

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMULSIONES  
ASFÁLTICAS CON POLÍMEROS TIPO SBR EN EL  
DISEÑO DE MICROPAVIMENTOS EMPLEANDO  
AGREGADOS DE LAS CANTERAS DE  
GUAYLLABAMBA Y SAN ANTONIO”**

**Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI  
CHAVEZ**

**FRANCISCO XAVIER SANTAMARIA  
LOZA**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO DEL 2012**

## RESUMEN

El proyecto de tesis “Análisis comparativo de emulsiones asfálticas con polímeros tipo SBR en el diseño de micropavimentos empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio”, tiene como finalidad brindar al lector una guía básica sobre el uso de emulsiones asfálticas en el diseño de micropavimentos. Este documento deberá ser tomado de manera referencial y como ayuda para que los profesionales y usuarios establezcan sus propias especificaciones en sus proyectos particulares, como es de conocimiento general el diseño está en función de las características de los materiales a ser empleados.

Además, este documento presenta detalladamente los procedimientos que debe realizarse para los ensayos de caracterización sobre el material pétreo y emulsión asfáltica con diferentes porcentajes de polímero SBR; estableciendo un análisis comparativo del comportamiento de la mezcla asfáltica mediante sus pruebas de desempeño, y así lograr un diseño óptimo del micropavimento.

Finalmente, se presenta un análisis en cuanto a costos de las diferentes técnicas de conservación preventiva y correctiva del pavimento, lo cual nos permitirá justificar su uso, tomando como parámetros principales, la vida útil y el costo de inversión.

## **ABSTRACT**

The thesis project "Comparative analysis of polymer SBR -bitumen emulsion in the design of micro surfacing using aggregates from Guayllabamba and San Antonio quarries", aims to provide the reader with a basic guide on the use of asphalt emulsions in the design of micro surfacing. This document should be taken as a reference document and as an aid only for professionals and users to set their own specifications in their particular projects, since as is generally known in most places, features and availability of materials to be used vary from each other.

In addition, this paper presents in detail the procedures to be followed for the characterization tests on the stone material and asphalt emulsion polymer with different percentages of SBR, establishing a comparative analysis of the behavior of asphalt through their performance tests, and achieve a micro surfacing optimal design.

Finally, it presents an analysis in terms of costs of the various techniques of preventive and corrective maintenance of the pavement, allowing us to justify its use, on the main parameters, the lifetime and the cost of investment.

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el (los) Sr(s).  
OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI CHAVEZ Y FRANCISCO XAVIER  
SANTAMARIA LOZA como requerimiento parcial a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL.

15 de Agosto de 2012  
Fecha

\_\_\_\_\_  
ING. FRANCO ROJAS RUALES

\_\_\_\_\_  
ING. EDUARDO CARRIÓN ESTUPIÑAN

REVISADO POR

\_\_\_\_\_  
ING. JORGE ZÚÑIGA

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Oswaldo Santiago Guilcapi Chávez y Francisco Xavier Santamaría Loza autorizamos la publicación de la tesis “Análisis Comparativo de Emulsiones Asfálticas con Polímeros Tipo SBR en el Diseño de Micropavimentos empleando agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio” la cual es de nuestra propia autoría y responsabilidad.

15 de Agosto de 2012

Fecha

---

OSWALDO GUILCAPI CHÁVEZ

---

FRANCISCO SANTAMARÍA LOZA

## **DEDICATORIA**

A mis padres Oswaldo y Aida, a quienes les dedico con mucho amor y cariño el presente trabajo. A mi hija Agustina por quien lucho día a día. A Jhoanita mi novia pero sobre todo la amiga que me ha acompañado todo este tiempo. A mis hermanas Janneth y Lisseth y por supuesto a toda mi familia de la que estoy profundamente orgulloso y por la que me esfuerzo constantemente.

**OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI CHÁVEZ**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto de tesis a Dios el cual me ha permitido ser mejor cada día y superar todas las dificultades que se han presentado en el transcurso de mi vida, a mis padres Santiago Santamaría y Margarita Loza por ser un apoyo incondicional y nunca dejarme desmayar, a mi hermana Estefanía Santamaría a quien tanto quiero y por quien hago mi mayor esfuerzo para darle el mejor ejemplo de superación y de vida, a mis abuelitos Hilda Echeverría y Luis Loza por creer en mí y siempre alentarme a seguir adelante.

**FRANCISCO XAVIER SANTAMARIA LOZA**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, quienes siempre confiaron en mí y me apoyaron incondicionalmente durante todo el camino recorrido, quienes con ejemplos de entrega y superación me guiaron por el sendero del bien, y hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre supieron apoyarme en momentos difíciles y darme ánimos para continuar. A mi hija, quien con su dulzura e inocencia me llena de infinito amor y fomenta en mí el deseo de superación y anhelo de triunfar en la vida.

A mi novia, quien me dio el mejor regalo que alguien puede recibir, una hermosa hija, y por su incondicional y sincero apoyo. Ustedes son el combustible que alimenta el motor de mi vida. A mis hermanas, con quienes he compartido una vida y hemos alcanzado juntos muchas metas. A mis abuelitos, quienes se enorgullecen profundamente de mí, y a los que les lleno de alegría con mi meta alcanzada. A la Escuela Politécnica del Ejército, templo de sabiduría y formadora de verdaderos profesionales, dotándoles de valores y conocimientos para enfrentar un mundo lleno de retos.

A mis amigos, quienes siempre han sabido darme un consejo en el momento oportuno y con quienes hemos compartido tantas ocasiones especiales. Por último pero en primer lugar a Dios, quien sin su ayuda nada puedo.

**OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI CHÁVEZ**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme disfrutar plenamente de mi vida y poner en mi camino a personas que han hecho posible la culminación de mi carrera. A mis padres que han hecho su mayor esfuerzo para darme todo lo que ha estado a su alcance, guiarme hacia la excelencia y apoyarme cada momento de mi vida.

A mi hermana por haber sido una amiga incondicional y haberme apoyado en los momentos difíciles a lo largo de mi carrera, a mis abuelitos por creer en mí y siempre alentarme a seguir adelante; a mis verdaderos amigos quienes sin importar su condición, lugar o dificultad, me apoyaron y animaron a ser mejor cada día.

A mis directores de Tesis, Ingeniero Franco Rojas e Ingeniero Eduardo Carrión quienes nos facilitaron sus conocimientos, nos brindaron su apoyo y estuvieron pendientes para la realización y culminación de este proyecto de tesis.

A EMULDEC, empresa la cual nos abrió sus puertas facilitándonos sus conocimientos y laboratorio, con el cual pudimos sacar adelante este proyecto de tesis.

**FRANCISCO XAVIER SANTAMARIA LOZA**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VI</b>
OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI CHAVEZ .....	VI
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
FRANCISCO XAVIER SANTAMARIA LOZA.....	VII
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VIII</b>
OSWALDO SANTIAGO GUILCAPI CHAVEZ .....	VIII
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>IX</b>
FRANCISCO XAVIER SANTAMARIA LOZA.....	IX
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XXXI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>LVIII</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Área de Influencia.....	5
1.3 Objetivos del Proyecto.....	6
1.3.1 Objetivo General del Proyecto.....	6

1.3.2	Objetivos Específicos del Proyecto .....	6
1.4	Justificación e Importancia.....	7
<b>CAPÍTULO II: GENERALIDADES .....</b>		<b>9</b>
2.1	Micropavimentos.....	9
2.2	Reseña Histórica del Micropavimento .....	11
2.3	Diferencia entre Micropavimento y Mortero Asfáltico.....	12
2.4	Tipos de Micropavimentos .....	15
2.5	Normativa .....	16
2.5.1	Normativa para Agregados y Mineral de relleno (Filler).....	16
2.5.2	Normativa para el Asfalto Emulsificado .....	17
2.5.3	Normativa para el Residuo en la Emulsión.....	17
2.5.4	Normativa para el Diseño de la Mezcla .....	18
2.6	Descripción de la Zona de Influencia.....	19
2.7	Canteras .....	19
2.7.1	Cantera de Guayllabamba.....	30
2.7.2	Cantera de San Antonio .....	31
<b>CAPÍTULO III: ENSAYOS EN LOS AGREGADOS .....</b>		<b>33</b>
3.1	Agregados .....	33
3.1.1	Gradación .....	34
3.2	Muestreo de Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM D 75 – 03.....	36
3.2.1	Objetivo .....	36
3.2.2	Obtención de Muestras .....	36

3.2.2.1 Muestreo desde la banda de transporte o acarreo .....	37
3.2.2.2 Muestreo desde el Lugar de Almacenaje .....	38
3.3 Ensayo Granulométrico de Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM C 136.....	39
3.3.1 Objetivo .....	39
3.3.2 Procedimiento.....	39
3.3.3 Resultados de los Ensayos .....	43
3.4 Práctica Normalizada para clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)ASTM D 2487 – 02 .....	47
3.4.1 Objetivo .....	47
3.4.2 Procedimiento Preliminar de Clasificación .....	47
3.4.3 Procedimiento para Clasificación de Suelos de Grano Grueso.....	47
3.4.4 Resultados de los Ensayos .....	49
3.5 Ensayo de Equivalente de Arena para los Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM D 2419 – 02 .....	52
3.5.1 Objetivo .....	52
3.5.2 Preparación de la Muestra.....	52
3.5.3 Preparación del Equipo .....	53
3.5.4 Procedimiento.....	54
3.5.5 Cálculos.....	57
3.5.6 Resultados de los Ensayos .....	58

3.6 Ensayo de Absorción de Azul de Metileno del Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 145 .....	60
3.6.1 Objetivo .....	60
3.6.2 Procedimiento.....	60
3.6.3 Cálculos.....	63
3.6.4 Resultados de los Ensayos .....	64
3.7 Ensayo de Plasticidad en el material pétreo de las canteras de Guayllabamba y San Antonio con la Norma ASTM D 4318 – 05.....	66
3.7.1 Objetivo .....	66
3.7.2 Procedimiento.....	66
3.7.3 Cálculos.....	67
3.7.4 Resultados de los Ensayos .....	68
3.8 Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio con la NORMA AASHTO T 96 – 02 .....	69
3.8.1 Objetivo .....	69
3.8.2 Procedimiento.....	69
3.8.3 Cálculos.....	73
3.8.4. Resultados de los Ensayos .....	74
3.9 Ensayo de Densidad Relativa (Gravedad específica) para el material pétreo de las canteras de Guayllabamba y San Antonio con la NORMA ASTM C 128 – 04 .....	76
3.9.1 Objetivo .....	76

3.9.2 Procedimiento.....	76
3.9.3 Resultados de los Ensayos .....	79
<b>CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL LIGANTE .....</b>	<b>81</b>
4.1 Emulsiones Asfálticas.....	81
4.1.1 Generalidades .....	81
4.1.2 Asfalto .....	82
4.1.3 Emulsificantes .....	83
4.1.4 Emulsión Asfáltica .....	84
4.1.4.1 Tipos de Emulsiones Asfálticas.....	86
4.1.4.2 Nomenclatura de las Emulsiones Asfálticas.....	89
4.1.5 Emulsión Asfáltica y Agregados Pétreos.....	90
4.1.6 Rotura de las Emulsiones Asfálticas .....	91
4.1.7 Polímero .....	93
4.1.7.1 Polímero SBR-Látex.....	94
4.1.7.2 Polímero SBS.....	95
4.1.7.3 EVA .....	96
4.1.8 Agua.....	96
4.2 Ensayo de Viscosidad SayboltFurol empleando la norma ASTM D 88 –07 .....	97
4.2.1 Objetivo .....	97
4.2.2 Procedimiento (Viscosidad SayboltFurol a 25°C .....	97
4.2.3 Resultados.....	101
4.3 Ensayo para determinar el porcentaje de Asfalto Residual empleando la Norma ASTM D 6934 – 08 .....	104

4.3.1	Objetivo .....	104
4.3.2	Procedimiento A (Cuando se requiera únicamente el porcentaje de asfalto residual).....	104
4.3.3	Resultados.....	107
4.4	Ensayo de Asentamiento empleando la Norma ASTM D 244-09 .....	111
4.4.1	Objetivo .....	111
4.4.2	Procedimiento.....	111
4.4.3	Resultados.....	115
4.5	Ensayo de Estabilidad al Almacenamiento empleando la Norma ASTM D 244-09.....	121
4.5.1	Objetivo .....	121
4.5.2	Procedimiento.....	121
4.5.3	Resultados.....	125
4.6	Ensayo de Penetración en el Residuo empleando la Norma ASTM D 5 – 06 .....	131
4.6.1	Objetivo .....	131
4.6.2	Procedimiento.....	131
4.6.3	Resultados.....	136
4.7	Ensayo de Reblandecimiento del Bitumen usando Anillo y Bola (Residuo de la Emulsión) empleando la Norma ASTM D 36 – 06 .....	140
4.7.1	Objetivo .....	140
4.7.2	Procedimiento.....	140
4.7.3	Resultados.....	144

4.8 Ensayo de Carga de Partícula en el Ligante empleando la Norma ASTM D 244-09 .....	147
4.8.1 Objetivo .....	147
4.8.2 Procedimiento.....	147
4.8.3 Resultados.....	149
4.9 Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 empleando la Norma ASTM D 6933 – 08 .....	150
4.9.1 Objetivo .....	150
4.9.2 Procedimiento.....	150
4.9.3 Resultados.....	153
4.10 Ensayo de Ductilidad empleando la Norma ASTM D 113-07 .....	157
4.10.1 Objetivo .....	157
4.10.2 Procedimiento.....	157
4.10.3 Resultados.....	160
4.11 Ensayo de Recuperación Elástica empleando la Norma ASTM D 6084-06 .....	164
4.11.1 Objetivo .....	164
4.11.2 Procedimiento.....	164
4.11.3 Resultados.....	168
<b>CAPÍTULO V: ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.....</b>	<b>172</b>
5.1 Determinación del Porcentaje Teórico de Emulsión para el material pétreo de las canteras de Guayllabamba, San Antonio .....	172
5.1.1 Resultados de los Ensayos .....	173

5.2 Ensayo de Consistencia con el Cono para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 106.....	178
5.2.1 Objetivo .....	178
5.2.2 Procedimiento.....	178
5.2.3 Resultados de los Ensayos .....	181
5.3 Ensayo de Tiempo de Mezcla para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 113 .....	201
5.3.1 Objetivo .....	201
5.3.2 Procedimiento.....	201
5.3.3 Resultados de los Ensayos .....	202
5.4 Ensayo de Cohesión en el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 139 .....	208
5.4.1 Objetivo .....	208
5.4.2 Procedimiento.....	208
5.4.3 Resultado de los Ensayos .....	211
5.5 Ensayo de Abrasión en Húmedo para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 100 .....	231
5.5.1 Objetivo .....	231
5.5.2 Procedimiento.....	231
5.5.3 Resultados de los Ensayos .....	237

5.6 Ensayo de Rueda Cargada en el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 109.....	257
5.6.1 Objetivo .....	257
5.6.2 Procedimiento.....	257
5.6.3 Resultados de los Ensayos .....	263
<b>CAPÍTULO VI: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO .....</b>	<b>284</b>
6.1 Consideraciones de Diseño .....	284
6.2 Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto para los Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio de acuerdo a la Norma ISSA TB– 111.....	288
6.2.1 Resultados de los ensayos.....	290
6.2.1.1 Cantera de Guayllabamba .....	290
6.2.1.2 Cantera de San Antonio .....	297
6.3 Diseño del Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica modificada con Polímeros SBR para los Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio .....	304
6.3.1 Cantera: Guayllabamba.....	304
6.3.2 Cantera: San Antonio .....	320
<b>CAPÍTULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO.....</b>	<b>337</b>
7.1 Ensayo de Adherencia empleando la Norma ASTM D 3625-01 .....	337
7.1.1 Objetivo .....	337
7.1.2 Procedimiento.....	337
7.1.3 Resultados.....	340

7.2 Ensayo de Desprendimiento por Fricción empleando la Norma M-MMP-4-04-009/03 .....	346
7.2.1 Objetivo .....	346
7.2.2 Procedimiento.....	346
7.2.3 Resultados .....	349
7.3 Ensayo de Vialit empleando la Norma NLT-313 .....	355
7.3.1 Objetivo .....	355
7.3.2 Preparación de la Muestra .....	355
7.3.3 Procedimiento.....	356
7.3.4 Resultados.....	359
7.4 Resultado de los Ensayos de Desempeño en el Micropavimento ....	365
7.4.1. Cantera de Guayllabamba.....	365
7.4.1.1. Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139.....	365
7.4.1.2. Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 .....	367
7.4.1.3. Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB – 109 .....	368
7.4.2 Cantera de San Antonio .....	369
7.4.2.1. Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139.....	369
7.4.2.2. Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 .....	371
7.4.2.3. Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB – 109 .....	372

<b>CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>374</b>
8.1. Rubros Básicos empleados en la Preservación del Pavimento .....	376
8.2 Especificaciones Técnicas.....	388
8.2.1 Fresado de Pavimento Asfáltico .....	388
8.2.2 Sellado de Fisuras Superficiales .....	391
8.2.3. Bacheo Asfáltico Menor.....	393
8.2.4 Asfalto para Riego de Adherencia .....	396
8.2.5 Capa de Sello de Mortero Asfáltico (SLURRY SEAL) .....	400
8.2.6 Micropavimento 3 - 4% de Polímero SBR .....	404
8.2.7 Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm .....	408
8.2.8 Transporte .....	425
8.2.9 Recuperación de Pavimentos con Emulsiones Asfálticas en sitio .....	427
8.2.10 Bacheo Asfáltico Mayor .....	433
8.3 Rehabilitación y Mejora Estructural.....	436
8.4 Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficie .....	437
8.5 Rehabilitación y Mejora de la Adherencia.....	438
8.6 Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial.....	439
8.7 Cuadros Comparativos entre los Diferentes Métodos .....	440
8.8 Intervención de Recursos Disponibles.....	444
8.9 Estado del Camino .....	451
8.10 Patrimonio Nacional de Caminos.....	454

<b>CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>460</b>
9.1 Conclusiones.....	460
9.1.1 Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio ....	460
9.1.1.1 Cantera de Guayllabamba .....	460
9.1.1.2 Cantera de San Antonio .....	462
9.1.2 Emulsión Asfáltica CQS sin modificar .....	465
9.1.3 Emulsión Asfáltica CQS con 1% de Polímero .....	466
9.1.4 Emulsión Asfáltica CQS con 2% de Polímero .....	467
9.1.5 Emulsión Asfáltica CQS con 3% de Polímero .....	469
9.1.6 Emulsión Asfáltica CQS con 4% de Polímero .....	470
9.1.7 Análisis comparativo entre Emulsiones CQS sin modificar y Emulsiones CQS con Polímero SBR.....	472
9.1.8 Caracterización del micropavimento empleando agregados de la Cantera de Guayllabamba .....	474
9.1.8.1 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica sin modificar .....	474
9.1.8.2 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 1% de Polímero SBR.....	475
9.1.8.3 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 2% de Polímero SBR.....	476
9.1.8.4 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 3% de Polímero SBR.....	478
9.1.8.5 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 4% de Polímero SBR.....	479

9.1.9 Caracterización del micropavimento empleando agregados de la Cantera de San Antonio.....	481
9.1.9.1 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica sin modificar .....	481
9.1.9.2 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 1% de Polímero SBR.....	482
9.1.9.3 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 2% de Polímero SBR.....	484
9.1.9.4 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 3% de Polímero SBR.....	485
9.1.9.5 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 4% de Polímero SBR.....	486
9.1.10 Análisis comparativo entre un Micropavimento sin modificar y un Micropavimento modificado con polímero .....	488
9.1.11. Análisis Comparativo de Costos .....	494
9.2 Recomendaciones .....	496
9.3 Bibliografía.....	497

## ÍNDICE DE FIGURAS

### **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Figura 1.1: Mapa del Distrito Metropolitano de Quito. (Fuente: <a href="http://www.wikimedia.org">www.wikimedia.org</a> ).....	5
---	---

### **CAPÍTULO II: GENERALIDADES**

Figura 2.1: Vía con Micropavimento (Fuente: <a href="http://www.bitumixcvv.cl">www.bitumixcvv.cl</a> ).....	9
Figura 2.2: Micropavimento sobre Riego de Gravilla (Fuente: <a href="http://www.bitumixcvv.cl">www.bitumixcvv.cl</a> ) .....	13
Figura 2.3: Micropavimento distribuido en capas(Fuente: <a href="http://greshamoregon.gov/city/city-departments/environmentalservices/transportation-streets/template.aspx?id=24704">http://greshamoregon.gov/city/city-departments/environmentalservices/transportation-streets/template.aspx?id=24704</a> .....	14
Figura 2.4: Cantera de Guayllabamba .....	30
Figura 2.5: Cantera de San Antonio .....	31

### **CAPÍTULO III: ENSAYOS EN LOS AGREGADOS**

Figura 3.1: Material Pétreo para Micropavimento .....	33
Figura 3.2: Muestreo desde la banda de transporte o acarreo .....	37
Figura 3.3: Cuarteo del agregado (Norma ASTM C 702) .....	40
Figura 3.4: Agregado Grueso y Fino.....	40
Figura 3.5: Máquina Tamizadora .....	42
Figura 3.6: Equipo necesario para ensayo de equivalente de arena .....	53
Figura 3.7: Equipo Sifón .....	54

Figura 3.8: Cápsula de agregado pasante del tamiz N <sup>0</sup> 4 .....	55
Figura 3.9: Agitación de la muestra .....	55
Figura 3.10: Irrigación de la probeta .....	56
Figura 3.11: Sedimentación de la Arena y Suspensión de los finos .....	57
Figura 3.12: Material Fino pasante del tamiz #200 .....	61
Figura 3.13: Agregado fino en la Solución de trabajo .....	61
Figura 3.14: Halo de color azul con diferentes dosificaciones de Azul de Metileno .....	62
Figura 3.15: Formación del Cilindro .....	67
Figura 3.16: Material No Plástico .....	68
Figura 3.17: Agregado Tamizado .....	70
Figura 3.18: Máquina de los Ángeles .....	72
Figura 3.19: Agregado y Carga Abrasiva .....	73
Figura 3.20: Peso del Picnómetro y Agua .....	76
Figura 3.21: Eliminación de Burbujas de Aire .....	77
Figura 3.22: Peso Total – Muestra de Suelo y Agua .....	78

#### **CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL LIGANTE**

Figura 4.1: Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión (Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas Serie No. 19) .....	82
Figura 4.2: Diagrama esquemático de una emulsión (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141) .....	85

Figura 4.3: Representación esquemática de una emulsión aniónica y catiónica (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141).....	87
Figura 4.4: Rompimiento de una emulsión asfáltica (Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas Serie No. 19) .....	92
Figura 4.5: Viscosímetro calibrado a 25 ° C .....	98
Figura 4.6: Tapón en la parte inferior del Viscosímetro .....	98
Figura 4.7: Llenado del viscosímetro hasta el borde de derrame .....	99
Figura 4.8: Alineación del corcho con el vaso receptor .....	100
Figura 4.9: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el tapón de corcho .....	100
Figura 4.10: Peso del contenedor y la vara .....	105
Figura 4.11: Peso de la emulsión .....	105
Figura 4.12: Muestras en el horno a $163 \pm 3$ °C .....	105
Figura 4.13: Peso de la muestras después de haber permanecido 3 horas en el horno a $163 \pm 3$ °C .....	106
Figura 4.14: Probeta con 500 cm <sup>3</sup> de emulsión asfáltica.....	111
Figura 4.15: Peso del contenedor y la varilla de cristal.....	112
Figura 4.16: Extracción de la parte superior de la muestra contenida en la probeta .....	113
Figura 4.17: Porción superior e inferior de la probeta.....	113
Figura 4.18: Muestras en el horno a $163 \pm 3$ °C.....	114
Figura 4.19: Probetas con 500 cm <sup>3</sup> de emulsión asfáltica .....	121
Figura 4.20: Peso del contenedor y la varilla de cristal.....	122

Figura 4.21: Extracción de la parte superior de la muestra contenida en la probeta .....	123
Figura 4.22: Porción superior e inferior de la probeta.....	123
Figura 4.23: Muestras en el horno a $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .....	124
Figura 4.24: Muestra de residuo a ensayarse .....	132
Figura 4.25: Muestra a $25^{\circ}\text{C}$ durante un período de dos horas.....	132
Figura 4.26: Penetrómetro con un peso de 50 g por encima de la aguja.....	133
Figura 4.27: Penetrómetro en baño con la muestra a ser ensayada .....	134
Figura 4.28: Dial del Penetrómetro encerado .....	134
Figura 4.29: Aguja en contacto con la superficie de la muestra .....	135
Figura 4.30: Penetración en el residuo a $25^{\circ}\text{C}$ , 5 segundos y con un peso de 100g .....	136
Figura 4.31: Colocación del betún en el anillo .....	141
Figura 4.32: Muestras enrasadas .....	141
Figura 4.33: Colocación de las esferas sobre los anillos .....	142
Figura 4.34: Inicio del Ensayo .....	143
Figura 4.35: Ensayo en proceso .....	143
Figura 4.36: Fin del ensayo .....	143
Figura 4.37: Electrodo en la emulsión asfáltica .....	148
Figura 4.38: Asfalto adherido al electrodo negativo.....	149
Figura 4.39: Peso del tamiz y la bandeja.....	151
Figura 4.40: Vertido de la emulsión a través del tamiz .....	151
Figura 4.41: Lavado del tamiz .....	152

Figura 4.42: Tamiz lavado .....	152
Figura 4.43: Peso del tamiz y la bandeja después del ensayo .....	152
Figura 4.44: Molde para realizar las briquetas.....	158
Figura 4.45: Ductilómetro .....	159
Figura 4.46: Montaje de las muestras en el Ductilómetro.....	159
Figura 4.47: Deformación en las muestras .....	160
Figura 4.48: Preparación de las briquetas .....	165
Figura 4.49: Muestra en el ductilómetro a 25 <sup>0</sup> C.....	166
Figura 4.50: Recuperación elástica de las partes separadas de la briqueta.....	167

## **CAPÍTULO V: ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Figura 5.1: Cono Centrado en la Escala de Flujo .....	179
Figura 5.2: Lectura de la Mezcla Asfáltica distribuida en la Escala de Flujo .....	180
Figura 5.3: Preparación de la Muestra.....	201
Figura 5.4: Rotura de la Mezcla Asfáltica .....	202
Figura 5.5: Especímenes Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 .....	209
Figura 5.6: Muestra lista para ensayar .....	209
Figura 5.7: Muestra sometida a Torque.....	210
Figura 5.8: Preparación de la Muestra.....	233
Figura 5.9: Muestra Terminada.....	233
Figura 5.10: Secado de las Muestras .....	234
Figura 5.11: Inmersión de las muestras en agua previo a ser ensayadas.....	234

Figura 5.12: Muestra sometida a Abrasión .....	235
Figura 5.13: Peso de la Muestra al finalizar el ensayo .....	236
Figura 5.14: Preparación de la mezcla asfáltica .....	258
Figura 5.15: Colocación de la Mezcla Asfáltica en el molde.....	259
Figura 5.16: Muestras terminadas .....	259
Figura 5.17: Colocación de la Muestra en la Máquina.....	260
Figura 5.18: Aplicación de la carga en la muestra .....	261
Figura 5.19: Muestra ensayada a 1000 ciclos .....	261
Figura 5.20: Colocación de Arena sobre la muestra ensayada .....	262
Figura 5.21: Arena adherida a las muestras al finalizar el ensayo.....	262

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO**

### **CAPÍTULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO**

Figura 7.1: Material pétreo retenido tamiz No 4.....	338
Figura 7.2: Muestra sumergida en agua a temperatura de ebullición.....	338
Figura 7.3: Curado de muestras previo al ensayo .....	339
Figura 7.4: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	340
Figura 7.5: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	340
Figura 7.6: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	341
Figura 7.7: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	341

Figura 7.8: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	342
Figura 7.9: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	343
Figura 7.10: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	343
Figura 7.11: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	344
Figura 7.12: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	344
Figura 7.13: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	345
Figura 7.14: Colocación de emulsión asfáltica sobre material caliente....	347
Figura 7.15: Agitación del agregado pétreo .....	347
Figura 7.16: Registro visual de la película asfáltica desprendida del material .....	348
Figura 7.17: Agregado seleccionado y Vertido de emulsión asfáltica sobre placa metálica .....	356
Figura 7.18: Curado de la muestra y Matriz de agregados sobre la emulsión asfáltica .....	356
Figura 7.19: Muestra sumergida en agua a -22°C .....	357
Figura 7.20: Caída libre de la bola de acero sobre la placa invertida .....	358
Figura 7.21: Material desprendido luego de ensayar .....	358

