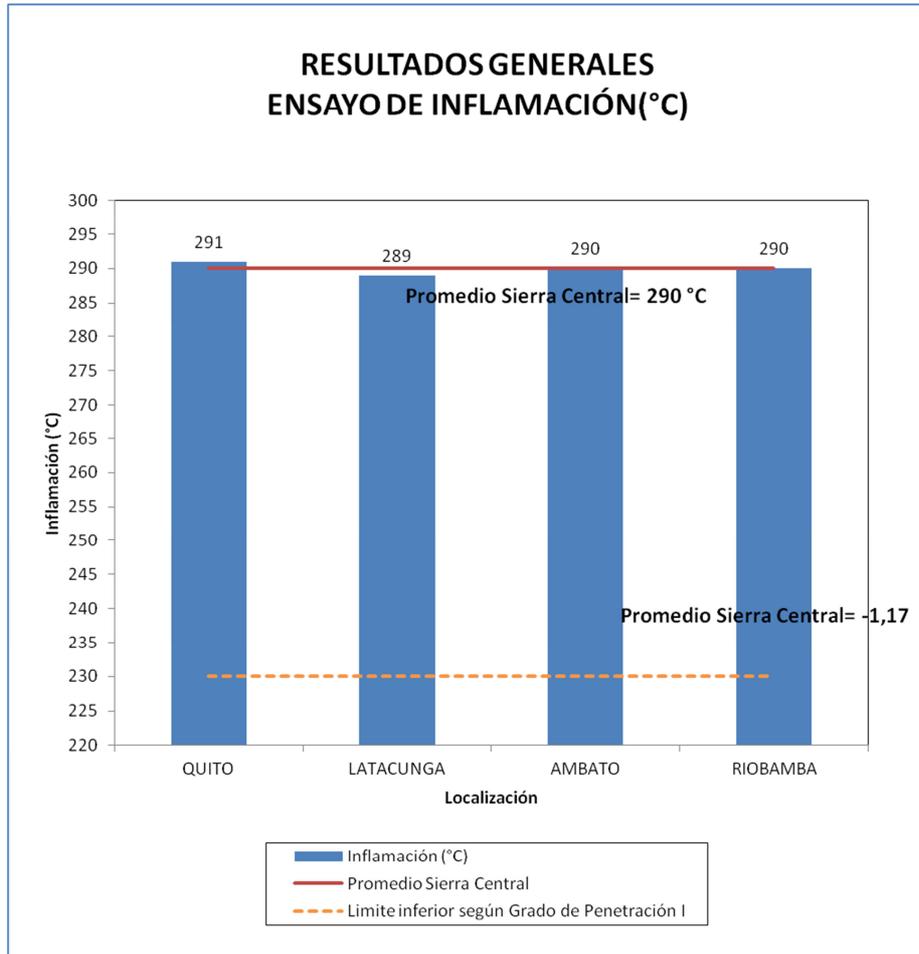
Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Tabla 6.26 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación

RESULTADOS GENERALES ENSAYO DE INFLAMACIÓN (°C)				
UBICACIÓN	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA
PROMEDIO	291	289	290	290
PROMEDIO ZONA SIERRA-CENTRAL DEL ECUADOR = 290				

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Gráfico 6.8 Resultado de Ensayos de Punto de Inflamación



Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

6.4.1 Análisis de resultados

- Según la clasificación por grados de penetración de acuerdo a la norma ASTM-946, el límite inferior para el punto de inflamación es 230 (°C), sin un límite superior, que corresponde al Cemento Asfáltico Grado I.
- Todas las muestras de asfalto analizadas en este estudio se encuentran en la clasificación según el Grado de Penetración I, distantes del límite inferior.
- El valor promedio de las muestras tomadas en la Sierra-Central es de 290 (°C).
- Las muestras de Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba con un Punto de Inflamación de 291, 289, 290 y 290, respectivamente, superan ampliamente el límite inferior, por lo cual requieren de una mayor temperatura para que inicie su combustión.