## **CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE COSTOS**

Figura 8.1: Ciclo Tipo de Conservación (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994).....	446
Figura 8.2: Ciclo de Reconstrucción (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.).....	447
Figura 8.3: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora Estructural .....	447
Figura 8.4: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficial.....	448
Figura 8.5: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Adherencia.....	449
Figura 8.6: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial .....	450
Figura 8.7: Estados del Camino (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994) .....	453

## **CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Tabla 1.1: Clasificación del Camino según T.P.D.A. (Fuente: <a href="http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/443.pdf">http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/443.pdf</a> ).....	3
---	---

### CAPÍTULO II: GENERALIDADES

Tabla 2.1: Tipos de Micropavimentos y capacidad de carga (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	16
Tabla 2.2: Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	16
Tabla 2.3: Normatividad para el Asfalto Emulsificado (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	17
Tabla 2.4: Normatividad para el Residuo en la Emulsión (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	17
Tabla 2.5: Normatividad para el Diseño en la Mezcla (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	18

### **CAPÍTULO III: ENSAYOS EN LOS AGREGADOS**

Tabla 3.1: Gradación del material pétreo para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	34
Tabla 3.2: Tipo de gradación para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	35
Tabla 3.3: Ensayos en los agregados para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).....	35
Tabla 3.4: Juego de Tamices .....	41
Tabla 3.5: Granulometría Guayllabamba (Norma ASTM C 136) .....	43
Tabla 3.6: Granulometría San Antonio (Norma ASTM C 136).....	45
Tabla 3.7: Clasificación SUCS para el agregado de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 2487 – 02 .....	49
Tabla 3.8: Clasificación SUCS para el agregado de San Antonio empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.....	50
Tabla 3.9: Ensayo Equivalente de Arena ASTM D 2419-02 en el Agregado de Guayllabamba .....	58
Tabla 3.10: Ensayo Equivalente de Arena ASTM D 2419-02 en el Agregado de San Antonio .....	59
Tabla 3.11: Ensayo de Azul de Metileno ISSA TB – 145 en el agregado de Guayllabamba.....	64

Tabla 3.12: Ensayo de Azul de Metileno ISSA TB – 145 en el agregado de San Antonio .....	65
Tabla 3.13: Juego de Tamices.....	70
Tabla 3.14: Gradación de las Muestras de Ensayo .....	71
Tabla 3.15: Carga de acuerdo al Tipo de Composición.....	72
Tabla 3.16: Ensayo de Desgaste por Abrasión AASHTO T 96 – 02 en el agregado de Guayllabamba .....	74
Tabla 3.17: Ensayo de Desgaste por Abrasión AASHTO T 96 – 02 en el agregado de San Antonio.....	75
Tabla 3.18: Ensayo de Gravedad Especifica ASTM C 128 – 04en el Agregado de Guayllabamba .....	79
Tabla 3.19: Ensayo de Gravedad Especifica ASTM C 128 – 04en el Agregado de San Antonio.....	79

#### **CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL LIGANTE**

Tabla 4.1:Adición de Emulsificantes de acuerdo al Tipo de Emulsión. (Fuente: Alternativas para el Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos) .....	84
Tabla 4.2: Clasificación de las emulsiones asfálticas .....	90
Tabla 4.3: Ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	101
Tabla 4.4: Ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	101
Tabla 4.5: Ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	101

Tabla 4.6: Ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	102
Tabla 4.7: Ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	102
Tabla 4.8: Resultados ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 .....	102
Tabla 4.9: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	107
Tabla 4.10: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	107
Tabla 4.11: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	107
Tabla 4.12: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	108
Tabla 4.13 Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	108
Tabla 4.14: Resultados ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 .....	108
Tabla 4.15: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	115

Tabla 4.16: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	116
Tabla 4.17: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	116
Tabla 4.18: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	116
Tabla 4.19: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	116
Tabla 4.20: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	117
Tabla 4.21: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	117
Tabla 4.22: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	117
Tabla 4.23: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	117
Tabla 4.24: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	118
Tabla 4.25: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	118
Tabla 4.26: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	118
Tabla 4.27: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	119

Tabla 4.28: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	119
Tabla 4.29: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	119
Tabla 4.30: Resultados ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 .....	119
Tabla 4.31: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	125
Tabla 4.32: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	126
Tabla 4.33: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	126
Tabla 4.34: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	126
Tabla 4.35: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	126
Tabla 4.36: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	127
Tabla 4.37: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	127

Tabla 4.38: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	127
Tabla 4.39: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	127
Tabla 4.40: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	128
Tabla 4.41: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	128
Tabla 4.42: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	128
Tabla 4.43: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	129
Tabla 4.44: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	129
Tabla 4.45: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	129

Tabla 4.46: Resultados ensayo de estabilidad al almacenamiento	
ASTM D 244-09 .....	129
Tabla 4.47: Ensayo de penetración en el residuo	
ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	136
Tabla 4.48: Ensayo de penetración en el residuo	
ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	137
Tabla 4.49: Ensayo de penetración en el residuo	
ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	137
Tabla 4.50: Ensayo de penetración en el residuo	
ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	138
Tabla 4.51: Ensayo de penetración en el residuo	
ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	138
Tabla 4.52: Resultados ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 .....	138
Tabla 4.53: Ensayo de reblandecimiento del bitumen	
ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	144
Tabla 4.54: Ensayo de reblandecimiento del bitumen	
ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	144

Tabla 4.55: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	144
Tabla 4.56: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	145
Tabla 4.57: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	145
Tabla 4.58: Resultados ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 .....	145
Tabla 4.59: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	153
Tabla 4.60: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	153
Tabla 4.61: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	154
Tabla 4.62: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	154

Tabla 4.63:Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	154
Tabla 4.64:Resultados ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08.....	155
Tabla 4.65: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	160
Tabla 4.66: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	160
Tabla 4.67: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	161
Tabla 4.68: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	161
Tabla 4.69: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	161
Tabla 4.70:Resultados ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 .....	162
Tabla 4.71: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	168
Tabla 4.72: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	168
Tabla 4.73: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	168
Tabla 4.74: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	169

Tabla 4.75: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	169
Tabla 4.76: Resultados ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 .....	169

## **CAPÍTULO V: ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Tabla 5.1: Granulometría de la cantera de Guayllabamba .....	173
Tabla 5.2: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz .....	174
Tabla 5.3: Granulometría de la cantera de San Antonio .....	175
Tabla 5.4: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz .....	175
Tabla 5.5: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar .....	181
Tabla 5.6: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	183
Tabla 5.7: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	185
Tabla 5.8: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	187
Tabla 5.9: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	189
Tabla 5.10: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar .....	191
Tabla 5.11: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	193

Tabla 5.12: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR.....	195
Tabla 5.13: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR.....	197
Tabla 5.14: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR.....	199
Tabla 5.15: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica sin modificar.....	202
Tabla 5.16: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1% de Polímero SBR.....	203
Tabla 5.17: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2% de Polímero SBR.....	203
Tabla 5.18: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3% de Polímero SBR.....	204
Tabla 5.19: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4% de Polímero SBR.....	204
Tabla 5.20: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica sinmodificar .....	205
Tabla 5.21: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1% de Polímero SBR.....	205
Tabla 5.22: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2% de Polímero SBR.....	206
Tabla 5.23: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3% de Polímero SBR.....	206

Tabla 5.24: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR.....	207
Tabla 5.25: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar.....	211
Tabla 5.26: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero de SBR .....	213
Tabla 5.27: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero de SBR .....	215
Tabla 5.28: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero de SBR .....	217
Tabla 5.29: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero de SBR .....	219
Tabla 5.30: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar.....	221
Tabla 5.31: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero de SBR .....	223
Tabla 5.32: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero de SB.....	225
Tabla 5.33: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero de SBR .....	227
Tabla 5.34: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero de SBR .....	229
Tabla 5.35: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	237

Tabla 5.36: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	239
Tabla 5.37: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	241
Tabla 5.38: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	243
Tabla 5.39: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	245
Tabla 5.40: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	247
Tabla 5.41: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	249
Tabla 5.42: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	251
Tabla 5.43: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	253
Tabla 5.44: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	255
Tabla 5.45: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	263
Tabla 5.46: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	265
Tabla 5.47: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	267

Tabla 5.48: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	269
Tabla 5.49: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	271
Tabla 5.50: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar.....	273
Tabla 5.51: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	275
Tabla 5.52: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	277
Tabla 5.53: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	279
Tabla 5.54: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	281

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO**

Tabla 6.1: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	290
Tabla 6.2: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	291
Tabla 6.3: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	292
Tabla 6.4: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	293
Tabla 6.5: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	293

Tabla 6.6: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	294
Tabla6.7: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	294
Tabla 6.8: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	295
Tabla6.9: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	296
Tabla 6.10: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	297
Tabla6.11: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	297
Tabla 6.12: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	298
Tabla6.13: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	298
Tabla 6.14: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	299
Tabla 6.15: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	300
Tabla 6.16: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	301
Tabla 6.17: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	301
Tabla 6.18: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	302
Tabla6.19: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	302
Tabla 6.20: Contenido óptimo de asfalto y emulsión .....	303
Tabla 6.21: Resultados de la caracterización de los agregados.....	304

Tabla 6.22: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	305
Tabla 6.23: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero .....	305
Tabla 6.24: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	305
Tabla 6.25: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	306
Tabla 6.26: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	306
Tabla 6.27: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	308
Tabla 6.28: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero.....	308
Tabla 6.29: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	308
Tabla 6.30: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	309
Tabla 6.31: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	309
Tabla 6.32: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	311

Tabla 6.33: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero.....	311
Tabla 6.34: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	311
Tabla 6.35: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	312
Tabla 6.36: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	312
Tabla 6.37: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	314
Tabla 6.38: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero.....	314
Tabla 6.39: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	314
Tabla 6.40: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	315
Tabla 6.41: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	315
Tabla 6.42: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	317
Tabla 6.43: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero.....	317

Tabla 6.44: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	317
Tabla 6.45: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	318
Tabla 6.46: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	318
Tabla 6.47: Resultados de la caracterización del agregado .....	320
Tabla 6.48: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	321
Tabla 6.49: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero .....	321
Tabla 6.50: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	321
Tabla 6.51: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	322
Tabla 6.52: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar .....	322
Tabla 6.53: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	324
Tabla 6.54: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero.....	324
Tabla 6.55: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	324

Tabla 6.56: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	325
Tabla 6.57: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	325
Tabla 6.58: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	327
Tabla 6.59: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero.....	327
Tabla 6.60: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	327
Tabla 6.61: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	328
Tabla 6.62: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	328
Tabla 6.63: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	330
Tabla 6.64: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero.....	330
Tabla 6.65: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	330
Tabla 6.66: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	331

Tabla 6.67: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	331
Tabla 6.68: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	333
Tabla 6.69: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero.....	333
Tabla 6.70: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	333
Tabla 6.71: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	334
Tabla 6.72: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	334

## **CAPÍTULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO**

Tabla 7.1: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	340
Tabla 7.2: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	340
Tabla 7.3: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	341
Tabla 7.4: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	341

Tabla 7.5: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	342
Tabla 7.6: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	343
Tabla 7.7: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	343
Tabla 7.8: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	344
Tabla 7.9: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	344
Tabla 7.10: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	345
Tabla 7.11: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	349
Tabla 7.12: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	349
Tabla 7.13: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	350
Tabla 7.14: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	350
Tabla 7.15: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	350
Tabla 7.16: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión sin polímero .....	352

Tabla 7.17: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	352
Tabla 7.18: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	353
Tabla 7.19: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	353
Tabla 7.20: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	353
Tabla 7.21: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	359
Tabla 7.22: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	359
Tabla 7.23: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	360
Tabla 7.24: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	360
Tabla 7.25: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	361
Tabla 7.26: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión sin polímero .....	362
Tabla 7.27: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero .....	362
Tabla 7.28: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero .....	363

Tabla 7.29: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero .....	363
Tabla 7.30: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero .....	364
Tabla 7.31: Ensayo de Cohesión en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR .....	365
Tabla 7.32: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR .....	367
Tabla 7.33: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	368
Tabla 7.34: Ensayo de Cohesión en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	369
Tabla 7.35: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	371
Tabla 7.36: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	372

## **CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE COSTOS**

Tabla 8.1: Clases de Carreteras (Fuente: Apuntes Cátedra Vías I, Sección Transversal del Camino, Ing. Patricio Romero) .....	374
Tabla 8.2: Cantidades Referenciales.....	375
Tabla 8.3: Presupuesto –Rehabilitación y Mejora Estructural.....	436

Tabla 8.4: Presupuesto –Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficie .....	437
Tabla 8.5: Presupuesto – Rehabilitación y Mejora de la Adherencia .....	438
Tabla 8.6: Presupuesto - Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial (Micropavimento- Polímero 3%).....	439
Tabla 8.7: Presupuesto - Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial (Micropavimento- Polímero 4%).....	439
Tabla 8.8: Costos de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento .....	440
Tabla 8.9: Costo Referencial de la construcción de 1 km de Vía.....	454
Tabla 8.10: Tráfico Promedio Diario Anual (Fuente: Reporte de Tráfico, Autopista General Rumiñahui 2011) .....	455
Tabla 8.11: Valor Actual del Tramo Quito (“El Trébol”) – Valle de los Chillos (“San Rafael”) .....	456

## **CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tabla 9.1: Granulometría Guayllabamba.....	461
Tabla 9.2: Granulometría San Antonio.....	463
Tabla 9.3: Resultados caracterización de los Agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio .....	464
Tabla 9.4: Resultados ensayos sobre la Emulsión Asfáltica CQS sin modificar y Emulsión Asfáltica CQS con Polímero .....	472
Tabla 9.5: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero....	474
Tabla 9.6: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero.....	475

Tabla 9.7: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 2% de pol3mero .....	477
Tabla 9.8: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 3% de pol3mero .....	478
Tabla 9.9: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 4% de pol3mero .....	479
Tabla 9.10: Formulaci3n para el Micropavimento sin emplear pol3mero .....	481
Tabla 9.11: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 1% de pol3mero .....	483
Tabla 9.12: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 2% de pol3mero .....	484
Tabla 9.13: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 3% de pol3mero .....	485
Tabla 9.14: Formulaci3n para el Micropavimento empleando 4% de pol3mero .....	487
Tabla 9.15: Resultados de las Formulaciones propuestas para el dise1o del Micropavimento, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio .....	490
Tabla 9.16: Resultados Pruebas de desempe1o en el Micropavimento sin Pol3mero y Micropavimento con 1% de Pol3mero, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio .....	491

Tabla 9.17: Resultados Pruebas de desempeño en el  
Micropavimento con 2% de Polímero y Micropavimento con  
3% de Polímero, empleando agregados de las Canteras de  
Guayllabamba y San Antonio ..... 492

Tabla 9.18: Resultados Pruebas de desempeño en el  
Micropavimento con 4% de Polímero, empleando agregados  
de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio ..... 493

## ÍNDICE DE CUADROS

### **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO II: GENERALIDADES**

Cuadro 2.1: Costo del Agregado Pétreo .....	28
---	----

### **CAPÍTULO III: ENSAYOS EN LOS AGREGADOS**

Cuadro 3.1: Granulometría Guayllabamba .....	44
--	----

Cuadro 3.2: Granulometría San Antonio.....	46
--	----

Cuadro 3.3: Clasificación SUCS para el agregado de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 2487 – 02 .....	50
--	----

Cuadro 3.4: Clasificación SUCS para el agregado de San Antonio empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.....	51
--	----

### **CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL LIGANTE**

Cuadro 4.1: Resultados ensayo de Viscosidad SayboltFurol ASTM D 88 – 07 .....	103
--	-----

Cuadro 4.2: Resultados ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 .....	110
---	-----

Cuadro 4.3: Resultados ensayo de asentamiento ASTM D 244-09.....	120
--	-----

Cuadro 4.4: Resultados ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09.....	130
--	-----

Cuadro 4.5: Resultados ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06.....	139
--	-----

Cuadro 4.6: Resultados ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06.....	146
Cuadro 4.7: Resultados ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 .....	156
Cuadro 4.8: Resultados ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 .....	163
Cuadro 4.9: Resultados ensayo de Recuperación Elástica empleando la Norma ASTM D 6084-06.....	170

## **CAPÍTULO V: ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Cuadro 5.1: Curva para determinar el porcentaje de asfalto residual. (Fuente: Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros, para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el distrito Metropolitano de Quito) .....	172
Cuadro 5.2: Curva para determinar el % de asfalto residual .....	174
Cuadro 5.3: Curva para determinar el % de asfalto residual .....	176
Cuadro 5.4: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar.....	182
Cuadro 5.5: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 1 % de Polímero SBR.....	184
Cuadro 5.6: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 2 % de Polímero SBR.....	186
Cuadro 5.7: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 3 % de Polímero SBR.....	188
Cuadro 5.8: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 4 % de Polímero SBR.....	190

Cuadro 5.9: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar.....	192
Cuadro 5.10: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 1 % de Polímero SBR.....	194
Cuadro 5.11: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 2 % de Polímero SBR.....	196
Cuadro 5.12: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 3 % de Polímero SBR.....	198
Cuadro 5.13: Humedad Óptima en la Emulsión Asfáltica con 4 % de Polímero SBR.....	200
Cuadro 5.14: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar.....	212
Cuadro 5.15: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero SBR .....	214
Cuadro 5.16: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero SBR .....	216
Cuadro 5.17: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero SBR .....	218
Cuadro 5.18: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero SBR .....	220
Cuadro 5.19: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin modificar.....	222
Cuadro 5.20: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero SBR .....	224

Cuadro 5.21: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero SBR .....	226
Cuadro 5.22: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero SBR .....	228
Cuadro 5.23: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero SBR .....	230
Cuadro 5.24: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	238
Cuadro 5.25: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	240
Cuadro 5.26: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	242
Cuadro 5.27: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	244
Cuadro 5.28: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	246
Cuadro 5.29: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	248
Cuadro 5.30: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	250
Cuadro 5.31: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	252
Cuadro 5.32: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	254

Cuadro 5.33: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	256
Cuadro 5.34: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	264
Cuadro 5.35: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	266
Cuadro 5.36: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	268
Cuadro 5.37: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	270
Cuadro 5.38: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	272
Cuadro 5.39: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar .....	274
Cuadro 5.40: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR .....	276
Cuadro 5.41: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR .....	278
Cuadro 5.42: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR .....	280
Cuadro 5.43: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR .....	282

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO**

Cuadro 6.1: Contenido Óptimo Mínimo de Asfalto ISSA TB – 100 .....	289
--	-----

Cuadro 6.2: Contenido Óptimo Máximo de Asfalto ISSA TB – 109 .....	289
Cuadro 6.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111. (Fuente: Guía Básica para el Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Semi-Líquidas: Morteros Asfálticos (Slurry Seal) y Micro – Pavimentos (Micro – Surfacing)) .....	290
Cuadro 6.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	291
Cuadro 6.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	292
Cuadro 6.6: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	293
Cuadro 6.7: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	295
Cuadro 6.8: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	296
Cuadro 6.9: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.....	297
Cuadro 6.10: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR .....	299
Cuadro 6.11: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR .....	300
Cuadro 6.12 Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR .....	301

Cuadro 6.13: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR .....	303
Cuadro 6.14: Curva Granulométrica ASTM C 136.....	304
Cuadro 6.15: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (Sin Polímero) .....	307
Cuadro 6.16: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (1% de Polímero) .....	310
Cuadro 6.17: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (2% de Polímero) .....	313
Cuadro 6.18: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (3% de Polímero) .....	316
Cuadro 6.19: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (4% de Polímero) .....	319
Cuadro 6.20: Curva Granulométrica ASTM C 136.....	320
Cuadro 6.21: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (Sin Polímero) .....	323
Cuadro 6.22: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (1% de Polímero) .....	326
Cuadro 6.23: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (2% de Polímero) .....	329
Cuadro 6.24: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (3% de Polímero) .....	332
Cuadro 6.25: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (4% de Polímero) .....	335

## **CAPÍTULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO**

Cuadro 7.1: Ensayo de Adherencia sobre el agregado de Guayllabamba .....	342
Cuadro 7.2: Ensayo de Adherencia sobre el agregado de San Antonio .....	345
Cuadro 7.3: Ensayo de Desprendimiento por Fricción sobre el agregado de Guayllabamba.....	351
Cuadro 7.4: Ensayo de Desprendimiento por Fricción sobre el agregado de San Antonio .....	354
Cuadro 7.5: Ensayo de Vialit sobre el agregado de Guayllabamba.....	361
Cuadro 7.6: Ensayo de Vialit sobre el agregado de San Antonio .....	364
Cuadro 7.7: Ensayo de Cohesión en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR .....	366
Cuadro 7.8: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR .....	367
Cuadro 7.9: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	368
Cuadro 7.10: Ensayo de Cohesión en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	370
Cuadro 7.11: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	371

Cuadro 7.12: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.....	372
---	-----

## **CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE COSTOS**

Cuadro 8.1: Costos de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento .....	441
Cuadro 8.2: Vida Útil de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento .....	442
Cuadro 8.3: Costo Anual de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento .....	443
Cuadro 8.4: Curva de deterioro del camino - Gastos efectuados (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994) .....	446
Cuadro 8.5: Valor Actual del Tramo Quito (“El Trébol”) – Valle de los Chilllos (“San Rafael”) .....	458

## **CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.**

## **1.1 Antecedentes.**

El rendimiento de un pavimento depende de su condición estructural y funcional. Mientras que la condición estructural depende de la capacidad de carga del pavimento y de la base, la condición funcional describe cuan “buena” es una vía para permitir al usuario moverse desde un lugar a otro bajo condiciones aceptables de confort y seguridad, a costos y velocidad aceptables.

El mantenimiento preventivo y técnicas de rehabilitación superficial pueden preservar y mejorar éstas condiciones funcionales. El ingeniero vial podrá optar por plantear soluciones de bajo costo inicial y mejorar el rendimiento total del pavimento.

Una nueva y promisoría tecnología (micro-pavimentos) ha sido usada en lo Estados Unidos como una técnica de rehabilitación para pavimentos asfálticos desde 1980. El micro-pavimento es un sistema de pavimentación compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados triturados, finos minerales, agua y aditivos de control en campo.

Cuando se diseña y aplica apropiadamente un micropavimento en vías de alto, mediano y bajo volumen de tráfico vehicular, éste ha mostrado buenos resultados para mejorar las características de fricción superficial, recuperación de ahuellamientos y pequeñas irregularidades.

<b>CLASE DE CARRETERA</b>	<b>TRAFICO PROYECTADO (T.P.D.A.)</b>
<b>R-I ó R-II</b>	más de 8000
<b>1- orden</b>	de 3000 – 8000
<b>2 -orden</b>	de 1000 – 3000
<b>3 -orden</b>	de 300 - 1000
<b>4 -orden</b>	de 100 – 300
<b>5 -orden</b>	menos de 100

Tabla 1.1: Clasificación del Camino según T.P.D.A. (Fuente: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/263/1/443.pdf>)

También ha sido usado como un sello superficial para corregir irregularidades tales como pérdida de propiedades anti-derrapantes (alisamiento) y desprendimientos en pavimentos. Los resultados han sido variables, pero generalmente apropiados para estas aplicaciones, es decir dependiendo de las características específicas del proyecto tales como las condiciones climáticas del lugar, el tipo de agregado disponible y la composición de la emulsión asfáltica, se diseñará el tipo de micropavimento que mejor se adapte a estas condiciones.

En Ecuador el uso de micropavimentos es un tema en el cual no se posee conocimiento pleno acerca de su diseño y aplicación, pero en los últimos años se ha dado un avance significativo debido a las prestaciones de calidad que poseen los mismos.

Es de conocimiento general que las carreteras de nuestro país no reciben un adecuado mantenimiento preventivo, lo cual ocasiona que la capa de rodadura presente un comportamiento aceptable solo en épocas secas y por un periodo corto de tiempo, ya que inmediatamente, con la llegada de las lluvias y debido al tráfico de vehículos; ésta se deteriora rápidamente presentando baches y pérdida de finos.

En este caso, un tratamiento superficial asfáltico de protección y buenas condiciones de drenaje pueden evitar el deterioro en la superficie de las mencionadas carreteras.

Creeremos que es momento de que el Ecuador asuma con seriedad este nuevo reto de optimizar y racionalizar el buen uso de sus recursos, a fin de lograr carreteras seguras y confortables para los usuarios.

## 1.2 Área de Influencia.

Los principales beneficiarios de la investigación de este Proyecto de Grado serán los alumnos que se proyecten en el campo de la ingeniería vial, docentes y profesionales que tengan una relación directa con el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, e instituciones públicas y privadas que realicen labores de mantenimiento vial para los sectores Nororiental, Noroccidental y Central del Distrito Metropolitano de Quito.

Los cuales mediante el presente proyecto tendrán una base teórica-práctica en cuanto a la aplicación de polímeros en emulsiones asfálticas para el diseño de micropavimentos.



Figura 1.1: Mapa del Distrito Metropolitano de Quito. (Fuente: [www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org))

## **1.3 Objetivos del Proyecto**

### **1.3.1 Objetivo General del Proyecto.**

Realizar un análisis comparativo de la modificación de emulsiones asfálticas con polímeros tipo SBR en el diseño de micropavimentos empleando agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio

### **1.3.2 Objetivos Específicos del Proyecto.**

- Realizar la caracterización de los agregados provenientes de las canteras de San Antonio y Guayllabamba, teniendo en cuenta las Normas ASTM.
- Realizar la caracterización de las emulsiones asfálticas con diferentes porcentajes de polímero SBR.
- Realizar la caracterización de la emulsión asfáltica sin la consideración de polímeros.
- Diseño del micropavimento.
- Análisis comparativo entre la aplicación de emulsiones modificadas con polímeros SBR y emulsiones sin modificar.
- Determinar la susceptibilidad del micropavimento a la humedad
- Determinar la susceptibilidad al desgaste del micropavimento

- Evaluar mediante los ensayos de Adherencia, Fricción y Vialit los diferentes diseños de Micropavimentos.
- Presentar los resultados obtenidos en los diferentes diseños de Micropavimentos.
- Realizar un análisis comparativo de costos entre la aplicación de diferentes tipos de rehabilitación vial para la preservación del pavimento.

#### **1.4 Justificación e Importancia.**

El desarrollo de un país está relacionado directamente con la capacidad de movilidad que posee el mismo, por esta razón un sistema vial en óptimas condiciones representa un alto grado de conectividad y eficiencia, desarrollando una economía sustentable y competitiva globalmente.

Siendo el micropavimento, un tratamiento superficial rápido, de alto rendimiento que mejora las condiciones de tránsito y ayuda al mantenimiento de los pavimentos, indiscutiblemente la implementación de éstos en los sectores Nororiental, Noroccidental y central del Distrito Metropolitano de Quito, se verá reflejada en una mejor seguridad y eficiencia en el transporte, lo que da como resultado más y mejores beneficios sociales, económicos y ambientales.

# **CAPITULO II**

## **GENERALIDADES**

## CAPÍTULO II: GENERALIDADES

### 2.1 Micropavimentos. <sup>1</sup>

El Micro-pavimento (micro-surfacing) es un sistema de pavimentación superficial por capas delgadas compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímeros, 100% agregados triturado, finos minerales, agua y aditivo de control de campo según sea necesario. Es aplicado como tratamientos superficiales delgados de 10 - 13 mm de espesor, para mejorar características de fricción en pavimentos principalmente. Su segundo mayor uso es en recuperación de ahuellamientos, tanto en vías con moderado así como con alto volumen de tráfico vehicular.



Figura 2.1: Vía con Micropavimento (Fuente: [www.bitumixcvv.cl](http://www.bitumixcvv.cl))

<sup>1</sup> <http://www.bitumixcvv.cl/productos/micropavimentos/index.php>

Cuando es diseñado y construido apropiadamente, el micro-pavimento ha mostrado resultados prometedores de 4 – 7 años como vida de servicio. Ya que el micro-pavimento se adhiere bien con la superficie existente, puede ser perfilado sin desintegración de bordes y puede generalmente ser abierto al tráfico dentro de una hora después de su aplicación, es particularmente apropiado para carreteras de alto volumen y áreas urbanas.

Considerando el potencial del micro-pavimento, su uso ha sido de alguna manera restringido debido a varios factores. Estos incluyen contratistas con falta de experiencia, falta de calidad de agregados en muchas partes del país, inhabilidad de contratistas (en algunos casos) de obtener agregados con la granulometría requerida debido a la baja demanda, rechazo de usuarios a aplicar nuevas tecnologías e información faltante o incompleta en esta tecnología. Desde el punto de vista de la Ingeniería, los procedimientos de diseño de micro-pavimentos no han sido aún estandarizados. Tecnologías como el micro-pavimento, ofrecen soluciones con efectividad en costos y mejoran ante todo el rendimiento del pavimento.

## **2.2 Reseña Histórica del Micropavimento.** <sup>2</sup>

El micro-pavimento fue desarrollado inicialmente en Europa, donde es conocido generalmente como micro concreto asfáltico. A mediados de los años 70's, Screg Route una compañía Francesa diseñó un Seal-Gum que era un micro concreto asfáltico el cual fue posteriormente mejorado por la firma Raschig de Alemania. Raschig comercializó su producto en los Estado Unidos bajo el nombre de "Ralumac" a principios de los años 80's.

A finales de la década de los 80's, la firma Española Elsamex desarrollo y comercializo su micro concreto asfáltico en los Estados Unidos bajo el nombre de Macroseal. Hoy muchos otros sistemas genéricos están disponibles en los Estado Unidos.

El micro-pavimento fue inicialmente introducido en los Estados Unidos en Kansas. Desde entonces, muchos otros Estados y agencias locales han usado este tratamiento para corregir ciertas condiciones de pavimentos en vías de tráfico moderado y pesado. Hoy muchos otros sistemas genéricos están disponibles en los Estado Unidos y en los últimos años se ha esparcido por toda América Latina y el Ecuador.

---

<sup>2</sup> <http://es.scribd.com/doc/39844324/3/D-DESCRIPCIONES-USOS-E-HISTORIA>

### **2.3 Diferencia entre Micropavimento y Mortero Asfáltico (Slurry Seal).**

Los morteros asfálticos (Slurry Seal) y los Micropavimentos si bien es cierto corresponden a la aplicación de emulsiones asfálticas en frío y son utilizados para el mantenimiento y conservación de pavimentos rígidos o pavimentos flexibles se los debe diferenciar para tener en cuenta su correcta aplicación.

El mortero asfáltico y el micro-pavimento (slurry seal & micro-surfacing) son una excelente solución para caminos que se encuentran en etapas tempranas de deterioro. Estos son la mezcla de agregados pétreos, emulsión asfáltica, agua y aditivos que son aplicados en capas delgadas sobre el pavimento existente. Al hacer esto en su ciclo temprano de vida, se puede extender la vida del pavimento con efectividad en costos por otros siete años o aún más.<sup>3</sup>

El mortero asfáltico y el micro-pavimento proveen muchos beneficios: sellan el pavimento actual contra la intrusión de agua; restauran propiedades superficiales anti-derrapantes, no es necesario incrementar altura en los registros de los servicios públicos o aceras, ya que se aplica una micro-capa delgada y la aplicación ofrece un color negro al usuario.

---

<sup>3</sup> <http://www.bergkampinc.com/espanol/solutions.html>

La principal diferencia entre el mortero asfáltico y el micro-pavimento radica en que el mortero asfáltico utiliza en su mezcla emulsión asfáltica convencional la cual por evaporación logra su curado en varias horas.

El micro-pavimento utiliza emulsiones modificadas con polímeros las cuales por reacción química forzan a la humedad a ser expulsada de la mezcla permitiendo ser abierta al tráfico en menos de una hora. El mortero asfáltico es típicamente usado en pavimentación de calles y áreas urbanas, mientras que el micro-pavimento se aplica en todo tipo de caminos, carreteras y autopistas.

Tanto el mortero asfáltico y el micro-pavimento pueden ser usados como una aplicación única o combinando otros procesos de conservación en caminos. Como ejemplo de esto está el sello del cabo (cape seal) el cual es una combinación de riego de gravilla o tratamiento superficial (chip seal) y sobre ello la pavimentación final con morteros asfálticos o micro-pavimentos.



Figura 2.2: Micropavimento sobre Riego de Gravilla (Fuente: [www.bitumixcvv.cl](http://www.bitumixcvv.cl))

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define los morteros como una mezcla de agregados (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de rotura lenta, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente en espesores que van desde los 3 a 10 mm. Por otra parte, la ISSA define los Micropavimentos como un tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica de mayor estabilidad, capaz de alcanzar espesores variables de hasta 50 mm. los mismos que son distribuidos en capas.



Figura 2.3: Micropavimento distribuido en capas  
(Fuente:<http://greshamoregon.gov/city/city-departments/environmental-services/transportation-streets/template.aspx?id=24704>)

## 2.4 Tipos de Micropavimentos.<sup>4</sup>

Sabiendo que el Micropavimento es un mortero asfáltico de alto rendimiento, se tiene una clasificación de tres tipos de morteros de acuerdo al tamaño del agregado según la ISSA (International Slurry Surfacing Association).

**Tipo I:** Se aplica en áreas de bajo tráfico, donde el objetivo principal es el óptimo sellado de la superficie. También se puede aplicar como tratamiento previo a un recabado asfáltico o sello de agregados.

**Tipo II:** Es el tipo de lechada más usado, protege la superficie subyacente del envejecimiento y daño por efecto del agua, y mejora la fricción superficial. Además puede corregir desintegración de la superficie. Se usa principalmente en pavimentos que soportan tráfico moderado.

**Tipo III:** Este tipo de lechada se usa para conseguir altas tasas de aplicación y elevados valores de fricción superficial. Se aplica en vías con elevados niveles de tráfico.

Sin embargo cabe recalcar, que para el diseño de Micropavimentos, los tipos usados son el *Tipo II* y *Tipo III*.

---

<sup>4</sup> Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing ISSA A-143

Tipo	Ubicación	Rango de Aplicación Propuesto
II	Calles urbanas y residenciales Pistas de Aeropuertos	(5,4 – 10,8 kg/m <sup>2</sup> )
III	Vías Primarias e Interprovinciales Ahuellamientos	(8.1 - 16.3 kg/m <sup>2</sup> ) Según sea requerido

Tabla 2.1: Tipos de Micropavimentos y capacidad de carga (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

## 2.5 Normativa.

### 2.5.1 Normativa para Agregados y Mineral de relleno (Filler).

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayos INEN	Ensayo
AASHTO T 2	ASTM D 75	INEN 695	Muestreo del Agregado mineral
	ASTM C 128	INEN 856	Ensayo de Densidad. Densidad Relativa, y la Absorción de Agregado Fino
AASHTO T 27	ASTM C 136	INEN 696	Análisis Granulométrico de los agregados
AASHTO T 11	ASTM C 117	INEN 697	Análisis Granulométrico de los agregados finos
AASHTO 176	ASTM D 2419	-----	Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregado fino
AASHTO T 96	ASTM C 131	INEN 860	Ensayo a la Abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles
AASHTO T 104	ASTM C 88	INEN 863	Ensayo para determinar la Solidez de los Agregados mediante el uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio

Tabla 2.2: Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

### 2.5.2 Normativa para el Asfalto Emulsificado.

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayos INEN	Ensayo
AASHTO T 40	ASTM D 140	INEN 922	Muestreo de Materiales bituminosos
AASHTO T 59	ASTM 244	INEN 902 - INEN 914	Ensayos de Asfalto Emulsificado
AASHTO M 280	ASTM D 2397	-----	Especificaciones para la emulsión catiónica

Tabla 2.3: Normatividad para el Asfalto Emulsificado (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

### 2.5.3 Normativa para el Residuo en la Emulsión.

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayos INEN	Ensayo
AASHTO T 59	ASTM 244	INEN 902 - INEN 914	Ensayos de Asfalto Emulsificado
AASHTO T 53	ASTM D 36	INEN 920	Punto de ablandamiento por el uso de anillo y bola
AASHTO T 49	ASTM C 2397	INEN 917	Penetración a los 5 segundos a 25 °C

Tabla 2.4: Normatividad para el Residuo en la Emulsión (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

## 2.5.4 Normativa para el Diseño de la Mezcla.

Ensayos ASTM	Ensayos ISSA	Ensayo
-----	ISSA A 143	Recomendaciones de rendimiento Directrices para micro-pavimento
ASTM D 6372 - 99a	-----	Norma práctica para el Diseño, prueba y construcción de Micropavimentos
-----	ISSA TB 100	Abrasión en Húmedo para Slurry Seal ( Determina el porcentaje de asfalto mínimo en la mezcla)
-----	ISSA TB 109	El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)
-----	ISSA TB 113	Tiempo de Mezcla
-----	ISSA TB 114	Ensayo de Desprendimiento en Húmedo
-----	ISSA TB 139	Ensayo de Cohesión
ASTM D 1560	-----	Cohesiómetro Hveem
	ISSA TB 148	Modificación de la Prueba de Estabilidad Marshall
	ISSA TB 144	Clasificación de Compatibilidad de Uso de los Schulze-Breuer

Tabla 2.5: Normatividad para el Diseño en la Mezcla (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, presenta en sus especificaciones MTOP-001F2000, sección 405-7.1 (Capa de Sellado con Mezclas Densas en Frío) la normativa para el diseño, manejo y aplicación de micropavimentos.

De igual manera en la sección 406 – 2 (Recuperación de Pavimentos con Emulsiones Asfálticas en Sitio), se presenta la normativa para trabajos de recuperación y reutilización en el mismo lugar de los agregados existentes en pavimentos antiguos.

## **2.6 Descripción de la Zona de Influencia.**

La zona de influencia es el Distrito Metropolitano de Quito; cuya ubicación es 0°13''S 78°31''O; al norte de la provincia de Pichincha en el norte de Ecuador.

El Distrito Metropolitano de Quito se divide en 8 administraciones zonales, las mismas que contienen a 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas.

## **2.7 Canteras. <sup>5</sup>**

La demanda de áridos para la construcción en Quito esta abastecido hoy en día, en su mayoría, de las grandes canteras ubicadas a los costados del cráter Pululahua y los flujos de lava del volcán Antisana.

---

<sup>5</sup> BRITO S., SOSA J., WOLFF F. (1992); —Reubicación de las nuevas canteras en el área de Quito

Para la importancia económica de una ocurrencia es decisiva la posición y distancia del yacimiento hacia el centro del consumo. Debido a la sensibilidad por los costos del transporte de las materias primas que se utilizan en grandes cantidades, los yacimientos lejanos del mercado casi no tienen un significado económico importante. Así en áridos para el hormigón y la construcción vial. Una distancia de hasta 20 km desde el depósito es óptima, hasta 50 km es aceptable y hasta 100 km es una distancia máxima.

La cantidad de material disponible es otro factor determinante que define el valor del mismo. El cálculo de la reservas es indispensable antes de la explotación de una cantera. Los requerimientos de la calidad de los áridos son fijados mediante las normas INEN o por requerimientos básicos del MTOP.

Sin embargo, en el mercado de los materiales de construcción, no existen áridos que concuerden con las normas en todos sus puntos. Esto depende del inexistente control estatal de calidad y de la poca conciencia desarrollada por el consumidor en cuanto a la calidad. Una materia prima con bajo precio debe tener bajo costo de explotación.

En arenas y grabas de río, el factor de mayor costo se refiere al espesor de la cobertura de material inutilizable para el consumo. La relación escombros/grabas y arenas que todavía pueda ser aceptada como explotación económica, depende de numerosos factores y se lo debe determinar para cada yacimiento.

Como regla general puede valer, que la explotación ya no sea rentable en una relación mayor a 1:2 otros factores de costos son la parte de granos pequeños que debe ser lavado y la parte de granos grandes que debe ser triturado, para que se dé un óptimo rendimiento al yacimiento.

Para el desarrollo del presente proyecto de tesis se ha escogido material pétreo de las canteras de San Antonio y Guayllabamba, las mismas que de acuerdo a los resultados obtenidos en la tesis *“Diseño Y Evaluación de Micropavimentos con Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros, para Agregados de Canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el Distrito Metropolitano de Quito”*, han presentado las mejores características para el diseño de micropavimentos.

El deterioro de la calidad del aire dentro del perímetro urbano del Distrito Metropolitano de Quito, de acuerdo a los resultados de diferentes encuestas realizadas de percepción ciudadana, es el principal problema ambiental de la ciudad. Mediante los controles realizados por parte de la Secretaría del Ambiente en el sector minero ubicado en San Antonio de Pichincha, se determino que el polvo emanado del proceso de explotación minera, contribuía de gran manera a la contaminación del aire. En Quito el promedio de material particulado es de 0,8 microgramos/cm<sup>2</sup> mientras que en San Antonio es de 3,2 microgramos/cm<sup>2</sup>.

A su vez, la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) realizó el análisis técnico del estado de las canteras en donde se destacan puntos críticos como: falta de planos de perfiles topográficos, las reservas minerales no se encuentran actualizadas, falta de capacitación al personal técnico y administrativo, no afiliación del personal al IESS y la ausencia de permisos por parte del Ministerio de Ambiente.

La Secretaria de Ambiente motivada por estas irregularidades por parte del sector minero, opto por el cierre indefinido de las mismas hasta que se cumplan con los requisitos establecidos en la Ley de Minería.<sup>6</sup>

Para ejecutar una actividad minera se requiere de manera obligatoria documentos habilitantes otorgados por las siguientes autoridades e instituciones:

- a) En todos los casos, se requiere la aprobación del Estudio de Impacto Ambiental y el informe sobre la afectación a áreas protegidas por parte del Ministerio del Ambiente.
- b) Del Concejo Municipal, dentro de zonas urbanas y de acuerdo con el ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo económico social cantonal.

---

<sup>6</sup>Ley de Minería, Capítulo VI, Artículo 26.- Actos Administrativos Previos

- c) Del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con relación a edificios, caminos públicos, ferrocarriles, a los consejos provinciales en el caso de vías de tercer orden.
- d) De la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones con relación a estaciones de radiocomunicaciones, antenas e instalaciones de telecomunicaciones.
- e) Del Ministerio de Defensa, dentro de áreas o recintos militares o en sus terrenos adyacentes, de lugares destinados a depósitos de materiales explosivos o inflamables, en zonas que se encuentren en los límites y fronteras oficiales del país y en puertos habilitados, playas de mar y fondos marinos.
- f) De la autoridad única del Agua en todo cuerpo de agua, como lagos, lagunas, ríos o embalses o en las áreas contiguas a las destinadas para la captación de agua para consumo humano o riego, de conformidad con la ley que regula los recursos hídricos. En el referido acto administrativo se estará a lo determinado en la Constitución de la República del Ecuador en cuanto al orden de prelación sobre el Derecho al acceso al Agua.
- g) De la Dirección Nacional de Hidrocarburos con relación a oleoductos, gasoductos y poliductos, refinerías y demás instalaciones petroleras.
- h) De la Dirección de Aviación Civil, con relación a aeropuertos o aeródromos o en sus terrenos adyacentes.

- i) Del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables en áreas en las cuales existan centrales eléctricas, de las torres y líneas de tendidos del sistema nacional interconectado.
- j) Obligatoriamente del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural en la zona de prospección minera que pueda tener vestigios arqueológicos o de patrimonio natural y cultural.

Por otro lado, la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente (DMMA) establece en su Ordenanza Municipal No 213, Sección IV “Del Estudio de Impacto Ambiental” los parámetros para la obtención de la Licencia Ambiental, para lo cual se deberá elaborar los TsR (Términos de Referencia) y el EsIA (Estudio de Impacto Ambiental).<sup>7</sup>

El contenido que se deberá incluir en los Términos de Referencia son los siguientes:

- ✓ Introducción y objetivos.
- ✓ Características del proyecto (construcción, operación, mantenimiento cierre y abandono).
- ✓ Caracterización del área de estudio.
- ✓ Definición de área de influencia.

---

<sup>7</sup>Ordenanza Municipal No 213, Sección IV “Del Estudio de Impacto Ambiental”

- ✓ Metodologías para identificación y evaluación de impactos, para análisis del riesgo ambiental, y para la evaluación de riesgos naturales que afecten la viabilidad del proyecto.
- ✓ Propuesta del Plan de Manejo Ambiental.
- ✓ Equipo de profesionales.
- ✓ Criterios para definir la información de carácter reservado.
- ✓ Plan de Participación para la elaboración del EsIA, en este plan deberá incluir como mínimo un taller de presentación del EsIA con los actores involucrados.
- ✓ Cronograma de ejecución del EsIA.

Una vez presentado y aprobado los Términos de Referencia por parte del DMMA, se procede a la presentación de los Estudios de Impacto Ambiental, los cuales constan de lo siguiente:

a) Ficha Técnica que conste de:

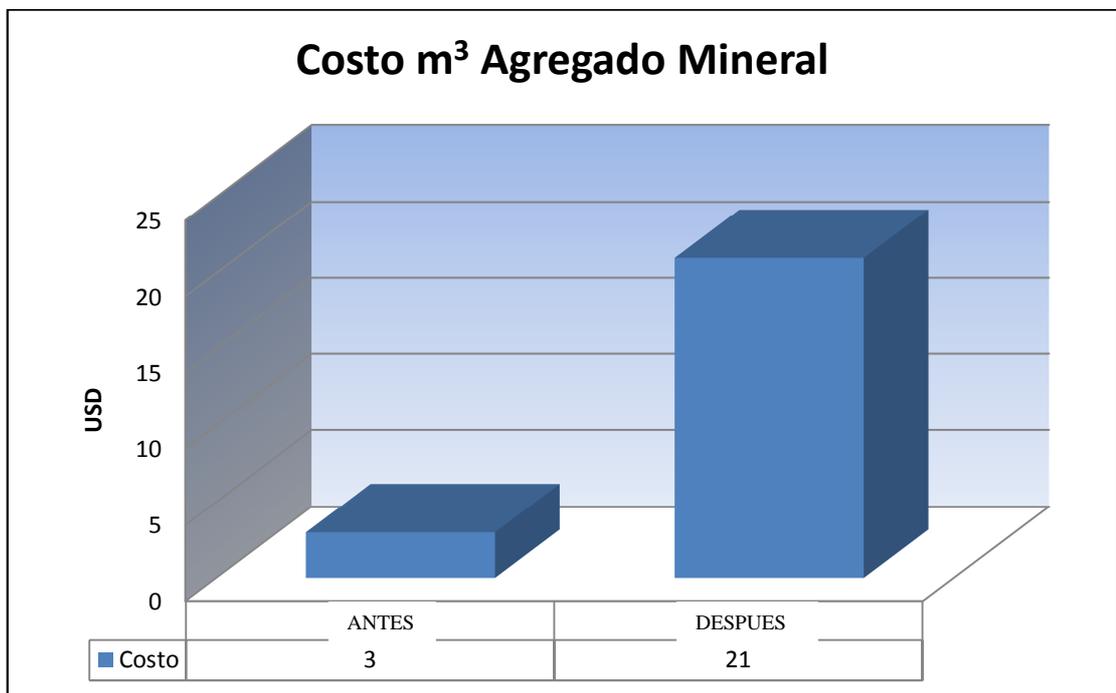
- Nombre del proyecto.
- Proponente.
- Representante legal.
- Dirección o domicilio, teléfono, fax, correo electrónico.
- Nombre del consultor o compañía consultora ambiental.
- Número de Registro del Consultor Ambiental de la DMMA.
- Composición del equipo técnico.

- b) Introducción.
- c) Diagnóstico ambiental- (línea base).
- d) Descripción de las actividades del proyecto.
- e) Descripción de Riesgos: Descripción de los riesgos naturales y otros riesgos potenciales derivados de las actividades mismas del establecimiento (explosión, incendio, derrames, fugas, etc.), dentro del área de influencia.
- f) Identificación y Evaluación de Impactos.
- g) Plan de Manejo Ambiental que contenga lo siguiente:
  - Plan de Prevención y Mitigación de Impactos: comprende acciones tendientes a minimizar los impactos identificados.
  - Plan de Contingencia y Emergencia: comprende el detalle de acciones para enfrentar cualquier evento fortuito.
  - Plan de Capacitación: programa de capacitación sobre las actividades desarrolladas, así como también la aplicación del plan de manejo.
  - Plan de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial: comprende las normas establecidas por la empresa para preservar la salud y seguridad de sus trabajadores.
  - Plan de Manejo de Desechos: comprende las medidas para prevenir, tratar, reciclar, reusar, reutilizar y disposición final de los diferentes residuos (sólidos, líquidos y gaseosos).

- Plan de Relaciones Comunitarias: programa de actividades a ser desarrollado con las comunidades del área de influencia del proyecto, incluyendo medidas de difusión del estudio de auditoria ambiental inicial, estrategias de información a la comunidad, planes de indemnización, programa de educación ambiental, resolución de conflictos, etc.
- Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas: comprende medidas y estrategias a aplicarse para rehabilitar áreas afectadas.
- Plan de Cierre y Abandono: comprende el diseño de actividades a cumplirse una vez que se culminen las actividades desarrolladas por el establecimiento, para el caso en que el uso del suelo sea condicionado.
- Plan de Monitoreo: se establecerán los sistemas de seguimiento, evaluación y monitoreo ambiental y de las relaciones comunitarias.
- Participación ciudadana: Adjuntar documentos que evidencien que el EsIA ha sido puesto en conocimiento de la población del área de influencia, así como observaciones al plan de manejo, actas y acuerdos con la comunidad, documentación que debe ser original o en copias notarizadas
- Cronograma de ejecución del proyecto y declaración juramentada del cronograma del plan de manejo anual valorado, y presupuesto del costo del proyecto.

- Carta de compromiso suscrita por el proponente, que manifiesta su compromiso de cumplimiento del plan de manejo ambiental propuesto en la EIA.
- Indicadores de cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental, que permitan verificar el cumplimiento de los compromisos asumidos en materia de prevención, mitigación y compensación de impactos.

El cierre de las canteras ha generado conmoción en el sector de la construcción, debido al elevado incremento del costo de materiales básicos como el ripio y la arena.



Cuadro 2.1: Costo del Agregado Pétreo

A pesar del gran número de requerimientos que exige la Dirección de Ambiente y otras instituciones competentes, se ha procedido a la reapertura de las canteras tomando en cuenta que no se han cumplido en su totalidad los parámetros exigidos, esta medida se tomo debido a la alta demanda de agregados en el sector de la construcción y los esfuerzos por parte de los concesionarios mineros por dar cumplimiento a la normativa ambiental. Todas estas consideraciones motivan la realización del presente trabajo.

### 2.7.1 Cantera de Guayllabamba.

Se ubica  $0^{\circ}04'05.74''$  S;  $78^{\circ}22'24.48''$  O a los costados del cauce del Rio Guayllabamba, al Este de San Antonio de Pichincha junto a la vía Calderón – Guayllabamba.



Figura 2.4: Cantera de Guayllabamba.

#### **Geología:**

El afloramiento relacionado a la formación Macuchi el cual se extiende por algunos kilómetros a los costados del Rio Guayllabamba. Tiene una sobrecarga de material piroclástico y depósitos lagunares. El afloramiento del Guayllabamba 37 presenta la roca como volcánica maciza y potente, intercalados con delgadas capas de lutitas.

### 2.7.2 Cantera de San Antonio.

Ubicado a  $0^{\circ}00'25.99''$  N;  $78^{\circ}28'20.62''$  O, 6 Km al Noroeste de San Antonio de Pichincha en el borde Sureste del cráter Pululahua. El yacimiento está muy bien desarrollado infraestructuralmente. Está conectado con la carretera asfaltada San Antonio de Pichincha – Calacalí.



Figura 2.5: Cantera de San Antonio

### Geología:

El domo forma el borde Sureste del cráter Pululahua y cubre una área de aproximadamente  $4 \text{ Km}^2$ . En el costado Sur hay piroclastos de la formación 43 Cangagua y en el noroeste y este, brechas comagmáticas limitan el yacimiento.

# **CAPITULO III**

## **ENSAYOS EN LOS AGREGADOS**

## CAPÍTULO III: CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

### 3.1 Agregados.

Los agregados minerales utilizados serán del tipo y gradación especificada y de uso exclusivo para Micropavimentos. Representan entre el 82% y 90% del peso total. El agregado será proveniente de roca triturada como granito, escoria, piedra caliza u otros agregados de alta calidad, o la combinación de ellas. Además, deben ser limpios, duros y libres de cualquier agente químico, u arcillas y otras materias que pueden afectar su adherencia, mezclado y colocación. Para asegurar que el material es totalmente triturado, el 100% de la matriz del agregado será más grande que la piedra más grande en la gradación usada.



Figura 3.1: Material Pétreo para Micropavimento

### 3.1.1 Gradación.

La gradación del agregado para la mezcla debe estar dentro de alguno de los siguientes rangos.

	TIPO II	TIPO III	
<i>Tamaño del Tamiz</i>	<i>Porcentaje Pasante</i>	<i>Porcentaje Pasante</i>	<i>Tolerancia</i>
3/8 (9.5 mm)	100	100	
N°4 (4.75 mm)	90 - 100	70 - 90	± 5%
N°8 (2.36 mm)	65 - 90	45 - 70	± 5%
N°16 (1.18 mm)	45 - 70	28 - 50	± 5%
N°30 (600 µm)	30 - 50	19 - 34	± 5%
N°50 (330 µm)	18 - 30	12-25	± 4%
N°100 (150 µm)	10 – 21	7 – 18	± 3%
N°200 (75 µm)	5-15	5-15	± 2%

Tabla 3.1: Gradación del material pétreo para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143).

El agregado será aceptado si luego de efectuarse cinco pruebas de granulometría, el promedio se encuentra dentro de la tolerancia que indica la tabla 3.1. Caso contrario, el encargado del proyecto deberá eliminar el material o, a su vez, mezclar con un nuevo material de tal manera que este en conformidad con la norma. Esta nueva combinación de agregados requiere de un nuevo diseño de la mezcla.

## **TIPO II**

Este tipo de gradación en los agregados es usada para rellenar vacíos en la superficie de la vía, para realizar sellos de fisuras y proveer una superficie duradera ante el desgaste.

## **TIPO III**

Este tipo de gradación en los agregados es utilizado para proporcionar máxima resistencia al deslizamiento y mejora la superficie ante el desgaste. Además, es recomendado para pavimentos de alto tráfico.

<b>TIPO DE AGREGADO</b>	<b>UBICACION</b>
<i>TIPO II</i>	Vías Urbanas, Residenciales y Pistas de Aeropuerto
<i>TIPO III</i>	Vías Principales e Interprovinciales

Tabla 3.2: Tipo de gradación para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

Los materiales pétreos utilizados en la mezcla deben cumplir con especificaciones técnicas que garanticen su calidad, y le permitan formar una gradación consistente.

<b>ENSAYO</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>			<b>ESPECIFICACION</b>
	<b>ASTM</b>	<b>AASTHO</b>	<b>ISSA</b>	
Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	D 2419	T 176		> 65
Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	C 131	T 96		30 % máximo
Azul de Metileno de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas			TB - 145	< 10

Tabla 3.3: Ensayos en los agregados para Micropavimentos (Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing ISSA A-143)

## **3.2 Muestreo de Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM D 75 - 03.**

### **3.2.1 Objetivo.**

Obtener una muestra representativa del volumen de material pétreo en estudio. Se lo realiza directamente en los bancos de explotación, centros de acopio y en el momento de cargar y descargar el mismo. Además incluye operaciones de identificación, almacenaje y transporte.

### **3.2.2. Obtención de Muestras.**

La muestra deberá ser representativa, capaz de satisfacer los requerimientos de cada ensayo a realizarse, el muestreo debe ser realizado y obtenido del producto final. La muestra obtenida del producto final para ensayos de desgaste, no deberá ser sometida a aplastamiento o reducción manual del tamaño de las partículas.