6.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

El cemento asfáltico empleado en el proyecto de grado, realizado con muestras de las plantas asfálticas de la Sierra-Central (Quito, Latacunga, Ambato, Riobamba), se lo caracterizará de acuerdo a los valores mínimos y máximos que nos presentan las normas ASTM y se verificará con los parámetros que exige el MOP-001-F 2002.

Tabla 6.27 Comparativa de resultados Generales

CUADRO DE RESULTADOS GENERALES						
ENSAYOS	VALORES OBTENIDOS				CLASIFICACIÓN	REQUISITOS
	MUESTRAS					
	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN NORMAS ASTM	VALORES DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOP - 001 - F 2000
Penetración a 25°C, 100g., 5s.	49	49	47	46	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 40mm/10 máximo: 50 mm/10	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 60mm/10 máximo: 70 mm/10
Reblandecimiento T(°C)	50	50	52	51	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 49 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 48 °C máximo: 57 °C
Índice de Penetración	-1.26	-1.28	-0.87	-1.27	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: - 1.5 máximo: + 1.5	Grado de penetración: (60-70) mínimo: - 1.5 máximo: + 1.5
Inflamación T(°C)	291	289	290	290	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 230 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 232 °C máximo: ---

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

- **ANÁLISIS COMPARATIVO**

1. De acuerdo a la normativa ASTM D-946: Las muestras ensayadas tienen UN GRADO I, penetración (40-50), ya que los valores obtenidos se encuentran dentro de este rango.
2. De acuerdo a las especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002: Las muestras ensayadas no se encuentran dentro de los parámetros que exige como mínimo este manual, para la construcción de carreteras.

6.6 COMPARACIÓN DEL ASFALTO ECUATORIANO CON NORMAS INTERNACIONALES

6.6.1 Normativa Americana

Tabla 6.28 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Americana ASTM

CUADRO COMPARATIVO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ECUATORIANO CON LA NORMATIVA AMERICANA ASTM						
ENSAYOS	VALORES OBTENIDOS				CLASIFICACIÓN	REQUISITOS
	MUESTRAS					
	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA		
				CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN NORMAS ASTM	VALORES DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ASTM	
Penetración a 25°C, 100g., 5s.	49	49	47	46	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 40mm/10 máximo: 50 mm/10	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 60mm/10 máximo: 70 mm/10
Reblandecimiento T(°C)	50	50	52	51	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 49 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 46 °C máximo: 57 °C
Inflamación T(°C)	291	289	290	290	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 230 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 230 °C máximo: ---

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Análisis Comparativo

- De acuerdo a las especificaciones técnicas del ASTM, según la clasificación por los grados de Penetración I: Las muestras ensayadas no se encuentran dentro de los parámetros que exige como mínimo la normativa americana ASTM, para la construcción de carreteras

6.6.2 Normativa Venezolana

Tabla 6.29 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Venezolana COVENIN

CUADRO COMPARATIVO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ECUATORIANO CON LA NORMATIVA VENEZOLANA COVENIN (COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES)						
ENSAYOS	VALORES OBTENIDOS				CLASIFICACIÓN	REQUISITOS
	MUESTRAS				CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN NORMAS ASTM	VALORES DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL COVENIN
	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA		
Penetración a 25°C, 100g., 5s.	49	49	47	46	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 40mm/10 máximo: 50 mm/10	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 60mm/10 máximo: 70 mm/10
Reblandecimiento T(°C)	50	50	52	51	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 49 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 48 °C máximo: 58 °C
Inflamación T(°C)	291	289	290	290	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 230 °C máximo: ----	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 260 °C máximo: ---

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Análisis Comparativo

- De acuerdo a las especificaciones técnicas de la normativa Venezolana COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), según la clasificación por los grados de Penetración I: Las muestras ensayadas no se encuentran dentro de los parámetros que exige como mínimo esta norma, para la construcción de carreteras