### 3.2.2.1 Muestreo desde la banda de transporte o acarreo.

- La selección de unidades se la realiza con un método al azar, tal como la norma ASTM D3665, desde la producción. Obteniendo al menos tres incrementos aproximadamente iguales, se selecciona al azar desde la unidad muestreada, y combina para formar una muestra de campo cuyas masas sean iguales o excedan al mínimo recomendado.
- Se debe parar a la banda de transporte o acarreo mientras los incrementos de las muestras son obtenidos. Insertar dos plantillas en la banda de tal forma que el chorro de agregado y el espacio de material contenido entre las plantillas, produzcan el incremento de peso requerido. Toda la mezcla incluyendo finos y polvo, debe ser removida al recipiente.



Figura 3.2: Muestreo desde la banda de transporte o acarreo.

### **3.2.2.2 Muestreo desde el Lugar de Almacenaje.**

- Se debe evitar muestrear agregado grueso o mezcla de agregado grueso y fino desde el almacenaje o unidades de transportación de ser posible, particularmente cuando el muestreo es hecho con el propósito de determinar las propiedades del agregado que pueden ser dependientes en la clasificación de la muestra.

Si las circunstancias necesariamente generan esto, obtener muestras desde un almacenaje de agregado grueso o un almacenaje de agregado grueso y fino combinado. Diseñar un plan de muestreo para el caso específico bajo estas consideraciones.

- Para tomar las muestras de la pila de agregado grueso, es necesario tomar tres incrementos, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo de la pila. En caso de tomarse muestras de agregado fino es necesario tomar la muestra que se encuentra bajo el material segregado, por lo que se introducen tubos de 30mm. de diámetro por 2 m. de longitud, los tubos se ingresan en lugares aleatorios, y se deben tomar al menos cinco incrementos.
- Para muestrear las unidades de transportación es necesario cavar trincheras a lo largo de las unidades de transportación de 0,3 m. de espesor y de profundidad bajo la superficie, se deben tomar al menos 3 incrementos a lo largo de la trinchera.

### **3.3 Ensayo Granulométrico de Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM C 136.**

#### **3.3.1 Objetivo.**

Determinar la distribución del tamaño de las partículas del material pétreo, mediante su paso por un juego de tamices con aberturas determinadas. La gradación deberá estar dentro de los rangos de acuerdo al tipo de micropavimento deseado, y una vez tamizado, el porcentaje de cada tamiz no debe variar más del rango de tolerancia y aún así seguir dentro del rango de gradación.

#### **3.3.2 Procedimiento.**

- Si la muestra de material pétreo recibida en laboratorio está saturada, se debe extender en una superficie limpia para permitir que escurra el agua y se seque.
- Se realizan cuarteos sucesivos hasta reducir la muestra a un volumen de  $10 \text{ dm}^3$ .



Figura 3.3: Cuarteo del agregado (Norma ASTM C 702)

- De este volumen de material pétreo, se debe separar el agregado grueso del material fino, pasándolo poco a poco y cuidadosamente por el tamiz # 4. Utilice una brocha para remover las partículas finas adheridas a la malla y las paredes. Coloque en bandejas separadas el material grueso y el material fino.



Figura 3.4: Agregado Grueso y Fino

- Antes de someter las muestras a cribado, deben ser secadas en el horno a una temperatura de 110°C hasta que alcancen peso constante.
- Una vez listo el juego de tamices conforme a lo establecido en la tabla 3.4, se procede a depositar la muestra de grava o de arena, según sea el caso, para finalmente colocar la tapa superior.

<b>Designación</b>	<b>Apertura del Tamiz (mm)</b>
3/8"	9,5
No 4	4,75
No 8	2,36
No 16	1,18
No 30	0,6
No 50	0,3
No 100	0,15
No 200	0,075

Tabla 3.4: Juego de Tamices

- Se coloca el juego de tamices, debidamente ajustado, en el agitador mecánico durante un tiempo suficiente, de acuerdo a la experiencia o considerando que después de 1 minuto de cribado extra, no debe pasar más del 1% del peso del material retenido; caso contrario se considera inválida la prueba.



Figura 3.5: Máquina Tamizadora

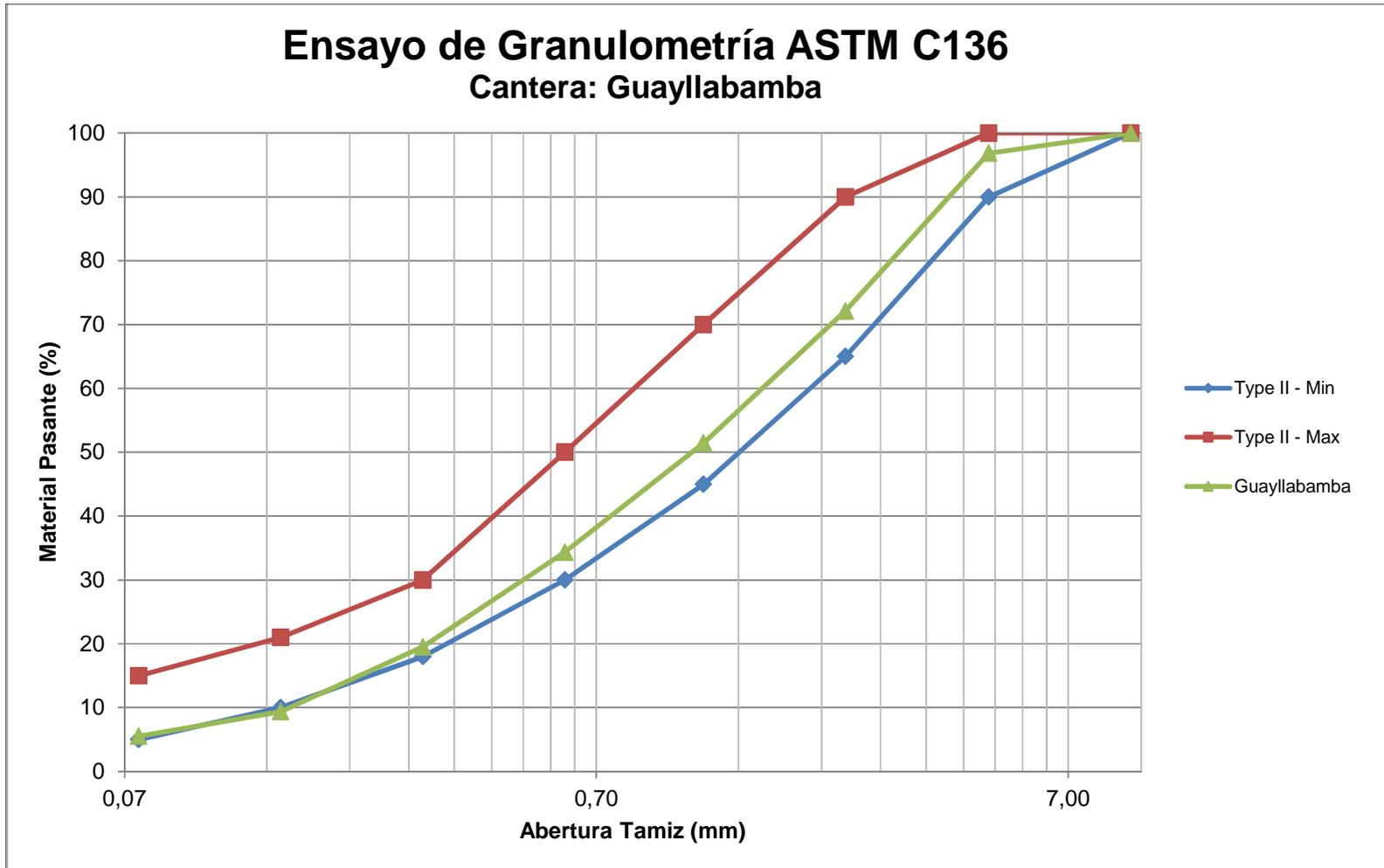
- Finalmente, se determina y registra el peso del material retenido en cada tamiz, vertiendo su contenido sobre la balanza. Tenga en cuenta, que las partículas atrapadas en la malla forman parte del contenido retenido, razón por la cual deben ser reintegradas.

### 3.3.3 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

		<i>Material</i>			<i>Especificaciones ISSA</i>	
		<i>Retenido Acumulado</i>	<i>Pasante</i>			
<i>Tamiz</i>	<i>(mm)</i>	<i>(gr)</i>	<i>(%)</i>	<i>(%)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	52,581	3,16	96,84	90	100
N°8	2,36	463,9575	27,85	72,15	65	90
N°16	1,18	808,352	48,53	51,47	45	70
N°30	0,60	1093,4588	65,65	34,35	30	50
N°50	0,30	1340,6745	80,49	19,51	18	30
N°100	0,15	1509,299	90,61	9,39	10	21
N°200	0,075	1573,623	94,47	5,53	5	15
		1665,672	100,00			

Tabla 3.5: Granulometría Guayllabamba (Norma ASTM C 136).

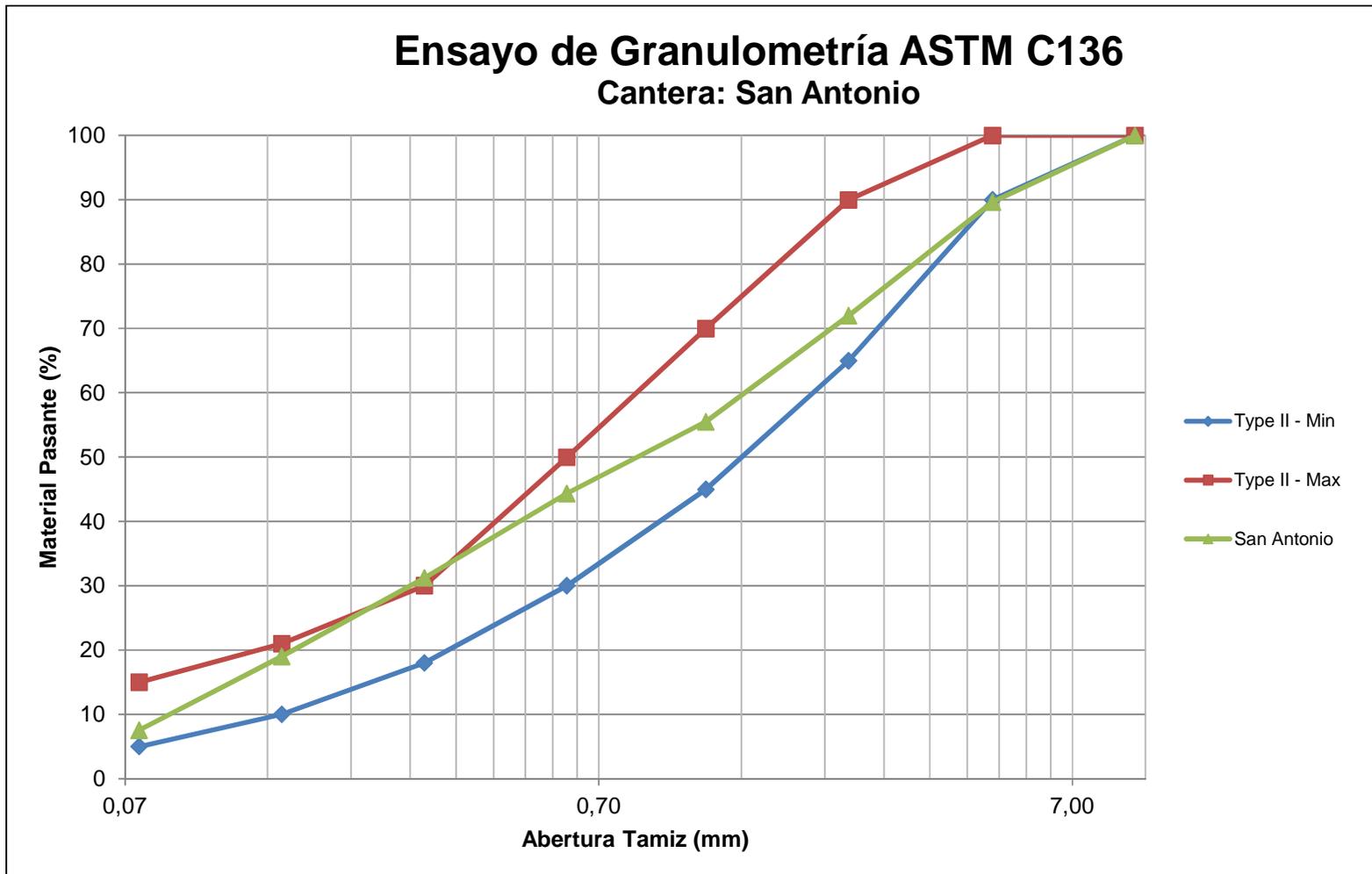


Cuadro 3.1: Granulometría Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio**

		<i>Material</i>			<i>Especificaciones ISSA</i>	
		<i>Retenido Acumulado</i>		<i>Pasante</i>		
<b>Tamiz</b>	<b>(mm)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	223,2255	10,34	89,66	90	100
N°8	2,36	604,775	28,00	72,00	65	90
N°16	1,18	960,7775	44,49	55,51	45	70
N°30	0,60	1201,831	55,65	44,35	30	50
N°50	0,30	1485,8065	68,80	31,20	18	30
N°100	0,15	1749,2185	81,00	19,00	10	21
N°200	0,075	1996,693	92,46	7,54	5	15
		2159,557	100,00			

Tabla 3.6: Granulometría San Antonio (Norma ASTM C 136)



Cuadro 3.2: Granulometría San Antonio

### **3.4 Práctica Normalizada para clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) ASTM D 2487 – 02.**

#### **3.4.1 Objetivo.**

Esta práctica describe un sistema para clasificar suelos minerales y orgánico-minerales para propósitos de ingeniería basados en la determinación de las características de las partículas, límite líquido e índice de plasticidad.

Este sistema de clasificación identifica tres grupos principales de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos. Estas divisiones son posteriormente subdivididas en un total de 15 grupos básicos de suelos.

#### **3.4.2 Procedimiento Preliminar de Clasificación.**

- Clasifique el suelo como de grano grueso si más del 50 % por peso seco del espécimen de ensayo es retenido en el tamiz No. 200.

#### **3.4.3 Procedimiento para Clasificación de Suelos de Grano Grueso.**

- Clasifique el suelo como arena si el 50 % o más de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4

- Si menos del 5 % del espécimen de ensayo pasa por el tamiz No. 200, grafique la distribución de partículas acumulativas, y calcule el coeficiente de uniformidad  $C_u$  y coeficiente de curvatura  $C_c$  como se da en las ecuaciones.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{50} * D_{10})}$$

Donde:

$D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$  = diámetros de partículas correspondientes a 10%, 30% y 60 %, respectivamente, que pasa sobre la curva de distribución del tamaño de la partícula acumulada.

- Si 5 al 12 % de la muestra de ensayo pasa el tamiz No. 200, de da una clasificación dual utilizando símbolos de dos grupos.

### 3.4.4 Resultados de los Ensayos.

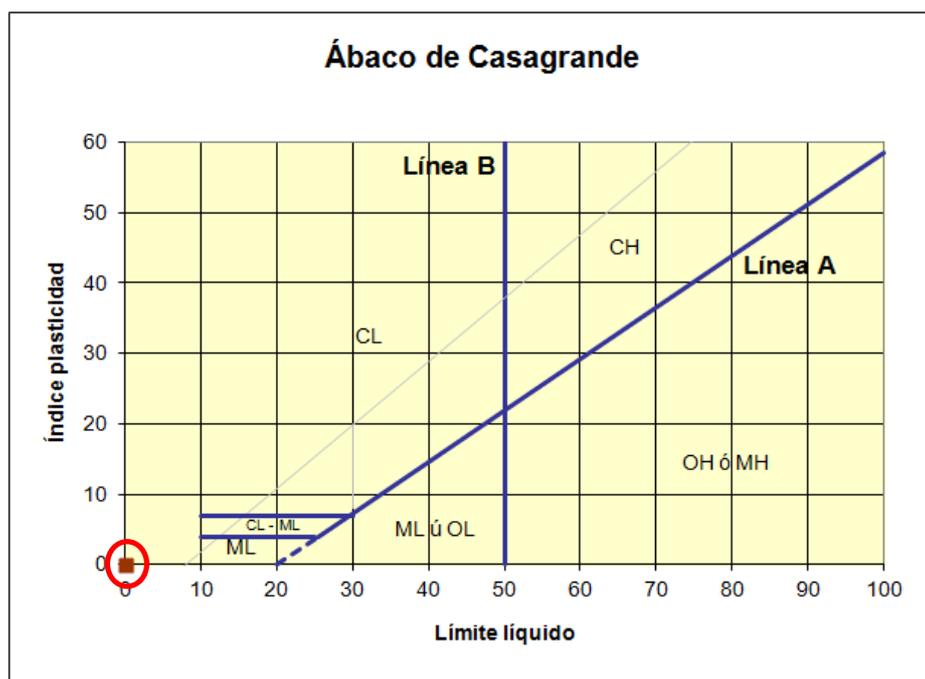
- **Cantera de Guayllabamba.**

Pasa tamiz N° 4 (5mm):	96,84	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	5,53	%
D60:	2,00	mm
D30:	0,57	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,18	mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	11,43	
Grado de curvatura (Cc):	0,93	

Límite líquido LL	0,00	%
Límite plástico LP	0,00	%
Índice plasticidad IP	0,00	%

Tabla 3.7: Clasificación SUCS para el agregado de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.

<b>Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (S.U.C.S.)</b>
Suelo de partículas gruesas. ( Nomenclatura con símbolo doble). <i>Arena mal graduada con limo SP SM</i>



Cuadro 3.3: Clasificación SUCS para el agregado de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.

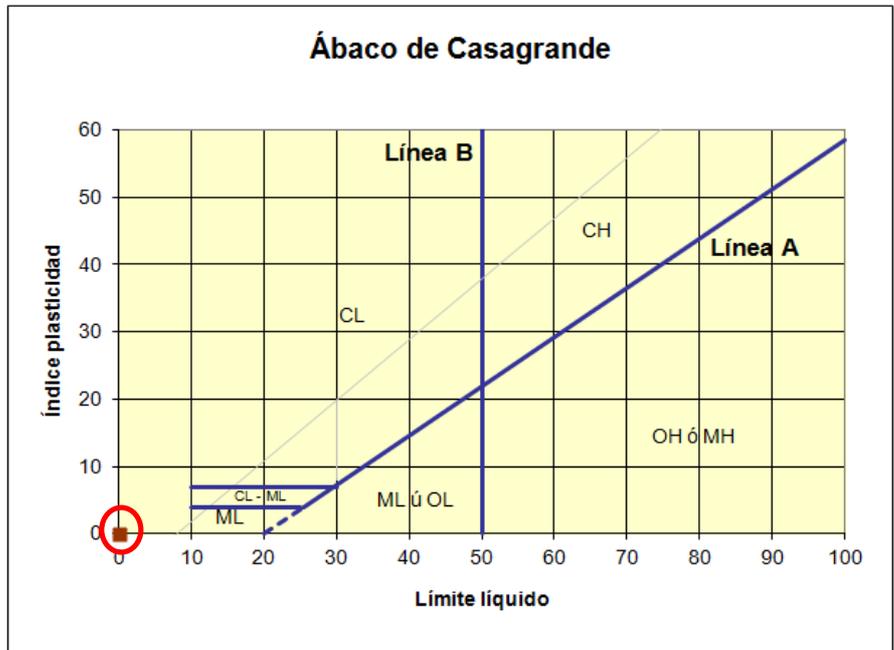
- **Cantera de San Antonio**

Pasa tamiz N° 4 (5mm):	89,66	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	7,54	%
D60:	2,00	mm
D30:	0,32	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,10	mm
Coeficiente de uniformidad (Cu):	20,58	
Grado de curvatura (Cc):	0,52	

Límite líquido LL	0,00	%
Límite plástico LP	0,00	%
Índice plasticidad IP	0,00	%

Tabla 3.8: Clasificación SUCS para el agregado de San Antonio empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.

**Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (S.U.C.S.)**  
 Suelo de partículas gruesas.( Nomenclatura con símbolo doble).  
*Arena mal graduada con limo SP SM*



Cuadro 3.4: Clasificación SUCS para el agregado de San Antonio empleando la Norma ASTM D 2487 – 02.

### **3.5 Ensayo de Equivalente de Arena para los Materiales Pétreos de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ASTM D 2419 - 02.**

#### **3.5.1 Objetivo.**

Determinar el contenido de materiales arcillosos o finos plásticos que está presente en una muestra de material pétreo que pasa el tamiz #4.

#### **3.5.2 Preparación de la Muestra.**

- Mediante cuarteos sucesivos, se selecciona una cantidad de aproximadamente 2 kg de material pétreo. Si la muestra original está seca, se debe humedecer un poco de tal manera que se evite la pérdida de material fino durante el cribado.
- Se pasa el material por el tamiz #4, teniendo en cuenta que no debe quedar partículas finas adheridas en la malla. El material retenido se descarta.



Figura 3.6: Equipo necesario para ensayo de equivalente de arena

- Se coloca este material en una cápsula de medidas estandarizadas hasta enrasar su superficie, conteniendo aproximadamente 110 g de material pétreo.

### 3.5.3 Preparación del Equipo.

- Se coloca la botella con el equipo sifón de tal manera que la salida del líquido se encuentre a 92 cm por encima de la superficie de trabajo, uniendo con una manguera de hule, la botella y la probeta.



Figura 3.7: Equipo Sifón

#### **3.5.4 Procedimiento.**

- Por medio del sifón, se sopla dentro de la botella para permitir el paso de la solución de trabajo hacia el tubo irrigador, llenando el cilindro hasta una altura de 10 cm.
- Se vierte la cápsula de material pétreo dentro del cilindro con la ayuda de un embudo, durante el proceso golpee con firmeza el fondo del cilindro para eliminar la presencia de burbujas de aire.



Figura 3.8: Cápsula de agregado pasante del tamiz N<sup>o</sup>4.

- Se deja en reposo la muestra durante 10 minutos, cierre el cilindro con un tapón y a continuación agite vigorosamente el cilindro de un lado hacia el otro en posición horizontal, teniendo en cuenta que debe contabilizarse 90 ciclos en un periodo de 30 segundos, y desplazando la muestra una distancia de 20 cm.



Figura 3.9: Agitación de la muestra.

- Una vez terminada la agitación, se coloca el cilindro sobre la superficie de trabajo, se retira el tapón e inmediatamente se introduce el tubo irrigador para lavar las paredes del cilindro de arriba hasta abajo y concluir en el fondo. Mantenga una irrigación uniforme durante el proceso haciendo girar el tubo irrigador constantemente. Cuando el nivel del líquido ha llegado a 38,1 cm, retire inmediatamente el tubo irrigador.



Figura 3.10: Irrigación de la probeta.

- Se deja reposar el cilindro durante 20 minutos, evitando vibraciones o movimientos de cualquier tipo.
- Transcurrido este tiempo, la arena se ha sedimentado y los finos se mantienen en suspensión. Así, mida y registre como  $LNS_{finos}$  (Nivel superior de los finos), el nivel superior de finos en suspensión. Tenga la precaución de realizar esta medición en completas condiciones de iluminación, para tener una medida más efectiva.



Figura 3.11: Sedimentación de la Arena y Suspensión de los finos.

- Se introduce lenta y cuidadosamente la varilla con apisonador, hasta que llegue al nivel de la arena. El nivel que marca el indicador dentro del cilindro, se debe restar 254mm aproximadamente, y a este valor se lo registra como el nivel superior de la arena  $LNS_{arena}$  (Nivel superior de la arena).
- Finalmente, se limpia el cilindro volviéndolo a agitar en posición vertical, se voltea y se permite su vaciado inmediatamente.

### 3.5.5 Cálculos.

- Utilice la siguiente expresión para reportar el equivalente de arena:

$$\%EA = \left( \frac{LNS_{arena}}{LNS_{finos}} \right) * 100$$

Donde:

$\%EA$ = Equivalente de arena, (%)

$LNS_{arena}$ =Nivel superior de la arena, (cm)

$LNS_{finos}$ =Nivel superior de los finos, (cm)

### 3.5.6 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

			Muestra N°	
			1	2
A	Lectura de Arena (cm)		13,70	13,60
$LNS_{finos}$	Lectura de Arcilla (cm)		4,50	4,50
$LNS_{arena}=A-10$	Nivel de Arena (cm)		3,70	3,60
$\%EA=\left(\frac{LNS_{arena}}{LNS_{finos}}\right)*100$	Equivalente de Arena (%)		82,22	80,00
	Equivalente de Arena (%)		82,00	80,00
$(N^{\circ}1 + N^{\circ}2)/2$	Equivalente de Arena Total (%)		81,00	>65 % SI CUMPLE

Tabla 3.9: Ensayo Equivalente de Arena ASTM D 2419-02 en el Agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio**

			Muestra N°	
			1	2
A	Lectura de Arena (cm)		14,20	14,00
$LNS_{finos}$	Lectura de Arcilla (cm)		4,60	4,70
$LNS_{arena}=A-10$	Nivel de Arena (cm)		4,20	4,00
$\%EA = \left(\frac{LNS_{arena}}{LNS_{finos}}\right) * 100$	Equivalente de Arena (%)		91,30	85,11
	Equivalente de Arena (%)		91,00	85,00
$(N^{\circ}1 + N^{\circ}2)/2$	Equivalente de Arena Total (%)		<b>88,00</b>	<b>&gt;65 % SI CUMPLE</b>

Tabla 3.10: Ensayo Equivalente de Arena ASTM D 2419-02 en el Agregado de San Antonio

### **3.6 Ensayo de Absorción de Azul de Metileno del Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 145.**

#### **3.6.1 Objetivo.**

Determinar, a través de los valores de reactividad de los materiales finos pasantes del tamiz #200 y contenidos dentro del material pétreo, las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica. La prueba consiste en añadir cantidades controladas de azul de metileno al material fino, hasta que éste ya no absorba más.

#### **3.6.2 Procedimiento.**

- Se toma una muestra representativa de material pétreo, la cual es colocada en el horno y se seca a una temperatura de 110°C, hasta que alcance masa constante.
- Una vez seco, se hace pasar el material pétreo por el tamiz #200, teniendo precaución de no sobrepasar su capacidad, se recolecta el material pasante, mientras que el retenido se descarta.



Figura 3.12: Material Fino pasante del tamiz #200.

- Después del proceso de tamizado, recoja una porción de prueba de 1g y colóquela en el vaso de precipitación. Se añade 30 mL de agua destilada y se coloca sobre el agitador magnético, e introduciendo la barra agitadora se inicia una rápida agitación.
- Se llena la bureta graduada con la solución de trabajo, la misma que se obtiene disolviendo 1 g de azul de metileno en 1000 g de agua destilada, hasta un nivel de 50 mL.

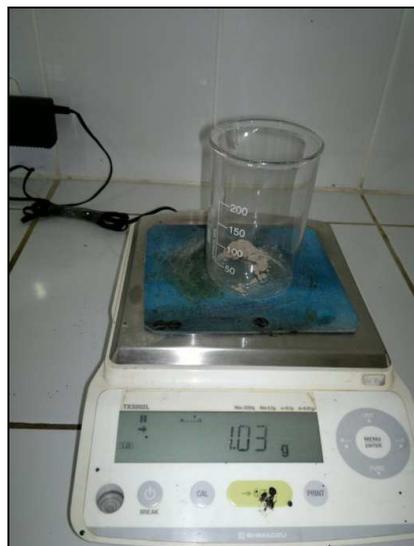


Figura 3.13: Agregado fino en la Solución de trabajo

- Una vez que se observe uniforme la suspensión de finos dentro del agua destilada, con la bureta se añade 1 mL de la solución de trabajo cada vez.
- Después de 1 minuto de cada adición de la solución de trabajo, introduzca la varilla de vidrio y con la punta obtenga una gota de la suspensión agitada, y colóquela sobre el papel filtro.
- Se observa si se ha formado un halo de color azul alrededor de la gota, caso contrario se sigue añadiendo solución de trabajo hasta que alcance esta condición. Una vez formado el halo azul, se continúa agitando por 4 minutos más, se toma una nueva gota y si se vuelve a formar el halo después de este tiempo, se registrará el contenido de la bureta como  $C_{sol}$  en mL.



Figura 3.14: Halo de color azul con diferentes dosificaciones de Azul de Metileno

### 3.6.3 Cálculos.

- Se utiliza la siguiente expresión para reportar el resultado de la prueba de Azul de Metileno:

$$AM = \frac{50 - C_{sol}}{W_f}$$

Donde:

AM= Azul de Metileno, (mg/g)

$C_{sol}$ = Cantidad de solución de trabajo en la bureta al terminar la prueba, (mL)

$W_f$ = Masa de la porción de prueba, (1g)

### 3.6.4 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

		Muestra	
<i>Csol</i>	Cant. De Sol. De Trabajo retenida en la Bureta al terminar el ensayo (mL)	46	
<i>Wf</i>	Masa de la Porción de Prueba (g)	1	
<i>AM</i>	Azul de Metileno (mg/g)	4	< 10 mg/g Si Cumple

Tabla 3.11: Ensayo de Azul de Metileno ISSA TB – 145 en el agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio.**

		Muestra	
<i>Csol</i>	Cant. de Sol. de Trabajo retenida en la Bureta al terminar el ensayo (mL)	38	
<i>Wf</i>	Masa de la Porción de Prueba (g)	1	
<i>AM</i>	Azul de Metileno (mg/g)	12	> 10 mg/g No Cumple

Tabla 3.12: Ensayo de Azul de Metileno ISSA TB – 145 en el agregado de San Antonio

En este caso al no cumplir con la Norma ISSA TB – 145, el agregado presenta una reactividad mayor a la permisible, por lo consiguiente para realizar un micropavimento se tendrá que utilizar una mayor cantidad de emulsión, para controlar su tiempo de rotura.

### **3.7 Ensayo de Plasticidad en el material pétreo de las canteras de Guayllabamba y San Antonio con la Norma ASTM D 4318 - 05.**

#### **3.7.1 Objetivo.**

Determinar en laboratorio del límite plástico de un material pétreo. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de material pétreo de unos 3,2 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barritas se desmoronen.

#### **3.7.2 Procedimiento.**

- Se toma aproximadamente 20 g de la muestra de material pétreo pasante del tamiz #40. Se coloca agua destilada hasta formar fácilmente una esfera con el material pétreo.
- De dicha esfera se toma una porción de 2 g para formar los cilindros.
- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con una presión tal que se formen los cilindros.
- Si el cilindro no se ha desmoronado hasta alcanzar un diámetro de 3,2 mm, se repite el proceso cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone con dicho diámetro.



Figura 3.15: Formación del Cilindro

- Tenga en cuenta que en suelos muy plásticos, el cilindro se divide en trozos de 6 mm de longitud. Mientras tanto, en suelos plásticos se forma trozos más pequeños.
- La porción obtenida se coloca en un recipiente previamente tarado, y se continúa el proceso hasta reunir 6 g de material pétreo, y finalmente se determina su contenido de humedad.
- Se repite el mismo procedimiento con la mitad restante de la muestra.

### 3.7.3 Cálculos.

El límite plástico es el promedio de las humedades de las dos muestras determinadas. Se expresa en porcentaje.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del Suelo Seco}} \times 100$$

### 3.7.4 Resultados de los Ensayos.



Figura 3.16: Material No Plástico

- **Cantera de Guayllabamba.**

Al no poder formar cilindros de 3,2mm de diámetro, se determino que el agregado pétreo de Guayllabamba es un material *NO PLASTICO*.

- **Cantera de San Antonio.**

Al no poder formar cilindros de 3,2mm de diámetro, se determino que el agregado pétreo de San Antonio es un material *NO PLASTICO*.

### **3.8 Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio con la NORMA AASHTO T 96 – 02.**

#### **3.8.1 Objetivo.**

Determinar la resistencia a la fragmentación del árido grueso, midiendo la pérdida de masa que sufre un árido al estar sometido a un proceso continuo de desgaste. La prueba consiste en colocar una muestra de material pétreo con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, donde el material es sometido al impacto de esferas de acero durante un tiempo determinado. El ensayo se lo realiza en la Máquina de los Ángeles.

#### **3.8.2 Procedimiento.**

- Mediante cuarteos sucesivos, se obtiene una muestra de aproximadamente 40 kg de material pétreo. Se limpia la muestra con un chorro de agua para eliminar los finos adheridos, y luego se coloca en el horno a una temperatura de 110°C hasta masa constante.
- Una vez seco el material, se procede a tamizarlo de acuerdo al juego de mallas establecido en la tabla 3.13, de esta forma se obtiene su granulometría. Todo el material retenido en la malla #10 se desecha.

Designación	Apertura del Tamiz (mm)
3/8"	9,5
No 4	4,75
No 8	2,36
No 16	1,18
No 30	0,6
No 50	0,3
No 100	0,15
No 200	0,075

Tabla 3.13: Juego de Tamices

- De acuerdo a la Tabla 3.14 se escoge el tipo de composición que mejor se asemeja a la granulometría de nuestra muestra. Y se coloca las proporciones respectivas de acuerdo a las indicadas en la tabla 3.14.



Figura 3.17: Agregado Tamizado

Tamaño del Tamiz		Peso de las Muestras (g)			
Pasa	Retenido	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
37,5 mm (1½")	25 mm (1")	1250 ± 25			
25 mm (1")	19 mm (¾")	1250 ± 25			
19 mm (¾")	12,5 mm (½")	1250 ± 25	2500 ± 10		
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 25	2500 ± 10		
9,5 mm (3/8")	6,3mm (¼")			2500 ± 10	
6,3mm (¼")	4,75 mm (No 4)			2500 ± 10	
4,75 mm (No 4)	2,36 mm (No 8)				5000 ± 10
<b>TOTAL</b>		<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>

Tabla 3.14: Gradación de las Muestras de Ensayo

- Se registra el peso de la muestra con una aproximación de 1 g y se introduce en la Máquina de los Ángeles. De igual manera se introduce el número de esferas que la tabla 3.15 expresa de acuerdo al tipo de combinación. A continuación, haga funcionar la máquina con una velocidad angular de 30 a 33 rpm, durante 500 revoluciones.

Tipo de Composición	No de Esferas	Carga Aplicada (g)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 3.15: Carga de acuerdo al Tipo de Composición

- Se retira la muestra ensayada de la maquina y se coloca en una bandeja. Haga pasar todo el material por el tamiz #12, desechando todo el material menor a 1,7mm. Mediante un chorro de agua lave el material retenido, para continuación ser secado en el horno a una temperatura de 110°C hasta masa constante.



Figura 3.18: Máquina de los Ángeles

- Finalmente, deje enfriar la muestra a temperatura ambiente y registre su masa con una aproximación de 0,1 g.



Figura 3.19: Agregado y Carga Abrasiva

### 3.8.3 Cálculos.

$$P_a = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

$P_a$ = Desgaste por trituración, (%)

$P_i$ = Masa inicial de la muestra de prueba, (g)

$P_f$ = Masa final del material de muestra de prueba mayor de 1,7 mm, (g)

### 3.8.4. Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

Pi	Peso Inicial de la Muestra de Prueba	(g)	5000,00	
Pf	Peso Final de la Muestra de Prueba, mayor a 1,7mm	(g)	3465,20	
Pi-Pf	Pérdida por Desgaste	(g)	1534,80	
$Pa = (Pi - Pf / Pi) * 100$	Desgaste por Trituración	(%)	30,70	>30% No Cumple

Tabla 3.16: Ensayo de Desgaste por Abrasión AASHTO T 96 – 02 en el agregado de Guayllabamba.

- **Cantera de San Antonio.**

Pi	Peso Inicial de la Muestra de Prueba (g)	5000,00	
Pf	Peso Final de la Muestra de Prueba, mayor a 1,7mm (g)	3310,20	
Pi-Pf	Pérdida por Desgaste (g)	1689,80	
$Pa = (Pi - Pf / Pi) * 100$	Desgaste por Trituración (%)	33,80	>30% No Cumple

Tabla 3.17: Ensayo de Desgaste por Abrasión AASHTO T 96 – 02 en el agregado de San Antonio.

A pesar de que los agregados de las canteras de Guayllabamba (30,70 %) y San Antonio (33,80 %) no cumplen con la especificación, se consideran valores admisibles y pueden ser empleados en el diseño de micropavimentos. Es importante indicar que valores altos de desgaste puede originar fragmentación en el agregado una vez que ya se ha aplicado sobre el pavimento, y a su vez provocar el desprendimiento del mismo.

### **3.9 Ensayo de Densidad Relativa (Gravedad específica) para el material pétreo de las canteras de Guayllabamba y San Antonio con la NORMA ASTM C 128 – 04.**

#### **3.9.1 Objetivo.**

Determinar la gravedad específica de sólidos de suelos que pasan por el tamiz No.4, por medio de un picnómetro de agua.

#### **3.9.2 Procedimiento.**

- Tomar una muestra representativa de material pétreo de aproximadamente 1000 g, e introducirla en el horno a una temperatura de 110°C y hasta que alcance una masa constante.

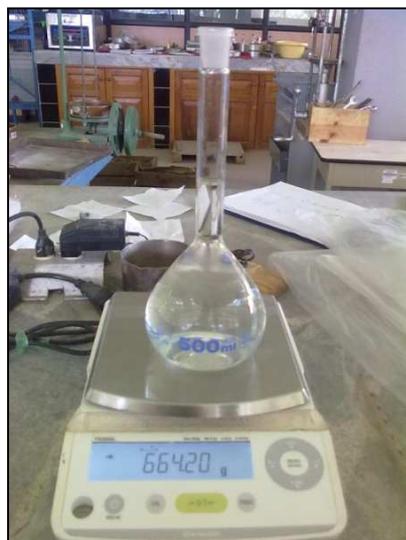


Figura 3.20: Peso del Picnómetro y Agua

- Coloque el embudo dentro del picnómetro, y ponga cuidadosamente con una cuchara los sólidos del suelo. Enjuague cualquier partícula de suelo restante que quede en el embudo dentro del picnómetro utilizando una botella de lavado.
- Agregue agua dentro del picnómetro hasta una altura equivalente al  $\frac{1}{3}$  del volumen del picnómetro. Agite el agua hasta que se forme lodo.
- Se debe remover el aire atrapado en el lodo mediante métodos manuales que consisten en agitar continuamente el picnómetro bajo vacío durante un periodo no menos de 2 horas.



Figura 3.21: Eliminación de Burbujas de Aire.

- Llene el picnómetro hasta la marca de calibración con el agua deseada introduciendo el agua a través de un pedazo de tubo flexible de diámetro pequeño. Y teniendo en cuenta que el extremo de salida quede debajo del nivel del lodo.

- Registre el peso total del picnómetro que contiene la muestra de suelo y el agua con una aproximación de 0.01 g.



Figura 3.22: Peso Total – Muestra de Suelo y Agua.

- Registre la temperatura de la mezcla lodo-suelo-agua con una aproximación de 0.1 °C, siendo esta la temperatura del ensayo.
- Vacíe toda la mezcla en un recipiente previamente tarado. Es imperativo que todo el suelo sea removido. Seque la muestra introduciéndolo al horno a una temperatura de 110°C hasta masa constante. Y finalmente deje enfriar la muestra, teniendo cuidado que no absorba humedad del ambiente, y registre el peso de la muestra seca.

### 3.9.3 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

A	Peso de la muestra seca	(g)	113,53
B	Peso del picnómetro + muestra seca	(g)	278,47
C	Peso picnómetro + muestra+ agua destilada	(g)	734,94
D	Peso del picnómetro	(g)	164,94
E	Peso del picnómetro + agua destilada	(g)	664,20
F	Volumen del frasco	(cm <sup>3</sup> )	499,26
G	Volumen del frasco + volumen de los granos	(cm <sup>3</sup> )	456,47
H	Volumen de los granos de la muestra	(cm <sup>3</sup> )	42,79
I	Peso específico de los granos	(g/cm <sup>3</sup> )	2,65

Tabla 3.18: Ensayo de Gravedad Especifica ASTM C 128 – 04 en el Agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio.**

A	Peso de la muestra seca	(g)	150,30
B	Peso del picnómetro + muestra seca	(g)	315,24
C	Peso picnómetro + muestra+ agua destilada	(g)	758,64
D	Peso del picnómetro	(g)	164,94
E	Peso del picnómetro + agua destilada	(g)	664,20
F	Volumen del frasco	(cm <sup>3</sup> )	499,26
G	Volumen del frasco + volumen de los granos	(cm <sup>3</sup> )	443,40
H	Volumen de los granos de la muestra	(cm <sup>3</sup> )	55,86
I	Peso específico de los granos	(g/cm <sup>3</sup> )	2,69

Tabla 3.19: Ensayo de Gravedad Especifica ASTM C 128 – 04 en el Agregado de San Antonio

# **CAPITULO IV**

## **ENSAYOS EN EL LIGANTE**

## **CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN EL LIGANTE.**

### **4.1 Emulsiones Asfálticas.**

#### **4.1.1 Generalidades.**

Las emulsiones comenzaron a utilizarse para la construcción y mantenimiento de carreteras a principios de este siglo. Al inicio, su crecimiento fue lento debido a la falta de conocimientos sobre su aplicación, sin embargo actualmente el uso de las emulsiones asfálticas comprende una gran variedad de aplicaciones, desde tratamientos superficiales, mantenimiento de carreteras (bacheo), carpetas asfálticas, Slurry Seal y riegos de gravilla entre otros.

Para obtener excelentes resultados en la aplicación de una emulsión asfáltica es necesario seleccionar la emulsión adecuada para cada agregado pétreo y el equipo de aplicación apropiado. Las emulsiones asfálticas son versátiles, económicas y no contaminantes y pueden ser utilizadas en frío e incluso con materiales pétreos húmedos. Básicamente, una emulsión está constituida por asfalto, agua, un emulsificante, ácido y en algunos casos, según los requerimientos, cierto tipo de aditivo.

#### 4.1.2 Asfalto.

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos, cuyos constituyentes se dividen en asfaltenos (constituyentes sólidos, de alto peso molecular) y los maltenos (aceites de bajo peso molecular).

Los asfaltenos aportan dureza al asfalto, mientras que los maltenos aportan las propiedades de ductilidad y adhesividad. Los aceites y resinas que están presentes influyen en la viscosidad o en las propiedades de flujo del asfalto. Debido a la compleja interacción de las diferentes sustancias en el asfalto es prácticamente imposible predecir con exactitud su comportamiento, especialmente en las emulsiones asfálticas.

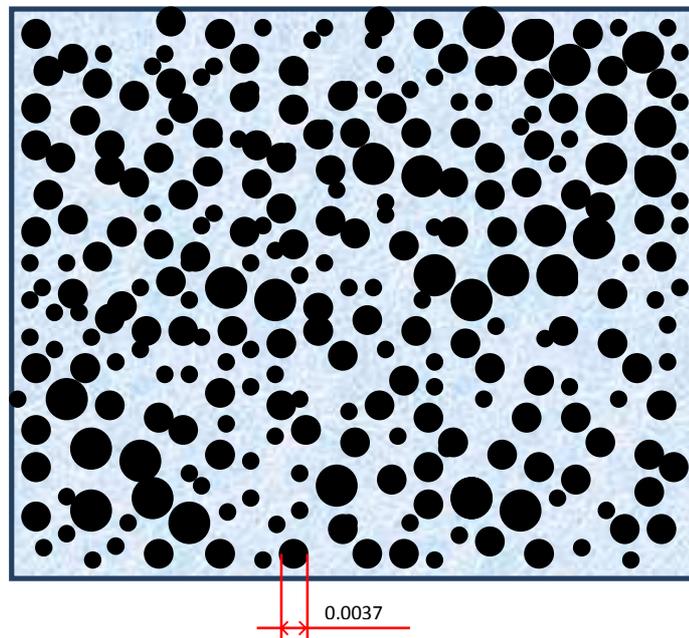


Figura 4.1: Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión (Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas Serie No. 19)

En esencia el asfalto es una estructura coloidal, donde los maltenos son la fase continua y los asfaltenos son la fase discontinua. En las emulsiones asfálticas un factor muy importante es la calidad del asfalto utilizado, ya que comprende más del 60% del producto final.

#### **4.1.3 Emulsificantes.**

Las propiedades de una emulsión asfáltica dependen en gran medida del emulsificante a utilizar. Un emulsificante es un agente tensoactivo que modifica la tensión superficial en la interface entre las partículas de asfalto y de agua, por lo que mantiene los glóbulos de asfalto estables en suspensión y controla el tiempo de rompimiento.

Un producto químico que se ha utilizado como emulsificante debe tener en su estructura química dos zonas perfectamente definidas, una parte hidrófoba o apolar (repelente al agua) y una parte hidrófila o polar (afín al agua). Este comportamiento permite obtener una dispersión estable del asfalto en el agua, obteniendo así la emulsión deseada.

La presencia del agente emulsificante facilita la dispersión inicial del asfalto en el agua y evita que las partículas formadas vuelvan a unirse. Cuando sucede este fenómeno, se dice que la emulsión ha roto.

Existen muchos factores que pueden afectar la estabilidad de las emulsiones, sin embargo, en la práctica la rotura de la emulsión ocurre al contacto de ésta con las superficies minerales de los materiales pétreos o la evaporación del agua de la emulsión. Una vez rota la emulsión, el asfalto queda firmemente adherido al material pétreo debido a la acción del agente emulsificante.

Tipo de Emulsión	Emulsificante (%)	PH	Tipo de Emulsificante
Catiónica de rotura rápida	0.15-0.25	2.00-4.00	Grasa diamina
Catiónica de rotura media	0.30-0.60	1.50-4.00	Grasa diamina
Catiónica de rotura lenta	0.80-2.00	2.00-5.00	Amina cuaternaria
Aniónica de rotura rápida	0.20-0.40	10.50-12.00	Resina ácida
Aniónica de rotura media	0.40-0.80	10.50-12.00	Resina ácida
Aniónica de rotura lenta	1.20-2.50	7.50-12.00	Lignosulfonato no-niónico

Tabla 4.1: Adición de Emulsificantes de acuerdo al Tipo de Emulsión. (Fuente: Alternativas para el Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos).

#### 4.1.4 Emulsión Asfáltica.

Una emulsión es la dispersión de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discontinua (o dispersa).

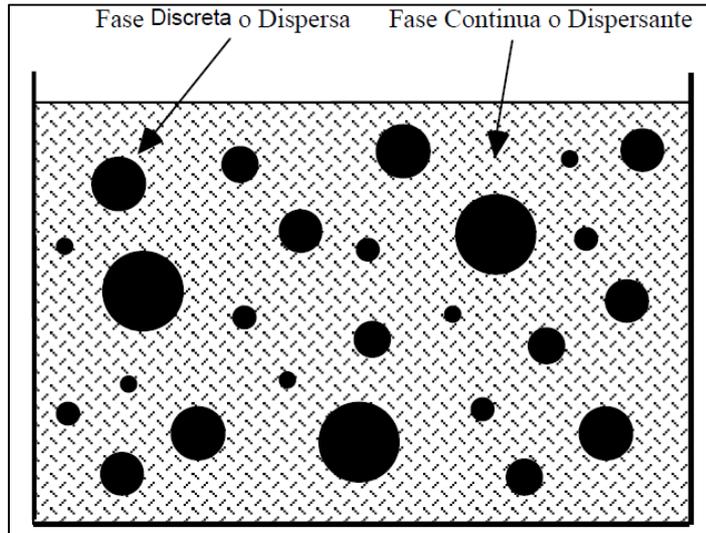


Figura 4.2: Diagrama esquemático de una emulsión (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

Las emulsiones catiónicas modificadas con polímeros son comúnmente usadas en las mezclas de micropavimentos. Las propiedades de la emulsión asfáltica dependen de gran parte del emulsificante, ya que este determina la clasificación de la emulsión como catiónica o aniónica.

El emulsificante mantiene las partículas de asfalto en suspensión estable y permite el rompimiento en el tiempo apropiado. A medida que se incrementa el emulsificante, aumenta el tiempo de rompimiento. La mayoría de los emulsificantes catiónicos son grasas aminas, por ejemplo: diaminas, imidazolininas, amidoaminas, etc. Las aminas son convertidas en jabón por la reacción con un ácido.

Otros tipos de emulsificantes por ejemplo: grasas y sales cuaternarias de amonio usados para producir emulsiones catiónicas, no requieren la adición de ácidos para hacerlas solubles en agua.

Básicamente, una emulsión asfáltica está constituida por asfalto (fase dispersa), agua (fase continua), un emulsificante, ácido y en algunos casos, según los requerimientos, cierto tipo de aditivo o polímero para darle mejores propiedades a la emulsión.

#### **4.1.4.1 Tipos de Emulsiones Asfálticas.**

Según la concentración de cada fase se tienen las emulsiones directas, en las cuales la fase continua es agua y la fase dispersa es aceite o a su vez un líquido insoluble y las emulsiones inversas de alta flotación (high float), donde la fase continua es el aceite y la fase dispersa es agua.

- **De acuerdo a la carga eléctrica que rodea la partícula de asfalto.**

**Aniónicas:** El agente emulsificante le otorga una carga negativa a las partículas.

**Catiónicas:** El agente emulsificante le otorga una carga positiva a las partículas.

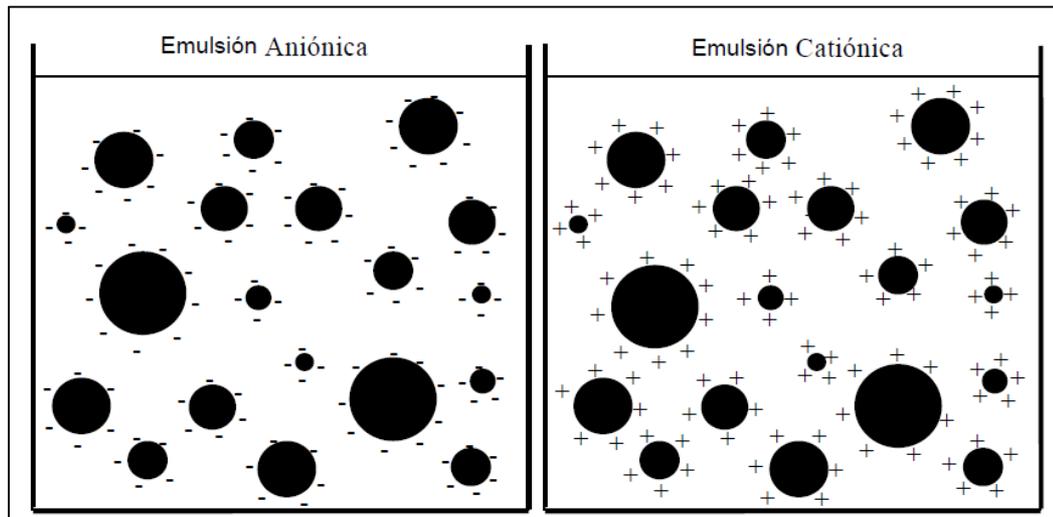


Figura 4.3: Representación esquemática de una emulsión aniónica y catiónica  
(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

- **De acuerdo a la Velocidad de Rotura.**

**Emulsiones de Rotura Rápida (RS):** estas emulsiones interactúan rápidamente con el agregado, y revierten la emulsión a asfalto. Este tipo de emulsiones producen películas resistentes y algunas de este tipo como la RS-2 y CRS-2 tienen altas viscosidades, para prevenir el escurrimiento, y una vez formada la capa, ésta no se despegue con facilidad. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como riegos de liga, bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales.

**Emulsiones de Rotura Media (MS):** son diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente. Estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta y la mezcla resultante, transportada al lugar donde se realizar el mantenimiento de la superficie. Las emulsiones MS han sido usadas con éxito en reciclado de pavimentos y mezclas en frío.

**Emulsiones HF (High Float = de alta flotación):** tienen una calidad específica que permite una densa película asfáltica sobre el agregado, sin riesgo de escurrimiento. Esta película gruesa asegura un mejor cubrimiento del agregado y baja susceptibilidad a la humedad. Estas presentan una espesa película de asfalto para mantener alta rigidez en un clima caliente y menor rigidez (más elástico) en climas fríos. Las HF son buenas para bacheos donde el cubrimiento del agregado es completo.

**Emulsiones de Rotura Lenta (SS):** son diseñadas para un tiempo prolongado de mezcla con los agregados. Su largo tiempo para la manipulación asegura buen cubrimiento con grados densos y agregados con un alto contenido de finos. La viscosidad de las emulsiones es baja y puede ser reducida aún más con la adición de agua. Si se desea aumentar la velocidad de rotura, puede ser añadido un pequeño porcentaje de cemento Portland o cal hidratada, durante la producción de la mezcla. Entre las aplicaciones de estas emulsiones incluyen bases de grado denso y estabilizaciones asfálticas.

**Emulsiones de Curado Controlado (CQS):** estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, al añadir un porcentaje de cemento Portland o cal hidratada, se puede controlar el tiempo de rotura. Este tipo de emulsión al ser combinada con polímero SBR, puede ser aplicada para la conformación de micropavimentos.

#### **4.1.4.2 Nomenclatura de las Emulsiones Asfálticas.**

Con respecto a la nomenclatura para la identificación de las emulsiones, se utiliza el prefijo C en las emulsiones de tipo catiónicas, por ejemplo CSS y CRS representan emulsiones catiónicas de rotura lenta y rápida, respectivamente. Cuando no aparece la letra C se asume que la emulsión es del tipo aniónica.

Para la clasificación de la emulsión de acuerdo al grado de viscosidad que posea, se utilizan los sufijos 1 y 2; 1=viscosidad baja, 2=viscosidad alta.

Cuando se ha utilizado un asfalto duro (penetración de 40-90 decimas de milímetro) en la fabricación de la emulsión, se suele colocar la letra h como sufijo. Cuando no aparece la letra h se sobrentiende que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 100-200 decimas de milímetro.

Emulsión Aniónica	Emulsión Catiónica
RS – 1	CRS – 1
RS – 2	CRS – 2
MS – 1	-----
MS – 2	CMS – 2
MS – 2h	CMS – 2h
HFMS – 1	-----
HFMS – 2	-----
HFMS – 2h	-----
SS – 1	CSS – 1
SS – 1h	CSS – 1h
QS – 1h	CQS-1h

Tabla 4.2: Clasificación de las emulsiones asfálticas

#### 4.1.5 Emulsión Asfáltica y Agregados Pétreos.

Las reacciones químicas que ocurran entre la superficie del agregado y las emulsiones determinan las propiedades de adhesión, cohesión, estabilidad, compatibilidad, asentamiento, curado, etc. de la mezcla. Las características físicas del agregado pétreo, al igual que las características químicas, deben tomarse en cuenta, ya que juegan un papel importante para el adecuado funcionamiento de las emulsiones asfálticas.

La presencia de poros y hendiduras en la superficie del agregado ocasiona la penetración del asfalto dentro de los mismos, y consecuentemente la formación de una interacción física del asfalto y el agregado.

La presencia de polvo en la superficie del agregado pétreo reduce la velocidad de difusión y acelera el tiempo de rompimiento de la emulsión asfáltica. En cuanto a las características químicas de agregado, entre más reactivo sea, se necesitará una mayor cantidad de emulsión para estabilizarlo y cumplir con el tiempo de rotura establecido.

#### **4.1.6 Rotura de las Emulsiones Asfálticas.**

En un tiempo determinado, el cual depende de la situación en particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo. Este fenómeno de rompimiento de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo.

La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar moléculas de gran tamaño; estas moléculas son las que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica. Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto- material pétreo.

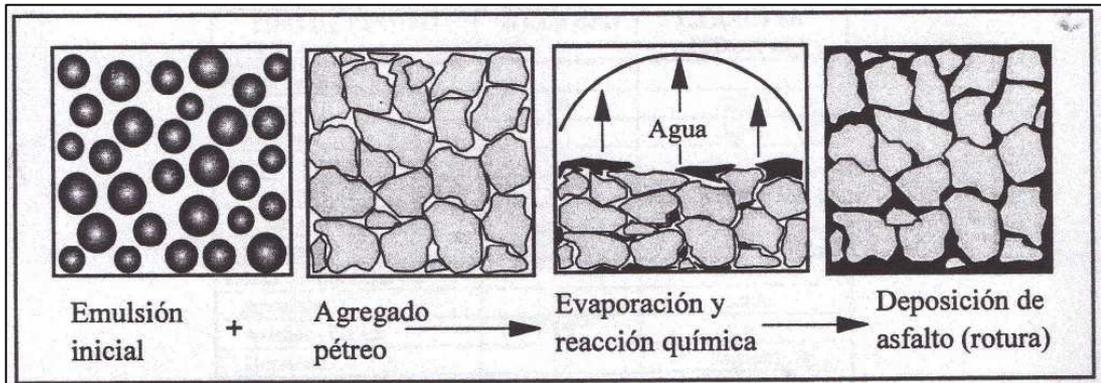


Figura 4.4: Rompimiento de una emulsión asfáltica (Fuente: Manual básico de emulsiones asfálticas Serie No. 19)

En el proceso de desestabilización, la emulsión va perdiendo agua, y pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas.