6.6.3 Normativa Colombiana

Tabla 6.30 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Colombiana INV

CUADRO COMPARATIVO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ECUATORIANO CON LA NORMATIVA COLOMBIANA INV (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS)						
ENSAYOS	VALORES OBTENIDOS				CLASIFICACIÓN	REQUISITOS
	MUESTRAS				CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN NORMAS ASTM	VALORES DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INV
	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA		
Penetración a 25°C, 100g., 5s.	49	49	47	46	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 40mm/10 máximo: 50 mm/10	Grado de penetración: (60-70) mínimo: 60mm/10 máximo: 70 mm/10
Índice de Penetración	-1.26	-1.28	-0.87	-1.27	Grado de penetración: (60-70) mínimo: - 1.5 máximo: + 1.5	Grado de penetración: (60-70) mínimo: - 1 máximo: + 1

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Análisis Comparativo

- De acuerdo a las especificaciones técnicas de la normativa Colombiana INV (Instituto Nacional de Vías), según la clasificación por los grados de Penetración I: Las muestras ensayadas no se encuentran dentro de los parámetros que exige como mínimo esta norma, para la construcción de carreteras

6.6.4 Normativa argentina

Tabla 6.31 Comparación del Cemento Asfáltico Ecuatoriano con la Normativa Argentina IRAM 6604

CUADRO COMPARATIVO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ECUATORIANO CON LA NORMATIVA ARGENTINA IRAM 6604 (INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN)						
ENSAYOS	VALORES OBTENIDOS				CLASIFICACIÓN	REQUISITOS
	MUESTRAS				CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN NORMAS ASTM	VALORES DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL IRAM 6604
	QUITO	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA		
Penetración a 25°C, 100g., 5s.	49	49	47	46	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 40mm/10 máximo: 50 mm/10	Grado de penetración: (50-60) mínimo: 50mm/10 máximo: 60 mm/10
Índice de Penetración	-1.26	-1.28	-0.87	-1.27	Grado de penetración: (60-70) mínimo: - 1.5 máximo: + 1.5	Grado de penetración: (50-60) mínimo: - 1.5 máximo: + 1.5
Inflamación T(°C)	291	289	290	290	Grado de penetración: I (40-50) mínimo: 230 °C máximo: ----	Grado de penetración: (50-60) mínimo: 230 °C máximo: ---

Elaborado por: Karla Aráuz. Maritza Tamayo, 2013

Análisis Comparativo

- De acuerdo a las especificaciones técnicas de la normativa Argentina IRAM 6604 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), según la clasificación por los grados de Penetración I: Las muestras ensayadas no se encuentran dentro de los parámetros que exige como mínimo esta norma, para la construcción de carreteras

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se caracterizó al cemento asfáltico Tipo AC-20 con muestras tomadas en 4 plantas asfálticas de la Sierra-Central (Quito, Latacunga, Ambato, Riobamba), mediante los resultados de los ensayos de Penetración, Reblandecimiento e Inflamación, concluyendo que: según la clasificación por los Grados de Penetración, son Grado I (40-50 mm/10).
- Se estableció un proceso de toma de muestras registrado en el numeral 5.2.1, en el lugar de producción de asfalto, que se las debe tomar cuando el tanquero arriba a la planta antes de ingresar a los tanques almacenamiento.
- Se verificó el cumplimiento de los parámetros de calidad exigidos por el MOP-001-F 2002, estableciendo que el asfalto de los sitios de muestreo no cumple con los requisitos de penetración que exige la normativa, ya que el mínimo especificado es Penetración Grado 60-70 (mm/10)
- Los cambios sucesivos de temperatura, calentamiento y enfriamiento del asfalto, tanto en la salida, traslado y arribo desde la refinería hasta la planta, afectan a las propiedades físico-mecánicas, ya que en las especificaciones de salida consta que tiene penetración 60-70 (mm/10) y los resultados obtenidos son 40-50 (mm/10).