En general, los factores que influyen en la rotura de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo.

La rotura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la rotura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad.

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura al tránsito en un corto período de tiempo.

#### **4.1.7 Polímero.**

La adición de polímeros mejora las propiedades de cohesión y adhesión, incrementa la rigidez y reduce la susceptibilidad al cambio de temperatura. El incremento de la rigidez evita la formación de ahuellamientos en climas cálidos y permite el uso de cementos asfálticos más blandos, los mismos que se comportan de mejor manera en climas fríos.

Los polímeros pueden ser agregados durante la preparación de la solución jabonosa o pueden ser mezclados con el cemento asfáltico en la planta de emulsión, antes del proceso de emulsificación. La cantidad mínima y el tipo de polímero modificador deberá ser determinada por el laboratorio responsable del diseño de mezcla.

La cantidad de polímeros sólidos deberá basarse en el contenido del residuo asfáltico en peso; para mezclas de micropavimentos se especifica esta cantidad en un porcentaje del 3 al 4%. El látex natural generalmente es el más común, pudiéndose utilizar también otros como: SBR (styrene-butadiene-rubber), SBS (styrene-butadiene-styrene) y EVA (ethylene-vinil-acetate).

#### **4.1.7.1 Polímero SBR-Látex.**

Optimiza las propiedades viscoelásticas.

- Aumenta la resistencia a la formación de surcos o baches.
- Aumenta la resistencia al agrietamiento por baja temperatura
- Aumenta la resistencia a la carga asociada a agrietamiento por fatiga o reducción de la susceptibilidad de temperatura.
- Minimización de los efectos de envejecimiento.

Uno de los aspectos más beneficiosos de la modificación con polímeros es la reducción en la rigidez del asfalto modificado de baja temperatura. Pruebas de laboratorio han demostrado que los polímeros SBR - látex puede reducir la rigidez a baja temperatura, lo que reduce las posibilidades de craqueo térmico.

Una de las ventajas del uso de polímeros de látex de SBR es la reducción en la susceptibilidad de la temperatura. A altas temperaturas, muestra una rigidez mucho mayor. De igual manera asegura una alta flexibilidad a bajas temperaturas, y una mayor visco elasticidad a altas temperaturas.

Los ingenieros y personal de agencias han encontrado que el uso de polímeros SBR - Látex para la modificación de asfaltos reduce la tendencia del aglutinante. Esta conclusión es apoyada por pruebas de laboratorio y evaluaciones de campo de los polímeros de látex nuevos.

Otra ventaja del uso de polímeros de látex SBR como un modificador de asfalto es que se puede añadir a cualquier etapa de la cadena de pavimentación.

#### **4.1.7.2 Polímero SBS**

Es un modificar de asfalto que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas, tanto a altas como a bajas temperatura. Es fabricado con base en bloques de estireno. Se presenta en estado sólido.

Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

#### **4.1.7.3 EVA**

Es un modificador de asfalto que mejora la resistencia a las roderas (depressiones longitudinales) de la mezcla asfáltica, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

#### **4.1.8 Agua.**

El agua es el principal factor en la determinación de la consistencia del mortero asfáltico durante su producción y aplicación, formando parte importante en la estabilidad de la mezcla. Dependiendo del porcentaje de humedad que contienen los agregados se determina la adición de agua como recubrimiento en la mezcla. La ISSA A – 143, establece que el agua debe ser potable y libre de sales solubles nocivas o productos químicos reactivos y cualquier otro contaminante.

## **4.2 Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol empleando la norma ASTM D 88 – 07.**

### **4.2.1 Objetivo.**

Este método de ensayo permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo. Empleando una temperatura de 135°C para los cementos asfálticos, de 25 y 50°C para las emulsiones asfálticas y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados.

### **4.2.2 Procedimiento (Viscosidad Saybolt Furol a 25°C).**

- La muestra de emulsión asfáltica a ser ensayada debe ser homogeneizada mediante una agitación moderada, evitando la formación de burbujas de aire. Posterior a la agitación se debe verter alrededor de 100 cm<sup>3</sup> en un vaso de precipitación.
- Caliente la porción de emulsión asfáltica obtenida a una temperatura no superior a los 30 °C, durante un periodo de 20 minutos o hasta que esta alcance la temperatura de ensayo.
- Llene el viscosímetro con agua, estableciendo y controlando la temperatura del baño para obtener la temperatura de prueba seleccionada.



Figura 4.5: Viscosímetro calibrado a 25 ° C.

- Inserte un tapón de corcho en la cámara de aire ubicada en la parte inferior del viscosímetro, de manera que penetre de 6 a 9 mm. El corcho debe quedar ajustado herméticamente para impedir el escape de aire y evitar pérdidas de la muestra de prueba, esto se comprueba con la ausencia de emulsión en el tapón al momento de retirarlo.



Figura 4.6: Tapón en la parte inferior del Viscosímetro.

- Filtre la muestra de emulsión asfáltica calentada a través de la malla No. 100 (150  $\mu\text{m}$ ) provista en el embudo de filtro del viscosímetro hasta que el nivel esté por encima del borde de derrame.



Figura 4.7: Llenado del viscosímetro hasta el borde de derrame.

- Agite la muestra en el viscosímetro con el termómetro, utilizando un movimiento circular de 30 a 50 rpm en un plano horizontal y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas. Cuando la temperatura de la muestra se mantiene constante dentro de  $0.03^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de ensayo durante 1 min de agitación continua, retire el termómetro.
- Coloque el vaso receptor debajo del tubo de viscosidad.



Figura 4.8: Alineación del corcho con el vaso receptor.

- Retire el tapón de corcho del viscosímetro y simultáneamente poner en marcha el cronómetro, el cual se debe detener en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo.



Figura 4.9: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el tapón de corcho.

- Registre el tiempo de flujo en segundos con una precisión de 0,1 s.

#### 4.2.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Tiempo (seg)
1	25	21,00
2	25	23,90
3	25	22,40
	Promedio	22,43

Tabla 4.3: Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Tiempo (seg)
1	25	22,00
2	25	23,00
3	25	23,40
	Promedio	22,80

Tabla 4.4: Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Tiempo (seg)
1	25	22,00
2	25	24,00
3	25	23,00
	Promedio	23,00

Tabla 4.5: Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Tiempo (seg)
1	25	24,00
2	25	22,00
3	25	23,60
	Promedio	23,20

Tabla 4.6: Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

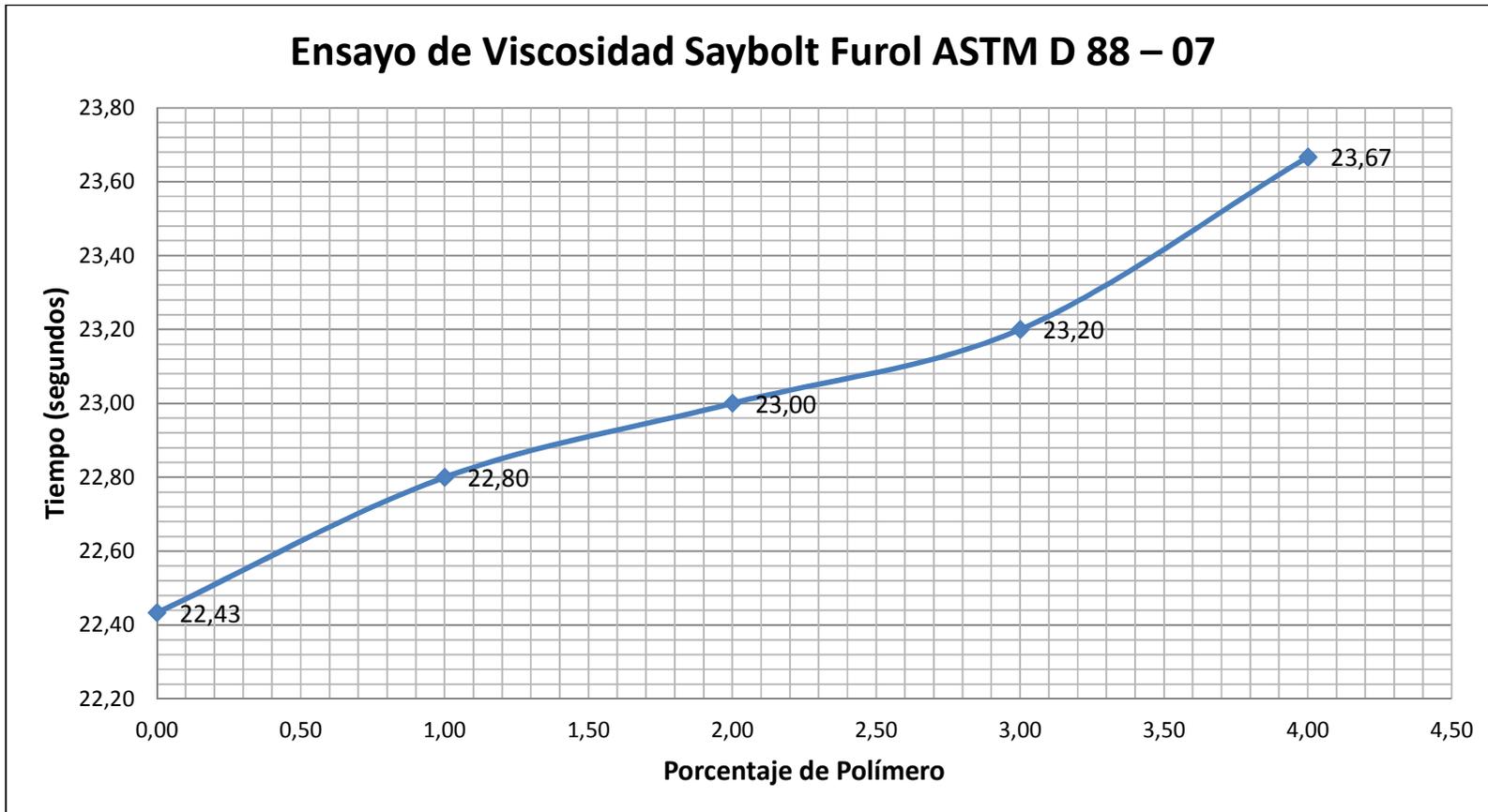
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Tiempo (seg)
1	25	22,00
2	25	24,00
3	25	25,00
	Promedio	23,67

Tabla 4.7: Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Viscosidad (seg)	% Polímero	Min	Max
22,43	0,00	20,00	100
22,80	1,00	20,00	100
23,00	2,00	20,00	100
23,20	3,00	20,00	100
23,67	4,00	20,00	100

Tabla 4.8: Resultados ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07.



Cuadro 4.1: Resultados ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 07.

### **4.3 Ensayo para determinar el porcentaje de Asfalto Residual empleando la Norma ASTM D 6934 – 08.**

#### **4.3.1 Objetivo.**

Éste método de ensayo, permite determinar de manera cuantitativa los residuos de asfalto presentes en las emulsiones asfálticas compuestas principalmente de base asfáltica semisólida o líquida, agua y un agente emulsificante.

#### **4.3.2 Procedimiento A (Cuando se requiera únicamente el porcentaje de asfalto residual).**

- La muestra de emulsión asfáltica a ser ensayada debe ser homogenizada mediante una agitación moderada, evitando la formación de burbujas de aire.
- Determine el peso de los contenedores más la vara de cristal. Adicione  $50 \pm 1$  gramos de emulsión asfáltica.



Figura 4.10: Peso del contenedor y la vara.



Figura 4.11: Peso de la emulsión.

- Coloque los contenedores con las varas de cristal en el horno a  $163 \pm 3$  °C durante 2 horas. Terminado este período, retire del horno y cuidadosamente mezcle el residuo de los contenedores.



Figura 4.12: Muestras en el horno a  $163 \pm 3$  °C.

- Coloque las muestras nuevamente en el horno durante una 1 hora. Al final de este período retire del horno, deje enfriar a temperatura ambiente y pese los contenedores.



Figura 4.13: Peso de la muestras después de haber permanecido 3 horas en el horno a  $163 \pm 3$  °C.

- Calcule el porcentaje de asfalto residual empleando la siguiente ecuación

$$\% \text{ Asfalto Residual} = \frac{(A - B)}{C}$$

Donde:

A: Peso del contenedor, vara de cristal y residuo.

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

C: Peso de la emulsión asfáltica.

### 4.3.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
1	278,37	309,11	50,34	61,06
2	278,31	309,07	50,50	60,91
3	279,76	310,50	50,14	61,31
			Promedio	61,09

Tabla 4.9: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
1	289,81	320,67	50,55	61,05
2	280,33	311,30	50,41	61,44
3	279,24	310,18	50,65	61,09
			Promedio	61,19

Tabla 4.10: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
1	277,59	307,74	50,00	60,30
2	275,39	305,82	50,00	60,86
3	281,91	312,72	50,00	61,62
			Promedio	60,93

Tabla 4.11: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
1	276,22	306,77	50,02	61,08
2	279,27	309,90	50,10	61,14
3	240,87	271,52	50,00	61,30
			Promedio	61,17

Tabla 4.12: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

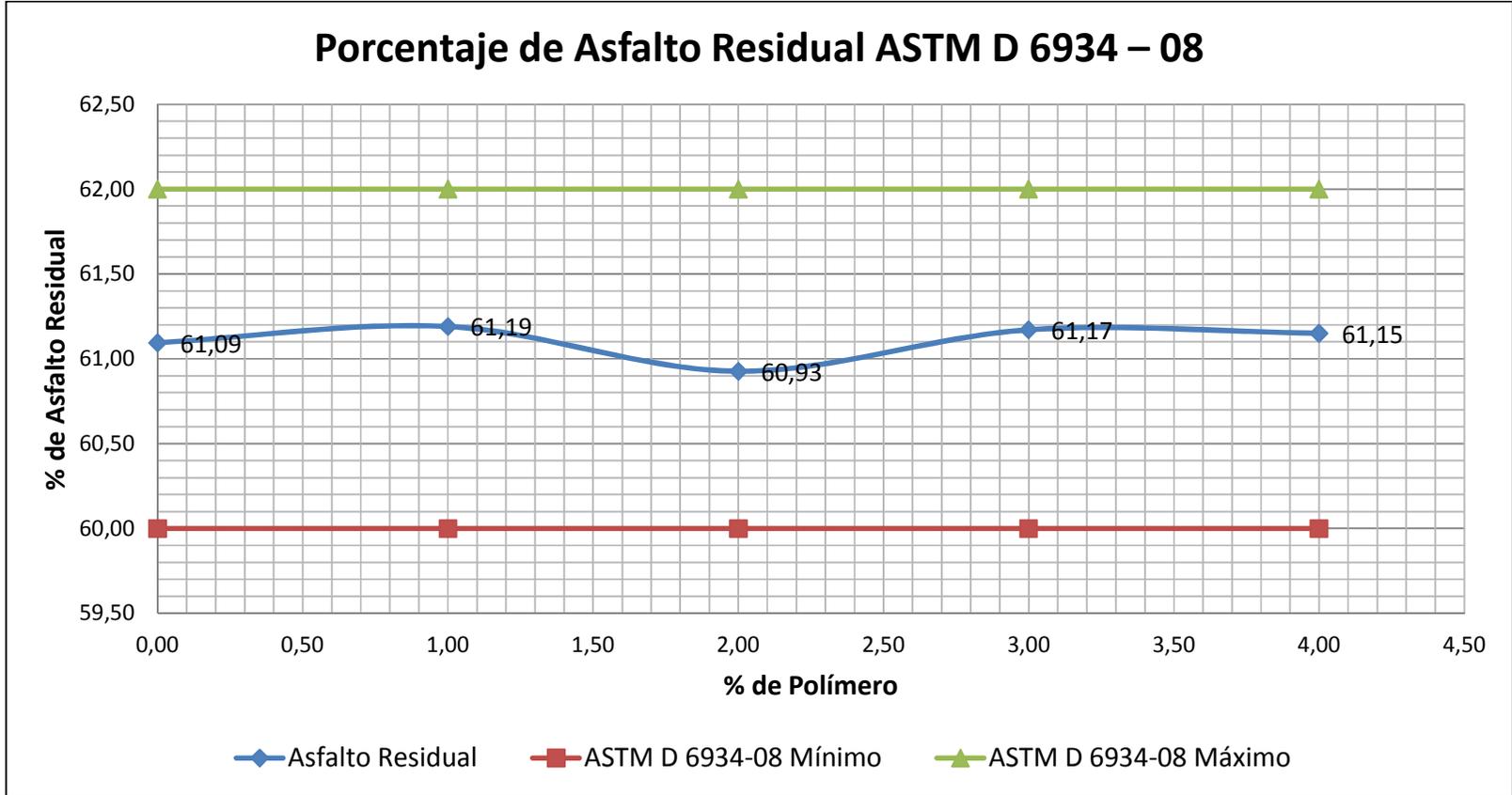
Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
1	278,77	309,30	50,02	61,04
2	272,95	303,95	50,52	61,36
3	240,13	270,70	50,07	61,05
			Promedio	61,15

Tabla 4.13 Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

% Asfalto Residual	% Polímero	Min	Max
61,09	0,00	60	62
61,19	1,00	60	62
60,93	2,00	60	62
61,17	3,00	60	62
61,15	4,00	60	62

Tabla 4.14: Resultados ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08.

Cabe destacar que el porcentaje de asfalto residual de las emulsiones no obedece a una tendencia a medida que se incrementa el porcentaje de polímero, debido a que el contenido de asfalto inicial es el mismo para todas las emulsiones.



Cuadro 4.2: Resultados ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -08.

#### 4.4 Ensayo de Asentamiento empleando la Norma ASTM D 244-09.

##### 4.4.1 Objetivo.

Esta prueba permite determinar el grado de homogeneidad que conservan las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónica, después de haber sido almacenadas durante periodos prolongados.

##### 4.4.2 Procedimiento

- De la muestra de emulsión asfáltica, obtenida debidamente homogeneizada, se vierten 500 cm<sup>3</sup> en una probeta, la cual deberá ser tapada y colocada en un lugar libre de vibraciones, para que repose durante 5 días a temperatura ambiente.



Figura 4.14: Probeta con 500 cm<sup>3</sup> de emulsión asfáltica

- Se identifican los vasos de precipitación que recibirán la porción superior e inferior del residuo obtenido por destilación; se obtiene la masa de cada uno de ellos, con su correspondiente varilla de vidrio y se anota la masa en conjunto.

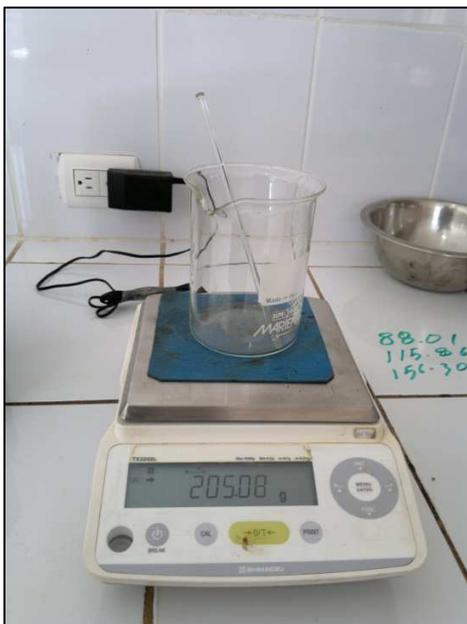


Figura 4.15: Peso del contenedor y la varilla de cristal.

- Transcurrido el tiempo de reposo, utilice una pipeta para extraer aproximadamente  $55 \text{ cm}^3$  de la parte superior de la muestra contenida en la probeta, cuidando de no perturbar el resto del contenido. Deposite la porción obtenida en el vaso de precipitación previamente identificado. Se homogeniza la muestra utilizando la varilla de vidrio correspondiente y se ajusta la porción a una masa de  $50 \pm 1 \text{ g}$ .



Figura 4.16: Extracción de la parte superior de la muestra contenida en la probeta.

- Posteriormente, utilizando la pipeta, se eliminan los siguientes  $390 \text{ cm}^3$  de la muestra contenida en la probeta, cuidando de no perturbar la parte restante.
- Se uniformiza por agitación la porción restante en la probeta utilizando la varilla de vidrio correspondiente, se toma una muestra de  $50 \pm 1 \text{ g}$ , para depositarla en su respectivo vaso de precipitación.



Figura 4.17: Porción superior e inferior de la probeta

- Se determina el contenido de asfalto residual, introduciendo al horno los vasos con su contenido y varilla, durante 2 horas a una temperatura de  $163 \pm 3^\circ\text{C}$ . Transcurrido este lapso, se retiran los vasos del horno, se uniformiza el contenido de cada uno agitándolo con su correspondiente varilla de vidrio y se vuelven a colocar en el horno durante 1 hora, Se sacan del horno los vasos con su contenido y varilla, se dejan enfriar a la temperatura ambiente, y se obtiene la masa de cada conjunto.



Figura 4.18: Muestras en el horno a  $163 \pm 3^\circ\text{C}$ .

- Se calcula el contenido de residuo asfáltico de la emulsión, correspondiente a cada una de las muestras de prueba, empleando la siguiente ecuación:

$$R_i = \frac{(A - B)}{C}$$

Donde:

R<sub>i</sub>: Porcentaje de asfalto residual de la porción inferior (%)

A: Peso del contenedor, vara de cristal y residuo.

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

C: Peso de la emulsión asfáltica

$$R_s = \frac{(A - B)}{C}$$

Donde:

Rs: Porcentaje de asfalto residual de la porción superior (%)

A: Peso del contenedor, vara de cristal y residuo.

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

C: Peso de la emulsión asfáltica

- Se calcula el asentamiento de la emulsión, empleando la siguiente ecuación:

$$S = R_i - R_s$$

Donde:

S= Asentamiento de la emulsión (%)

Ri: Porcentaje de asfalto residual de la porción inferior (%)

Rs: Porcentaje de asfalto residual de la porción superior (%)

#### 4.4.3 Resultados

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asphalt. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	275,36	305,04	50,00	59,36
Inferior	278,45	309,26	50,25	61,31
Asentamiento				1,95

Tabla 4.15: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	274,23	303,98	50,05	59,44
Inferior	279,10	310,04	50,40	61,39
			Asentamiento	1,95

Tabla 4.16: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	275,46	305,46	50,30	59,64
Inferior	278,43	309,16	50,15	61,28
			Asentamiento	1,63

Tabla 4.17: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 1,84%.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	273,24	303,04	50,20	59,36
Inferior	278,04	308,63	50,00	61,18
			Asentamiento	1,82

Tabla 4.18: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	275,96	305,57	50,02	59,20
Inferior	280,14	310,90	50,30	61,15
			Asentamiento	1,96

Tabla 4.19: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	275,78	305,38	50,00	59,20
Inferior	280,45	311,20	50,20	61,25
			Asentamiento	2,05

Tabla 4.20: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 1,94%.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,59	309,46	50,18	59,53
Inferior	274,51	305,44	50,48	61,27
			Asentamiento	1,75

Tabla 4.21: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,45	310,15	50,19	59,18
Inferior	275,45	306,36	50,50	61,21
			Asentamiento	2,03

Tabla 4.22: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,16	309,94	50,45	59,03
Inferior	278,46	309,45	50,60	61,25
			Asentamiento	2,22

Tabla 4.23: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 2,00%.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	277,77	307,60	50,52	59,05
Inferior	278,67	309,60	50,46	61,30
			Asentamiento	2,25

Tabla 4.24: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,05	309,70	50,00	59,30
Inferior	274,56	305,50	50,50	61,27
			Asentamiento	1,97

Tabla 4.25: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,15	309,76	50,00	59,22
Inferior	276,24	307,44	50,84	61,37
			Asentamiento	2,15

Tabla 4.26: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 2,12%.

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	275,00	304,45	50,00	58,90
Inferior	276,87	307,67	50,25	61,29
			Asentamiento	2,39

Tabla 4.27: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,23	308,72	50,00	58,98
Inferior	278,94	309,83	50,38	61,31
			Asentamiento	2,33

Tabla 4.28: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

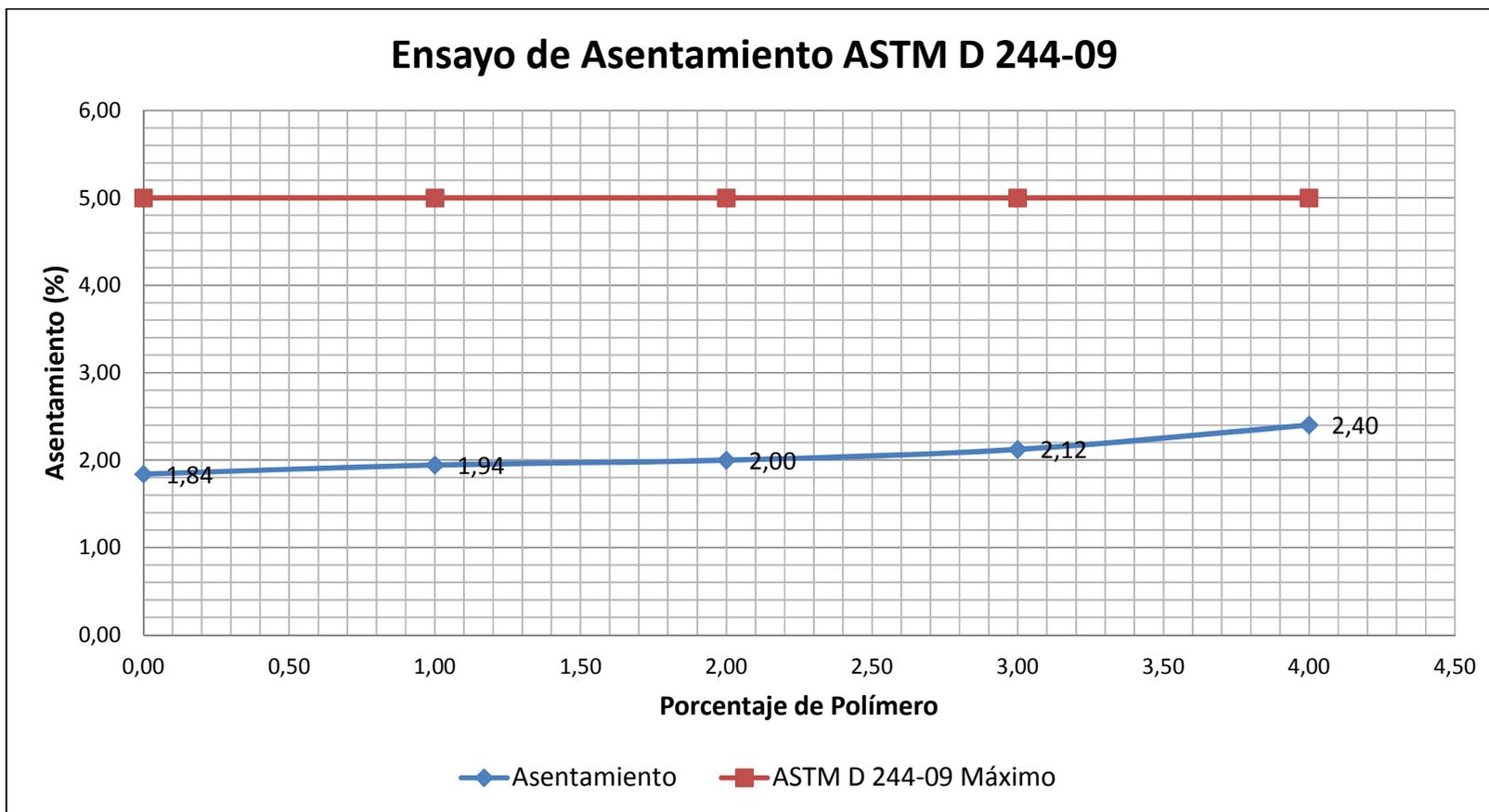
Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,10	309,55	50,04	58,85
Inferior	277,96	309,00	50,60	61,34
			Asentamiento	2,49

Tabla 4.29: Ensayo de asentamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 2,40%.

Asentamiento (%)	%Polímero	Max
1,84	0,00	5
1,94	1,00	5
2,00	2,00	5
2,12	3,00	5
2,40	4,00	5

Tabla 4.30: Resultados ensayo de asentamiento ASTM D 244-09.