- Se ha demostrado que la distancia desde que inicia el traslado del asfalto en la Refinería hacia cualquier lugar en la Sierra-Central, no es factor determinante para el envejecimiento del asfalto, ya que las distancias son relativamente cortas.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un estricto control de calidad en el proceso de refinación del asfalto.
- Es indispensable un control eficaz al distribuir el asfalto en los tanqueros, tal que la temperatura no debe exceder de los 165°C.
- Para construcción vial todas las empresas deberían realizar ensayos de control de calidad para verificar si las características del asfalto cumplen con los requerimientos establecidos.
- De acuerdo a los requerimientos del MOP para la construcción de carreteras, se suele aditivar al asfalto, para mejorar la penetración, es decir como parámetro mínimo 60-70 (mm/10)
- Para tener un punto de reblandecimiento mayor se puede modificar al asfalto con polímeros, esto se utiliza en lugares donde haya cambios bruscos de temperatura.
- De acuerdo al uso que se le vaya dar al asfalto es importante mantener un equilibrio entre la penetración y el punto de reblandecimiento, ya que una penetración elevada disminuye el punto de reblandecimiento y viceversa.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S. (8 de Agosto de 2012). *Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramerica*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec/es/quinquenio-de-la-revoluci%C3%B3n-ciudadana-actualidad-reportajes/4974.html>
- *asopac*. (5 de Abril de 2010). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/30910576/cartilla-de-asfalto>
- Castell, X. (2002). *Reciclaje de residuos industriales: Aplicación a la fabricación de materiales de construcción*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- *El asfalto*. (9 de Julio de 2002). Obtenido de <http://asfaltoenobravicil.blogspot.com/2012/07/5-obtencion-del-asfalto-en-refinerias.html>
- Fernández del Campo, J. (2002). *Pavimentos bituminosos en frío*. Madrid: Ediciones de Reverte.
- Garber, N. y. (2005). *Ingeniería de Tránsito y Carreteras* (Tercera ed.). México: Cengage Learning.
- Hugon, A. y. (2002). *Técnicas de Construcción*. Madrid: Ediciones de Reverte.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1996). *NTE INEN 2060:1996*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 2515:2010*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 917:1982*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *Manual de Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F2002). Capítulo 800 -Materiales-, Sección 810- Asfaltos y Productos Asfálticos*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2011). *Dirección de Conservación del Transporte*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2011). *Rendición de cuentas*.
- Moubayed, V. (s.f.). *El Prisma*. Obtenido de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/asfalto/

- *Red Vial del Ecuador*. (2011). Obtenido de <http://www.e-asfalto.com/redvialeccuador/>
- Reyes, F. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Universidad Católica del Norte. (2010). *Materiales de Construcción*. Obtenido de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/ensayosm7.htm>

HOJA DE IDENTIFICACIÓN PERSONAL

DATOS PERSONALES:

- **Nombres y Apellidos:** Karla Isabel Aráuz Tipanta
- **Cédula de Identidad:** 1717933343
- **Lugar y Fecha de Nacimiento:** Quito, 06 de Abril de 1986
- **Nacionalidad:** Ecuatoriana
- **Dirección:** Conjunto Alcántara, Valle de los Chillos, Prov. Pichincha-Ecuador
- **Teléfono:** 022872883
- **e-mail:** karlyarauz@hotmail.com

EDUCACIÓN:

- **Primaria:** Unidad Educativa Particular “Gedeón”, (Sangolquí-Ecuador), 1998
- **Secundaria:** Unidad Educativa Particular “Giovanni Farina”, (San Rafael-Ecuador), 2004
- **Estudios Superiores:** Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, (Sangolquí-Ecuador), 2012.

CAPACITACIÓN

- **Seminario Internacional de Alto Nivel de: “Diseño Práctico de Cimentaciones”,** Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, 2009.
- **Seminario “Estructuras Sismo Resistentes-Experiencia del Mega Sismo de Chile”,** Insituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) Sección Nacional del Ecuador, 2011.

- **Conferencia Internacional: “ Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues New Requeriments of the Ecuadorian Construction Standard”**, Cámara de la Construcción de Quito, 2012.
- **Charlas Magistrales “Experiencia Chilena en el Diseño y Construcción de Edificios Sismo Resistentes”**, Cámara de la Construcción de Quito, 2011.