Cuadro 4.3: Resultados ensayo de asentamiento ASTM D 244-09

## 4.5 Ensayo de Estabilidad al Almacenamiento empleando la Norma ASTM D 244-09.

### 4.5.1 Objetivo.

Esta prueba permite determinar la estabilidad al almacenamiento que conservan las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónica.

### 4.5.2 Procedimiento.

- De la muestra de emulsión asfáltica, obtenida debidamente homogeneizada, se vierten 500 cm<sup>3</sup> en una probeta, la cual deberá ser tapada y colocada en un lugar libre de vibraciones, para que repose durante 24 horas a temperatura ambiente.



Figura 4.19: Probetas con 500 cm<sup>3</sup> de emulsión asfáltica.

- Se identifican los vasos de precipitación que recibirán la porción superior e inferior del residuo obtenido por destilación; se obtiene la masa de cada uno de ellos, con su correspondiente varilla de vidrio y se anota la masa en conjunto.

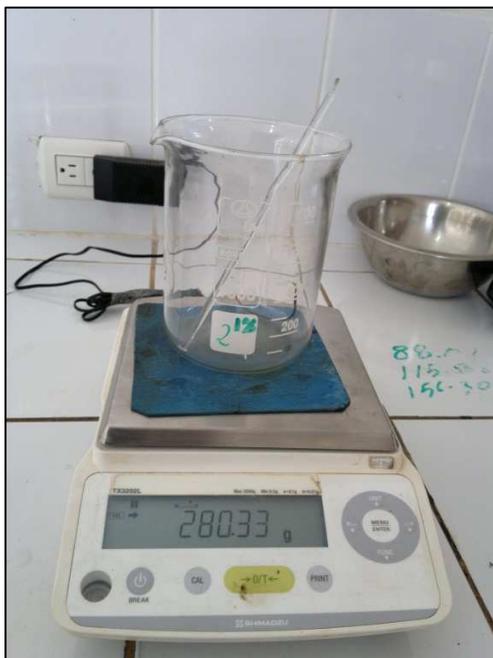


Figura 4.20: Peso del contenedor y la varilla de cristal.

- Transcurrido el tiempo de reposo, utilice una pipeta para extraer aproximadamente  $55 \text{ cm}^3$  de la parte superior de la muestra contenida en la probeta, cuidando de no perturbar el resto del contenido. Deposite la porción obtenida en el vaso de precipitación previamente identificado. Se homogeniza la muestra utilizando la varilla de vidrio correspondiente y se ajusta la porción a una masa de  $50 \pm 1 \text{ g}$ .



Figura 4.21: Extracción de la parte superior de la muestra contenida en la probeta.

- Posteriormente, utilizando la pipeta, se eliminan los siguientes  $390 \text{ cm}^3$  de la muestra contenida en la probeta, cuidando de no perturbar la parte restante.
- Se uniformiza por agitación la porción restante en la probeta utilizando la varilla de vidrio correspondiente, se toma una muestra de  $50 \pm 1 \text{ g}$ , para depositarla en su respectivo vaso de precipitación.



Figura 4.22: Porción superior e inferior de la probeta.

- Se determina el contenido de asfalto residual, introduciendo al horno los vasos con su contenido y varilla, durante 2 horas a una temperatura de  $163 \pm 3^\circ\text{C}$ . Transcurrido este lapso, se retiran los vasos del horno, se uniformiza el contenido de cada uno agitándolo con su correspondiente varilla de vidrio y se vuelven a colocar en el horno durante 1 hora, Se sacan del horno los vasos con su contenido y varilla, se dejan enfriar a la temperatura ambiente, y se obtiene la masa de cada conjunto.



Figura 4.23: Muestras en el horno a  $163 \pm 3^\circ\text{C}$ .

- Se calcula el contenido de residuo asfáltico de la emulsión, correspondiente a cada una de las muestras de prueba, empleando la siguiente ecuación:

$$R_i = \frac{(A - B)}{C}$$

Donde:

R<sub>i</sub>: Porcentaje de asfalto residual de la porción inferior (%)

A: Peso del contenedor, vara de cristal y residuo.

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

C: Peso de la emulsión asfáltica

$$R_s = \frac{(A - B)}{C}$$

Donde:

Rs: Porcentaje de asfalto residual de la porción superior (%)

A: Peso del contenedor, vara de cristal y residuo.

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

C: Peso de la emulsión asfáltica

- Se calcula la estabilidad al almacenamiento de la emulsión, empleando la siguiente ecuación:

$$E = R_i - R_s$$

Donde:

E= Estabilidad al almacenamiento de la emulsión (%)

Ri: Porcentaje de asfalto residual de la porción inferior (%)

Rs: Porcentaje de asfalto residual de la porción superior (%)

#### 4.5.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,74	311,15	50,10	60,70
Inferior	278,92	309,50	50,02	61,14
Estabilidad				0,44

Tabla 4.31: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,65	311,05	50,05	60,74
Inferior	279,02	309,56	50,00	61,08
			Estabilidad	0,34

Tabla 4.32: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	278,46	308,65	50,00	60,38
Inferior	279,35	309,70	50,00	60,70
			Estabilidad	0,32

Tabla 4.33: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 0,37%.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	276,74	307,50	50,30	61,15
Inferior	274,89	305,67	50,08	61,46
			Estabilidad	0,31

Tabla 4.34: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	278,75	309,12	50,00	60,74
Inferior	279,40	310,02	50,00	61,24
			Estabilidad	0,50

Tabla 4.35: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,20	310,92	50,49	60,84
Inferior	278,14	309,00	50,36	61,28
Estabilidad				0,44

Tabla 4.36: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 0,42%.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	277,63	307,98	50,00	60,70
Inferior	276,89	307,58	50,23	61,10
Estabilidad				0,40

Tabla 4.37: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,45	309,90	50,01	60,89
Inferior	278,25	308,95	50,10	61,28
Estabilidad				0,39

Tabla 4.38: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	278,70	309,10	50,00	60,80
Inferior	279,80	310,46	50,05	61,26
Estabilidad				0,46

Tabla 4.39: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 0,42%.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	274,96	305,15	50,00	60,38
Inferior	194,70	225,24	50,25	60,78
			Estabilidad	0,40

Tabla 4.40: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,80	310,45	50,20	61,06
Inferior	280,12	310,92	50,12	61,45
			Estabilidad	0,40

Tabla 4.41: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,46	310,02	50,10	61,00
Inferior	280,14	311,00	50,20	61,47
			Estabilidad	0,48

Tabla 4.42: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 0,43%.

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	276,21	306,61	50,00	60,80
Inferior	278,92	309,55	50,00	61,26
Estabilidad				0,46

Tabla 4.43: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	280,02	310,30	50,00	60,56
Inferior	281,24	311,75	50,01	61,01
Estabilidad				0,45

Tabla 4.44: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

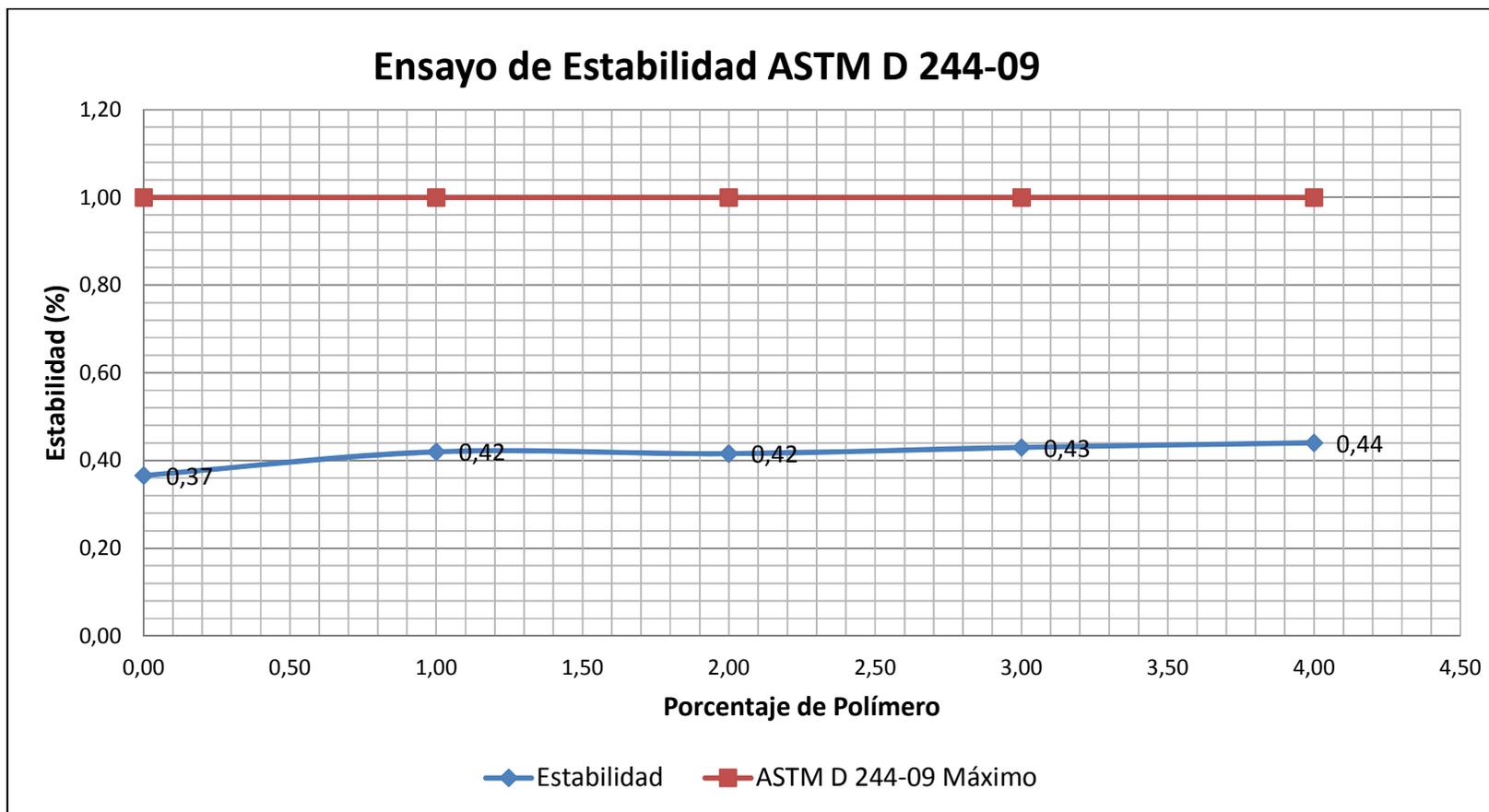
Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Emul. Asfal. (gr)	% Asfalto Residual
Superior	279,40	309,95	50,20	60,86
Inferior	275,67	306,55	50,40	61,27
Estabilidad				0,41

Tabla 4.45: Ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Del promedio de los resultados, se obtiene un valor final de 0,44%.

Estabilidad	% Polímero	Max
0,37	0,00	1
0,42	1,00	1
0,42	2,00	1
0,43	3,00	1
0,44	4,00	1

Tabla 4.46: Resultados ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09.



Cuadro 4.4: Resultados ensayo de estabilidad al almacenamiento ASTM D 244-09

## **4.6 Ensayo de Penetración en el Residuo empleando la Norma ASTM D 5 – 06.**

### **4.6.1 Objetivo.**

Este método de ensayo permite determinar la penetración de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura. Entre más altos sean los valores de penetración, la consistencia de la muestra será más suave.

### **4.6.2 Procedimiento.**

- Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se homogeniza su contenido con una espátula.
- Se vierte el residuo obtenido dentro de un recipiente lo suficientemente profundo para que la aguja pueda penetrar verticalmente y no toque el fondo.



Figura 4.24: Muestra de residuo a ensayarse.

- Dejar enfriar la muestra al aire, a una temperatura que se encuentre entre 14 y 30°C durante 1 a 1,5 horas para los contenedores pequeños (55 x 35 mm) y de 1,5 a 2 horas los contenedores más grandes.
- Se sumerge la muestra en un recipiente que contenga agua a 25°C por un período de 2 horas con el objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.



Figura 4.25: Muestra a 25°C durante un período de dos horas.

- Examine el sostenedor de la aguja y la guía para verificar la ausencia de agua u otros materiales extraños. Limpiar la aguja de penetración con un disolvente adecuado, secar con un paño limpio e insertar en el penetrómetro. A menos que se especifique lo contrario colocar el peso de 50 g por encima de la aguja, por lo que el peso total debe ser de  $100 \pm 0,1\text{g}$ .



Figura 4.26: Penetrómetro con un peso de 50 g por encima de la aguja.

- Coloque el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja. Se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.



Figura 4.27: Penetrómetro en baño con la muestra a ser ensayada

- Encerar el dial del penetrómetro.



Figura 4.28: Dial del Penetrómetro encerado

- Bajar la posición de la aguja lentamente hasta que la punta toque ligeramente la superficie de la muestra.



Figura 4.29: Aguja en contacto con la superficie de la muestra.

- Suelte rápidamente el sostenedor de la aguja durante el período de tiempo especificado. Ajuste el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de milímetros. En caso de movimiento del contenedor el resultado obtenido deberá ser descartado.
- Hacer por lo menos cinco mediciones en diferentes puntos de la superficie de la muestra de prueba separados entre sí y de la pared de la cápsula de penetración 10 mm como mínimo. Se limpiará cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25°C o a la especificada para la prueba, se regresará el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua

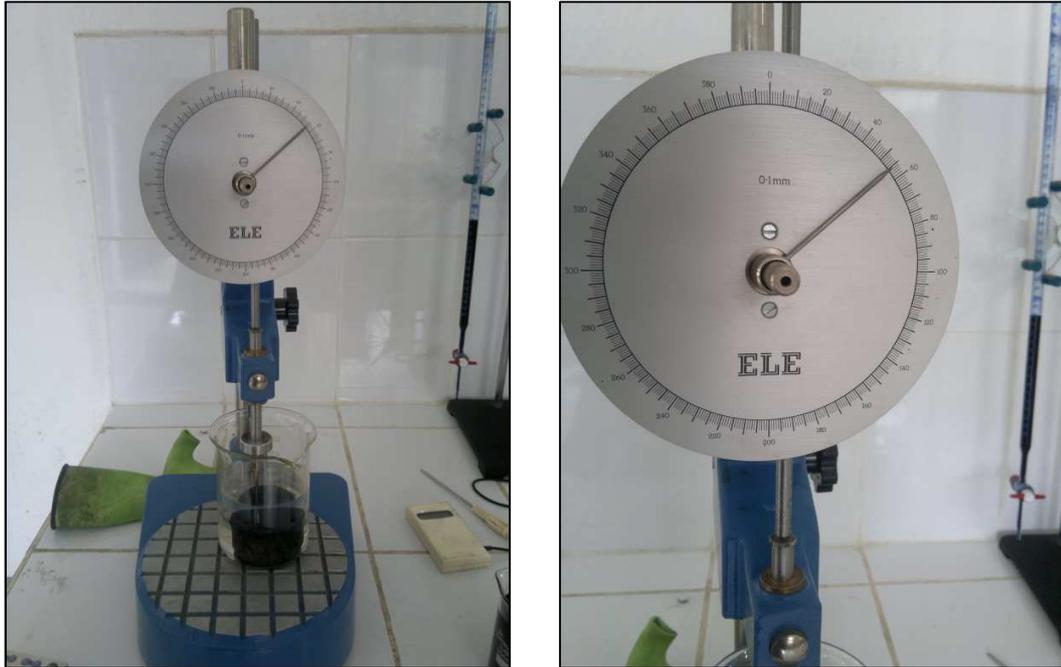


Figura 4.30: Penetración en el residuo a 25°C, 5 segundos y con un peso de 100g.

#### 4.6.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Décimas mm
1	25	51,00
2	25	53,00
3	25	55,00
4	25	57,00
5	25	54,00
Promedio		54,00

Tabla 4.47: Ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Décimas mm
1	25	52,00
2	25	51,00
3	25	50,00
4	25	52,00
5	25	51,00
Promedio		51,20

Tabla 4.48: Ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Décimas mm
1	25	49,00
2	25	50,00
3	25	48,00
4	25	52,00
5	25	49,00
Promedio		49,60

Tabla 4.49: Ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Décimas mm
1	25	52,00
2	25	42,00
3	25	45,00
4	25	40,00
5	25	43,00
Promedio		44,40

Tabla 4.50: Ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

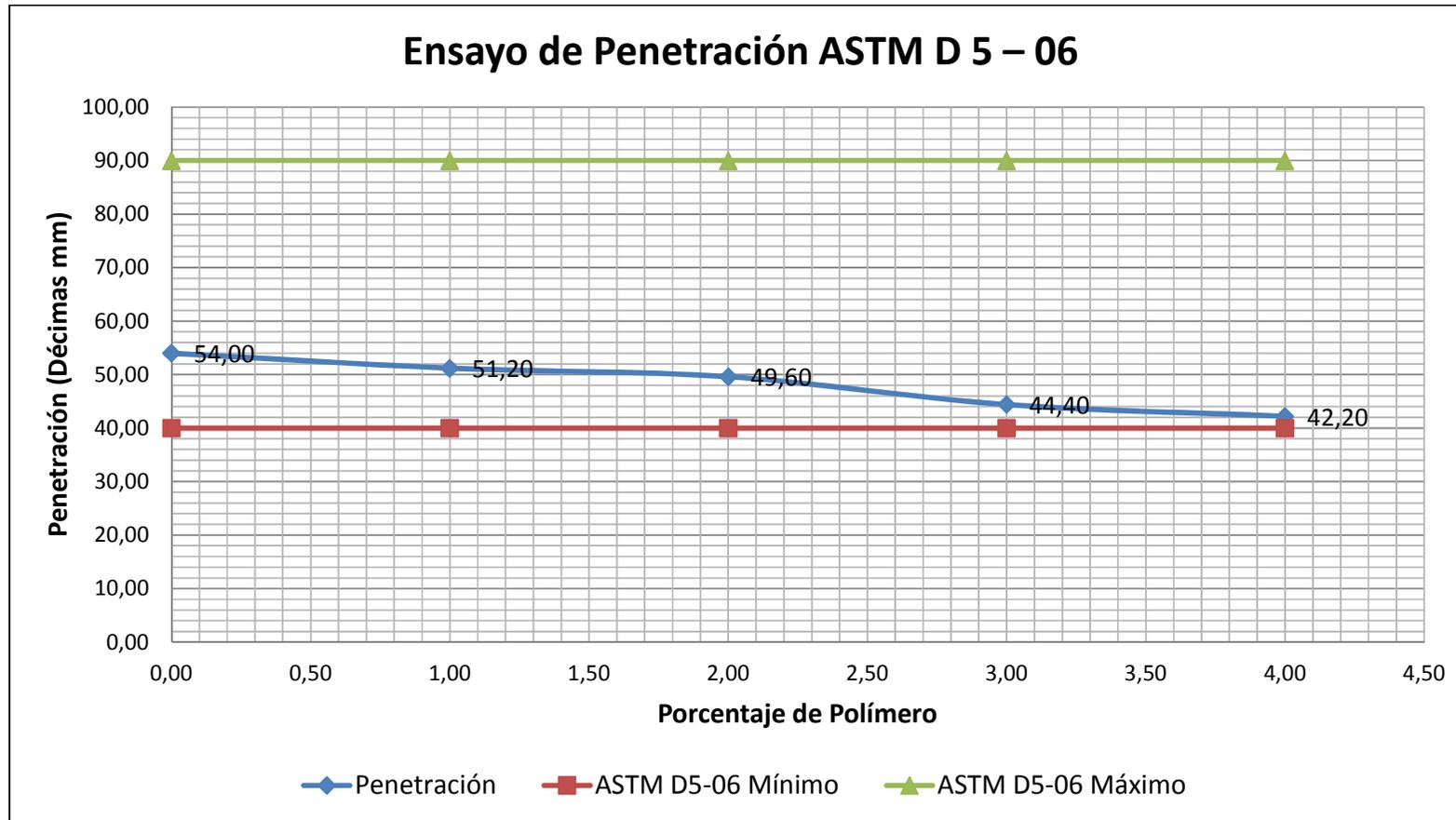
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura °C	Décimas mm
1	25	42,00
2	25	41,00
3	25	42,00
4	25	43,00
5	25	43,00
Promedio		42,20

Tabla 4.51: Ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Penetración (Décimas mm)	%Polímero	Min	Max
54,00	0,00	40	90
51,20	1,00	40	90
49,60	2,00	40	90
44,40	3,00	40	90
42,20	4,00	40	90

Tabla 4.52: Resultados ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06.



Cuadro 4.5: Resultados ensayo de penetración en el residuo ASTM D 5-06.

## **4.7 Ensayo de Reblandecimiento del Bitumen usando Anillo y Bola (Residuo de la Emulsión) empleando la Norma ASTM D 36 – 06.**

### **4.7.1 Objetivo.**

Esta prueba permite determinar el punto de reblandecimiento del bitumen en el rango de 30 a 157 °C usando el equipo de —anillo y bola sumergido en agua destilada (30 – 50 °C), glicerina USP (>80 – 157 °C), o el etileno glicol (30 – 110 °C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina. El punto de reblandecimiento es útil en la clasificación de los bitúmenes, como un elemento constitutivo de la uniformidad de los traslados o de las fuentes de suministro y es indicativo de la tendencia del material a fluir en temperaturas elevadas cuando están en servicio.

### **4.7.2 Procedimiento.**

- Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se homogeniza su contenido con una espátula.
- Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos.



Figura 4.31: Colocación del betún en el anillo.

- Una vez que las muestras se encuentren frías, cortar el exceso de betún sobre la parte superior del anillo con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que el betún quede al ras y a nivel con el anillo.



Figura 4.32: Muestras enrasadas

- Seleccione el líquido de baño correspondiente para el ensayo. Agua destilada: para suavizar puntos entre 30 – 80°C.

- Monte el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de  $105 \pm 3$  mm con el aparato en su lugar.
- Coloque las esferas en las guías y sumerja el aparato en el medio de baño correspondiente.



Figura 4.33: Colocación de las esferas sobre los anillos.

- Calentar el baño de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de  $5^{\circ}\text{C}$  cada minuto.
- Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de  $1^{\circ}\text{C}$ , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.



Figura 4.34: Inicio del Ensayo



Figura 4.35: Ensayo en proceso



Figura 4.36: Fin del ensayo

### 4.7.3 Resultados

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura (°C)
1	58,50
2	59,00
3	57,50
4	58,00
Promedio	58,25

Tabla 4.53: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura (°C)
1	60,00
2	61,50
3	62,00
4	63,00
Promedio	61,63

Tabla 4.54: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura (°C)
1	65,50
2	66,00
3	68,50
4	70,50
Promedio	67,63

Tabla 4.55: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura (°C)
1	66,00
2	70,00
3	70,00
4	69,00
Promedio	68,75

Tabla 4.56: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

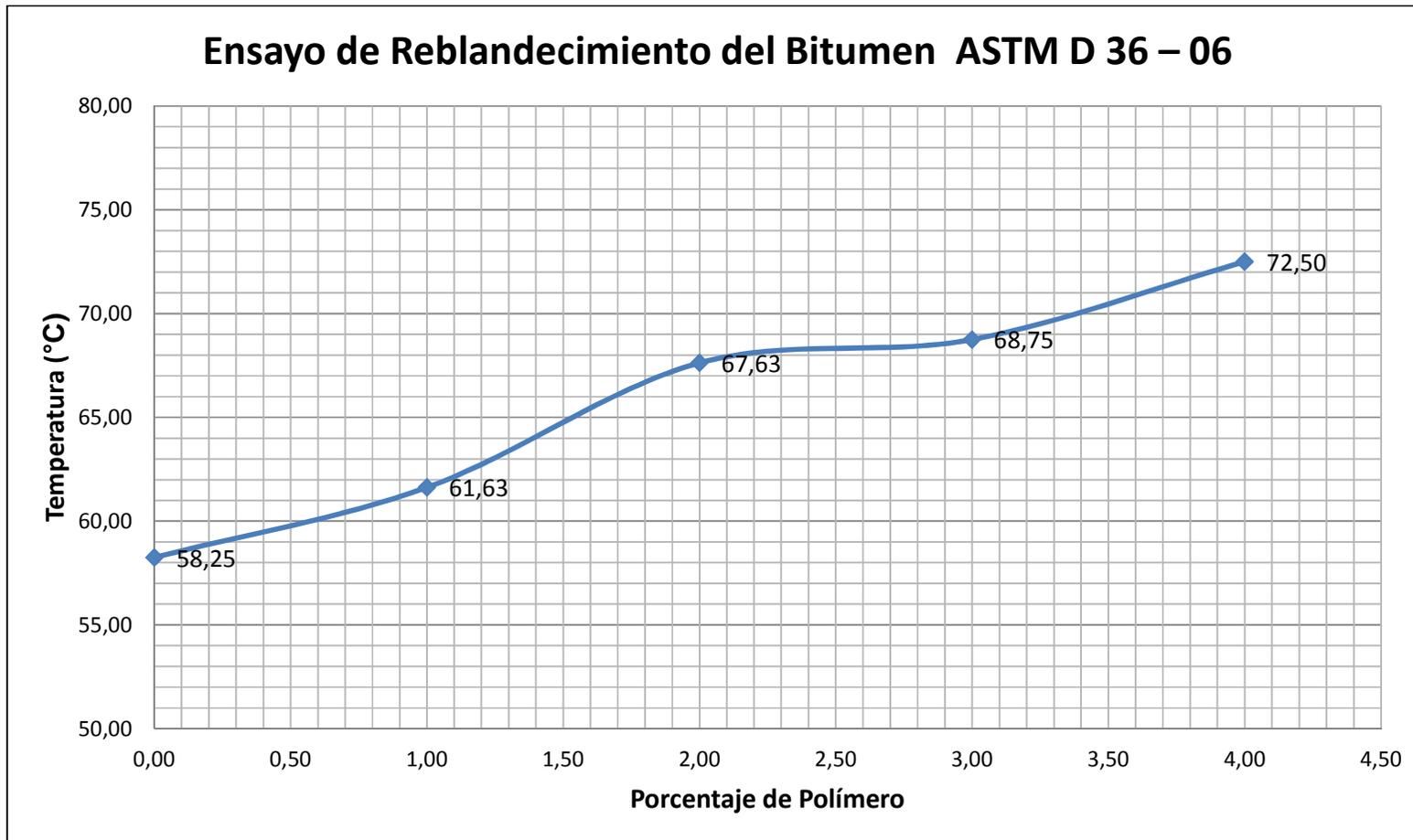
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Temperatura (°C)
1	69,00
2	73,00
3	74,00
4	74,00
Promedio	72,50

Tabla 4.57: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Pto. Reblandecimiento °C	% Polímero
58,25	0,00
61,63	1,00
67,63	2,00
68,75	3,00
72,50	4,00

Tabla 4.58: Resultados ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06.



Cuadro 4.6: Resultados ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36-06.

## **4.8 Ensayo de Carga de Partícula en el Ligante empleando la Norma ASTM D 244-09.**

### **4.8.1 Objetivo.**

Esta prueba permite determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones, con el propósito de identificarlas como aniónicas cuando los glóbulos tienen una carga eléctrica negativa y como catiónicas cuando su carga es positiva.

### **4.8.2 Procedimiento.**

- Se conectan a la fuente de poder los electrodos limpios y secos, que se introducen en la emulsión hasta que queden sumergidos 25 mm, sin tocar las paredes ni el fondo del vaso.
- Se conecta la fuente de poder a la corriente eléctrica y se ajusta para lograr una intensidad de 8 miliamperios, accionando en este momento el cronómetro.



Figura 4.37: Electrodos en la emulsión asfáltica.

- Cuando hayan transcurrido 30 minutos de aplicación de la corriente, o bien cuando se reduzca la intensidad de la misma a 2 miliamperios, se desconectan los electrodos, se retiran de la muestra de prueba y se lavan con agua potable.
- Se observa en cuál de los electrodos se encuentra adherido el asfalto para así determinar si se trata de una emulsión asfáltica catiónica o aniónica. Las emulsiones catiónicas depositan una capa apreciable de asfalto sobre el cátodo o electrodo negativo, mientras que el ánodo o electrodo positivo se conserva relativamente limpio; lo contrario ocurre con las emulsiones aniónicas.