EXPERIENCIA PROFESIONAL:

- **Pasante:**
 - Dirección de Obras Públicas, Ilustre Municipio de Rumiñahui, 2008
 - Dirección de Fiscalización, Ilustre Municipio de Rumiñahui, 2009
 - Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Grupo Sierra Central, 2007
- **Residente de Obra:**
 - **A&T** (Aráuz Tipanta- Construcciones), Sangolquí, 2013
 - **GUIOSC**- Construcciones, Sangolquí, 2012

IDIOMAS

- Suficiencia del Idioma Inglés, (ESPE), 2010

HOJA DE IDENTIFICACIÓN PERSONAL

MARITZA TAMAYO

Telf. 099-814-3061

E-mail: maritg88@hotmail.com

Fecha de nacimiento: 8 de septiembre de 1987

Estado Civil: Soltera

Cédula Identidad: 1720879236



EDUCACION

- Unidad Educativa Particular “La Providencia”, Quito, Primaria y Secundaria
- Escuela Politécnica del Ejercito ESPE, 2013, Quito, **Facultad Ingeniería Civil**.

EXPERIENCIA LABORAL

- **CONSORCIO ECUINGENIERÍA**, Junio 2012 – Diciembre 2012, Supervisor de Obra Civil, asociado en los siguientes temas:
 - Supervisión del proyecto de obra civil de construcción de la planta de pintura de **General Motors del Ecuador GM-OBB**
 - Seguridad Industrial
 - Seguimiento y planificación de requerimientos de materiales para la obra
 - Elaboración de planillas de Costos
 - Capacitación motivacional al personal
- **HORMIDECOR CONSTRUCCIONES**, Febrero 2010 – Marzo 2011, asociado en los siguientes temas:
 - Cálculo, diseño y dibujo de planos estructurales de edificaciones
 - Dibujo de planos arquitectónicos
- **METAL CONSTRUCCIONES Cía. Ltda. Quito- Ecuador**, Junio 2008 – Agosto 2008, Asistente de Fiscalización de Obras Civiles (Pasantías), asociado en los siguientes temas:
 - Análisis planos de proyectos
 - Verificación y control de estructuras metálicas en obra.

PROYECTOS DESARROLLADOS:

- **Centro de Capacitación “COTEC”, Septiembre 2011 – Marzo 2012**, Docente especializado en los siguientes temas:
 - Capacitación Psicotécnica
 - Razonamiento Lógico – Matemático (Operaciones con números reales, partes y porcentajes, razones y proporciones, planteo de ecuaciones, sistemas de ecuaciones, conteo de figuras, probabilidades y secuencias numéricas)
 - Razonamiento Abstracto (Analogías graficas y secuencias graficas)
 - Capacitación Académica
 - Ciencias Exactas (Algebra, Calculo, Física)
 - Autocad Básico

CAPACITACIONES RECIBIDAS

- IBEC (Instituto Brasileiro Equatoriano de Cultura), Marzo 2012, Quito
 - **Suficiencia en lengua Portuguesa.**
- CCQ (Cámara de la Construcción de Quito), Octubre 2011, Quito
 - **Charlas Magistrales “Experiencia Chilena en el Diseño y Construcción de Edificios Sismo**
- BVQ (Bolsa de Valores de Quito), Diciembre 2011, Quito
 - **Certificado de participación: “VI Programa Nacional de Capacitación Bursátil y Empresarial – Concurso Interuniversitario del Juego de la Bolsa”**
- CICIP (Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha), Agosto 2009, Quito
 - **Curso SAP Básico**
- COTEC (Centro de Capacitación Tecnológico), Septiembre 2008, Quito
 - **Curso de Autocad Básico y Avanzado**

HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS

ELABORADO POR:

Karla Isabel Aráuz Tipanta

Maritza Gabriela Tamayo Vallejo

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ing. Jorge Zuñiga Gallegos

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO

Ing. Fanny Cevallos

Lugar y fecha : Sangolquí, Junio de 2013