Figura 4.38: Asfalto adherido al electrodo negativo

#### 4.8.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**  
Carga Positiva
- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**  
Carga Positiva
- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**  
Carga Positiva
- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**  
Carga Positiva
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**  
Carga Positiva

## **4.9 Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 empleando la Norma ASTM D 6933 – 08.**

### **4.9.1 Objetivo.**

Este método de ensayo permite cuantificar el asfalto de una emulsión que se retiene en la malla N°20, para estimar la uniformidad de la emulsión. La prueba consiste en hacer pasar a través de la malla N°20 una cantidad de emulsión y calcular los porcentajes de asfalto que se retienen en ella. La retención de una cantidad excesiva de partículas en el tamiz, indica que pueden producirse problemas en el manejo y aplicación de la emulsión asfáltica. El almacenamiento, bombeo, tratamiento y la temperatura, puede contribuir a la formación de partículas.

### **4.9.2 Procedimiento.**

- La temperatura a la cual se realiza el ensayo, está en función de la viscosidad (Saybolt Furol) de la emulsión asfáltica.
  - Viscosidad < 100 segundos a menos de 25°C: El ensayo se realiza a temperatura ambiente.
  - Viscosidad > 100 segundos a 25°C, y aquellos cuya viscosidad se especifica a 50°C: El ensayo se realiza a temperatura de  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ .

- Pese el tamiz y la bandeja en conjunto, registre el valor obtenido.



Figura 4.39: Peso del tamiz y la bandeja.

- Se vierten en un vaso de precipitación 1000 +5 gramos de la emulsión asfáltica a ser ensayada. Esta cantidad se hace pasar por la malla N°20. Lave el recipiente y el tamiz con agua destilada o agua desionizada hasta que el lavado sea claro.



Figura 4.40: Vertido de la emulsión a través del tamiz.



Figura 4.41: Lavado del tamiz



Figura 4.42: Tamiz lavado

- Coloque el recipiente debajo del tamiz y caliente durante 2 horas a una temperatura en el horno de  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ . Deje enfriar y pese el recipiente, el tamiz y el residuo.



Figura 4.43: Peso del tamiz y la bandeja después del ensayo.

- Calcule el porcentaje de asfalto retenido empleando la siguiente ecuación

$$\% \text{ Asfalto Retenido} = \frac{(A - B)}{10}$$

Donde:

A: Peso de la bandeja, tamiz y residuo.

B: Peso de la bandeja y tamiz

#### 4.9.3 Resultados

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% Retenido
1	777,79	777,82	0,003
2	777,78	777,82	0,004
3	777,80	777,83	0,003
Promedio			0,0033

Tabla 4.59: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% Retenido
1	777,54	777,58	0,004
2	777,55	777,59	0,004
3	777,56	777,6	0,004
Promedio			0,0040

Tabla 4.60: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% Retenido
1	777,70	777,74	0,004
2	777,72	777,76	0,004
3	777,70	777,73	0,003
Promedio			0,0037

Tabla 4.61: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% Retenido
1	777,32	777,36	0,004
2	777,35	777,39	0,004
3	777,34	777,38	0,004
Promedio			0,0040

Tabla 4.62: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

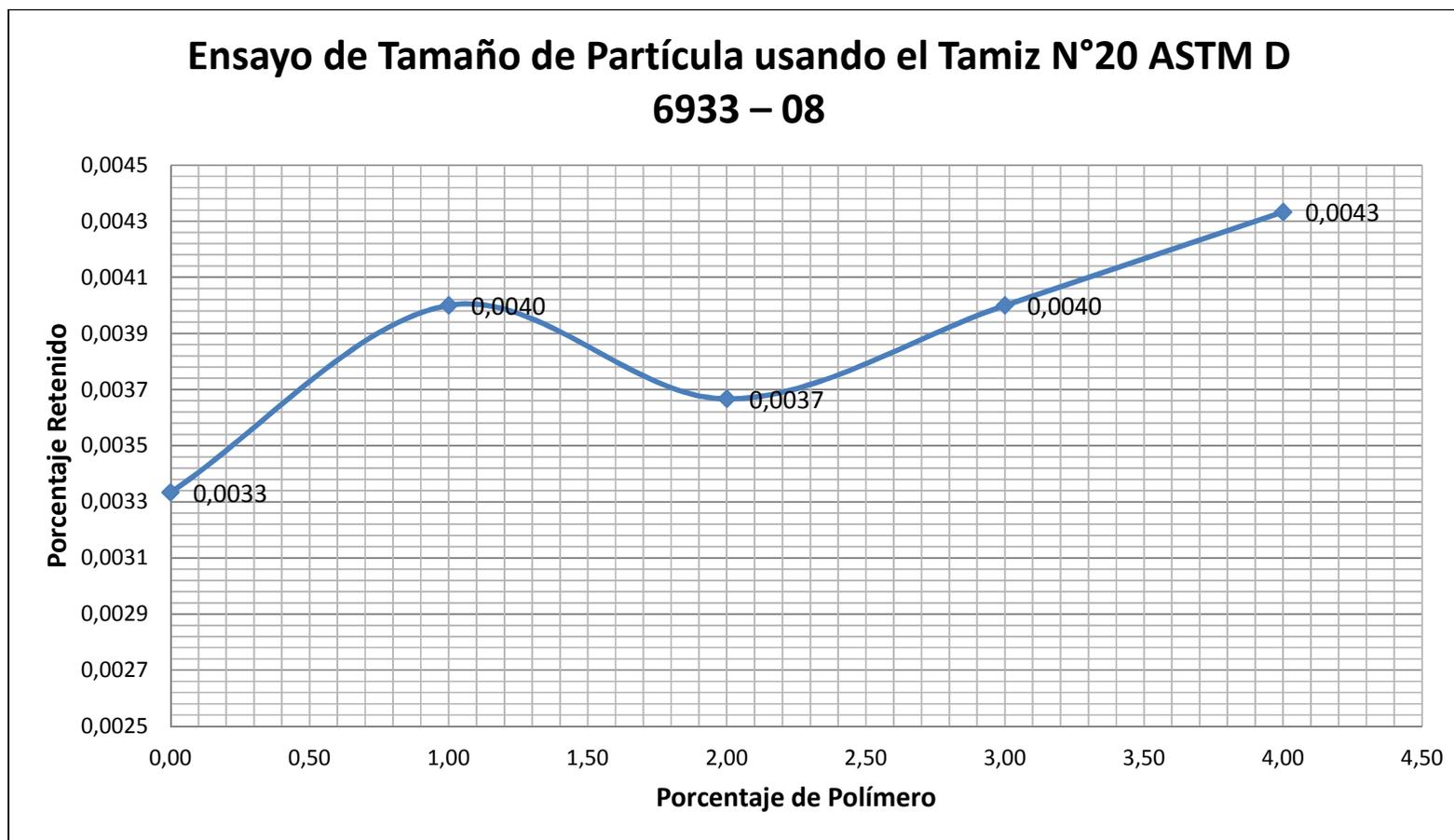
Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	% Retenido
1	777,24	777,28	0,004
2	777,31	777,36	0,005
3	777,32	777,36	0,004
Promedio			0,0043

Tabla 4.63: Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

% Retenido	%Polímero
0,0033	0,00
0,0040	1,00
0,0037	2,00
0,0040	3,00
0,0043	4,00

Tabla 4.64: Resultados ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08.

### Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08



Cuadro 4.7: Resultados ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N°20 ASTM D 6933 – 08

## **4.10 Ensayo de Ductilidad empleando la Norma ASTM D 113-07.**

### **4.10.1 Objetivo**

Esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse, de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones.

El ensayo consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en centímetros en la que la probeta puede ser estirada sin romperse. El ensayo generalmente debe ser realizado con una velocidad de tracción de  $50 \pm 2.5$  mm por minuto y la temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C; aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo especificarse la velocidad correspondiente.

### **4.10.2 Procedimiento**

- Para evitar la adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, se cubren estas con una ligera capa de vaselina. La placa con el molde se colocan sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la placa.



Figura 4.44: Molde para realizar las briquetas.

- Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica se homogeneiza su contenido con una varilla de cristal.
- Se vierte cuidadosamente el asfalto residual sobre el molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire.
- Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos.
- El conjunto de la placa, molde y probeta, se colocan dentro de un baño de agua, a una temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , durante 30 minutos; se saca del baño y se enrasa la muestra cortando el exceso de material con una espátula previamente calentada para facilitar el corte.

- Se vuelve a introducir la muestra en el baño de agua a una temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , durante  $90 \pm 5$  minutos. A continuación se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.
- La probeta se monta en el ductilómetro previamente preparado con agua a  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pieza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad de 50mm por minuto hasta que se produzca la rotura.



Figura 4.45: Ductilómetro



Figura 4.46: Montaje de las muestras en el Ductilómetro

- Se mide la distancia desplazada en centímetros que se han separado ambas piezas.



Figura 4.47: Deformación en las muestras

#### 4.10.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Deformación (cm)
1	15,50
2	15,00
Promedio	15,25

Tabla 4.65: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Deformación (cm)
1	21,00
2	18,00
Promedio	19,50

Tabla 4.66: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Deformación (cm)
1	22,00
2	21,50
Promedio	21,75

Tabla 4.67: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Deformación (cm)
1	23,00
2	21,00
Promedio	22,00

Tabla 4.68: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

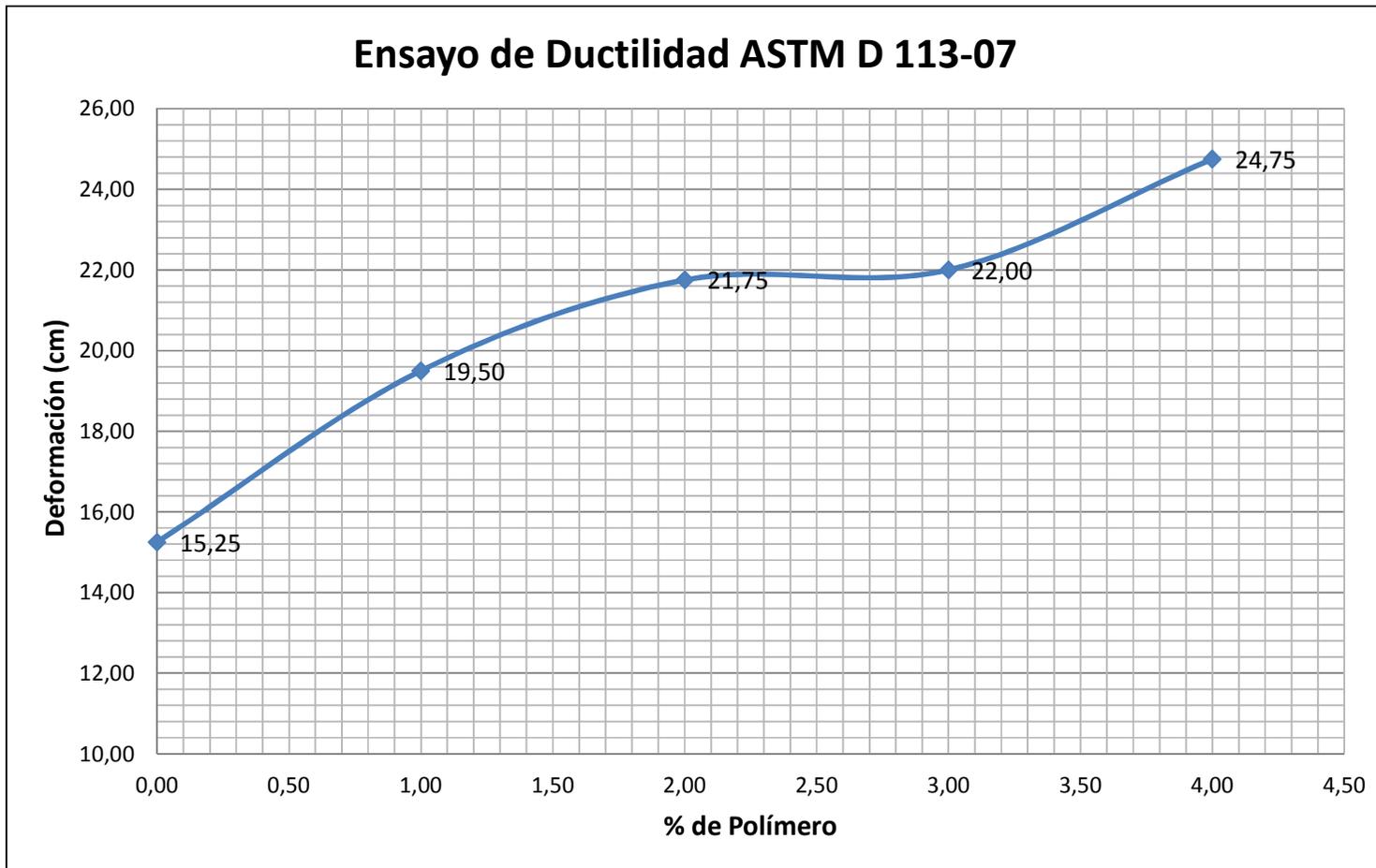
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Deformación (cm)
1	24,00
2	25,50
Promedio	24,75

Tabla 4.69: Ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Deformación (cm)	%Polímero
15,25	0,00
19,50	1,00
21,75	2,00
22,00	3,00
24,75	4,00

Tabla 4.70: Resultados ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07.



Cuadro 4.8: Resultados ensayo de Ductilidad ASTM D 113-07.

## **4.11 Ensayo de Recuperación Elástica empleando la Norma ASTM D 6084-06.**

### **4.11.1 Objetivo**

Esta prueba permite determinar la recuperación elástica del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en mantener una muestra de prueba estirada en un ductilómetro durante un tiempo determinado, después del cual se corta por la mitad, se deja reposar y finalmente se observa cuánto se recupera la deformación.

### **4.11.2 Procedimiento**

- Para evitar la adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, se cubren estas con una ligera capa de vaselina. La placa con el molde se colocan sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la placa.
- Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica se homogeneiza su contenido con una varilla de cristal.

- Se vierte cuidadosamente el asfalto residual sobre el molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire.
- Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos.



Figura 4.48: Preparación de las briquetas

- El conjunto de la placa, molde y probeta, se colocan dentro de un baño de agua, a una temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , durante 30 minutos; se saca del baño y se enrasa la muestra cortando el exceso de material con una espátula previamente calentada para facilitar el corte.
- Se vuelve a introducir la muestra en el baño de agua a una temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , durante  $90 \pm 5$  minutos. A continuación se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

- La probeta se monta en el ductilómetro previamente preparado con agua a  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pieza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad de 50mm por minuto hasta que se produzca la rotura.



Figura 4.49: Muestra en el ductilómetro a  $25^{\circ}\text{C}$

- Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/min, con una variación de  $\pm 5\%$ , hasta que la briqueta se haya deformado 10 cm, momento en el cual se detiene el mecanismo y se mantiene al espécimen en esta posición durante 5 min. Se procede enseguida a cortar por el centro al espécimen con unas tijeras, permitiéndole permanecer intacto en el ductilómetro.



Figura 4.50: Recuperación elástica de las partes separadas de la briqueta

- Se regresa la mitad del espécimen hasta que los extremos cortados se toquen; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en cm.
- Se calcula la recuperación elástica empleando la siguiente ecuación.

$$R = \frac{10 - x}{10} * 100$$

Donde:

R= Recuperación Elástica (%)

X= Lectura del desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados del espécimen (cm)

#### 4.11.3 Resultados.

- **Emulsión CQS sin Polímero SBR:**

Muestra	Desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados (mm)	Recuperación Elástica (%)
1	9,90	1,00
2	9,90	1,00
	Promedio	1,00

Tabla 4.71: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Muestra	Desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados (mm)	Recuperación Elástica (%)
1	9,90	1,00
2	9,80	2,00
	Promedio	1,50

Tabla 4.72: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Muestra	Desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados (mm)	Recuperación Elástica (%)
1	9,70	3,00
2	9,70	3,00
	Promedio	3,00

Tabla 4.73: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Muestra	Desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados (mm)	Recuperación Elástica (%)
1	9,70	3,00
2	9,60	4,00
	Promedio	3,50

Tabla 4.74: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

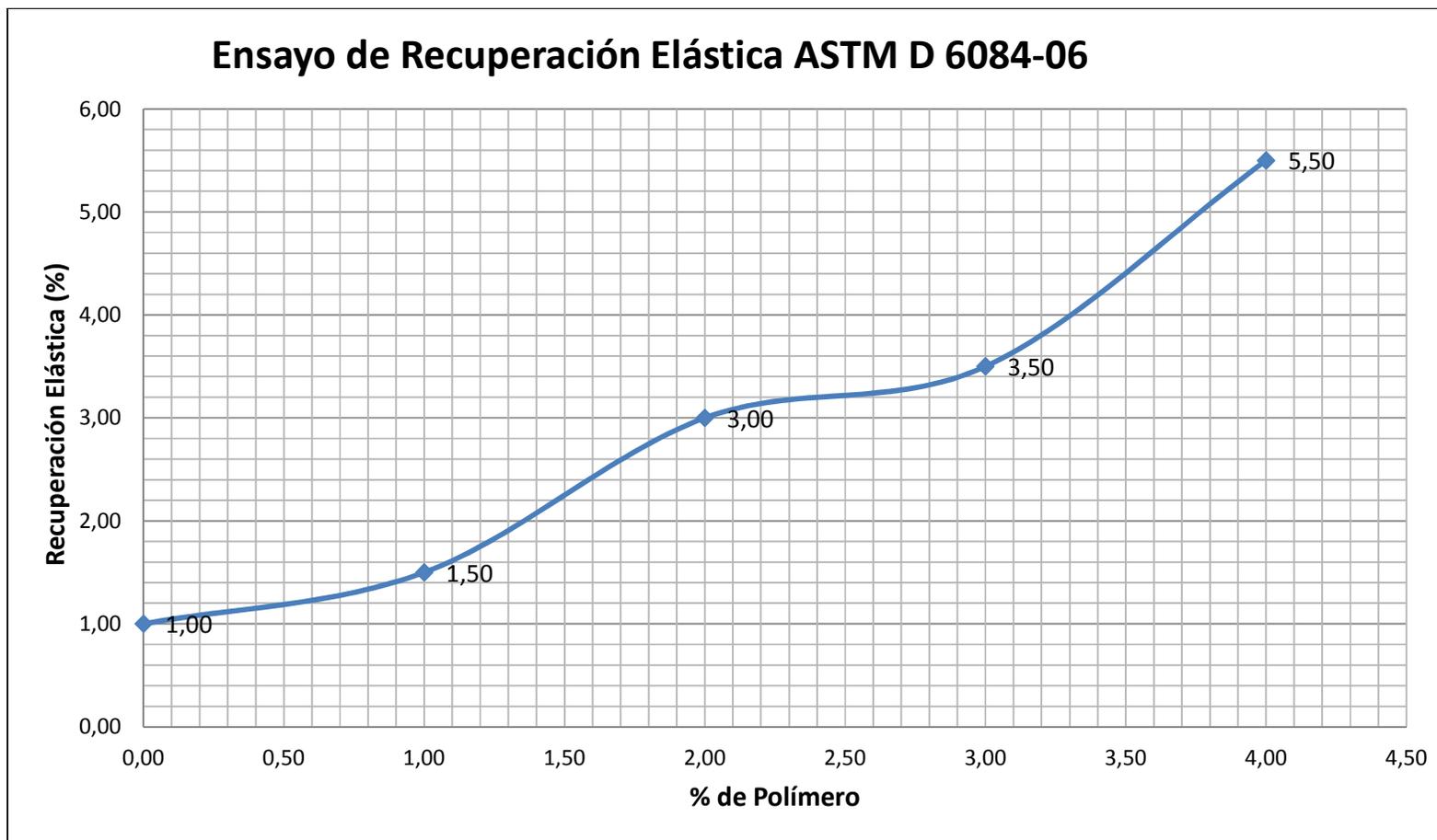
- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Muestra	Desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados (mm)	Recuperación Elástica (%)
1	9,40	6,00
2	9,50	5,00
	Promedio	5,50

Tabla 4.75: Ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Recuperación Elástica (%)	% Polímero
1,00	0,00
1,50	1,00
3,00	2,00
3,50	3,00
5,50	4,00

Tabla 4.76: Resultados ensayo de Recuperación Elástica ASTM D 6084-06.



Cuadro 4.9: Resultados ensayo de Recuperación Elástica empleando la Norma ASTM D 6084-06.

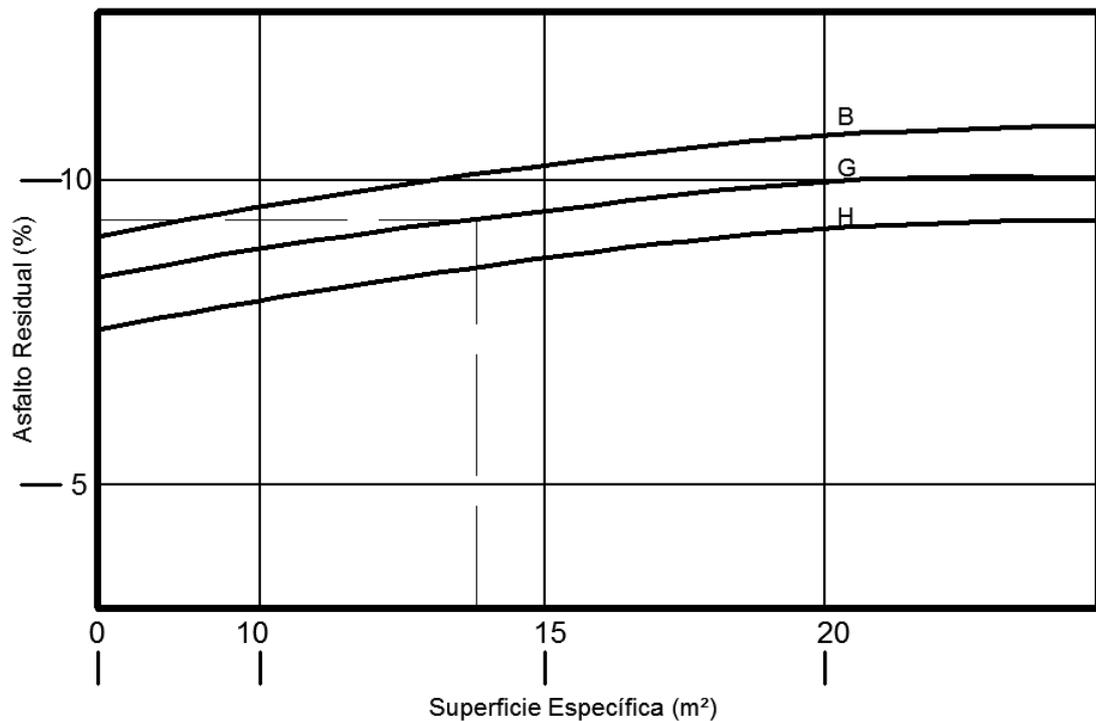
# **CAPITULO V**

## **ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFALTICA**

## CAPÍTULO V: ENSAYOS EN LA MEZCLA ASFALTICA.

### 5.1 Determinación del Porcentaje Teórico de Emulsión para el material pétreo de las canteras de Guayllabamba, San Antonio.

El método Duriez realiza un cálculo del área superficial de los áridos, basado en la granulometría, y determina el porcentaje teórico de cemento asfáltico utilizando una constante denominada “módulo de riqueza”.



Cuadro 5.1: Curva para determinar el porcentaje de asfalto residual. (Fuente: Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros, para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el distrito Metropolitano de Quito)

Donde:

**G:** Materiales con bajo EA y Absorción Alta

**B:** Materiales con Propiedades Promedio

**H:** Materiales con alto EA y Absorción Baja

$$SE = \frac{1}{100} (0,342 * G + 1,92 * g + 15,33 * K + 118 * F)$$

Donde:

**SE:** Superficie Específica

**G:** Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz 3/8 y se retiene en el N° 4

**g:** Porcentaje de agregado retenido entre el tamiz N° 4 y N° 50

**K:** Porcentaje de agregado retenido entre el tamiz N° 50 y N° 200

**F:** Porcentaje de agregado que pasa el tamiz N° 200

### 5.1.1 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba:**

		Material			Especificaciones ISSA	
		Retenido Acumulado		Pasante	Min	Max
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)		
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	52,581	3,16	96,84	90	100
N°8	2,36	463,9575	27,85	72,15	65	90
N°16	1,18	808,352	48,53	51,47	45	70
N°30	0,60	1093,4588	65,65	34,35	30	50
N°50	0,30	1340,6745	80,49	19,51	18	30
N°100	0,15	1509,299	90,61	9,39	10	21
N°200	0,075	1573,623	94,47	5,53	5	15
		1665,672	100,00			

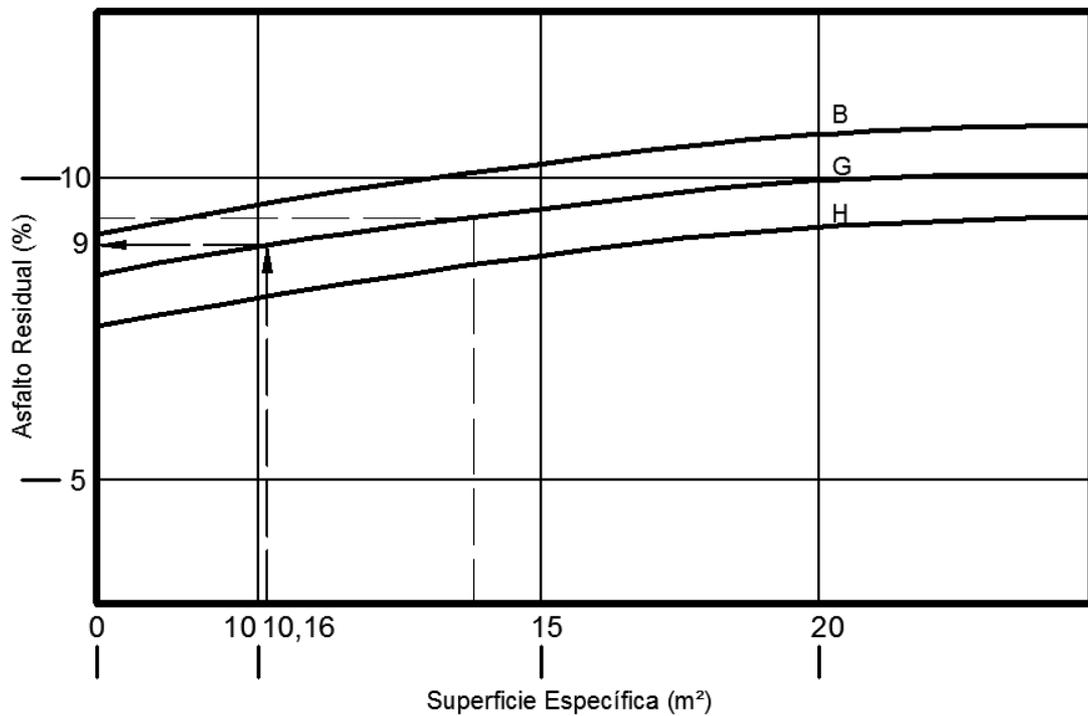
Tabla 5.1: Granulometría de la cantera de Guayllabamba

$$SE = \frac{1}{100} (0,342 * G + 1,92 * g + 15,33 * K + 118 * F)$$

	Gramos	%
G	52,58	3,16
g	1288,09	77,33
K	232,95	13,99
F	92,05	5,53

Tabla 5.2: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 10,16\%$$



Cuadro 5.2: Curva para determinar el % de asfalto residual.

$$\% \text{ de Asfalto en la Emulsión} = 62,00\%$$

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,00\%$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = \frac{\% \text{ de Asfalto Residual}}{\% \text{ de Asfalto en la Emulsión}} * 100$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = \frac{9,00}{62,00} * 100$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = 14,52\%$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico Asumido} = 14,50\%$$

- **Cantera de San Antonio:**

		Material			Especificaciones ISSA	
		Retenido Acumulado		Pasante	Min	Max
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)		
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	223,2255	10,34	89,66	90	100
N°8	2,36	604,775	28,00	72,00	65	90
N°16	1,18	960,7775	44,49	55,51	45	70
N°30	0,60	1201,831	55,65	44,35	30	50
N°50	0,30	1485,8065	68,80	31,20	18	30
N°100	0,15	1749,2185	81,00	19,00	10	21
N°200	0,075	1996,693	92,46	7,54	5	15
		2159,557	100,00			

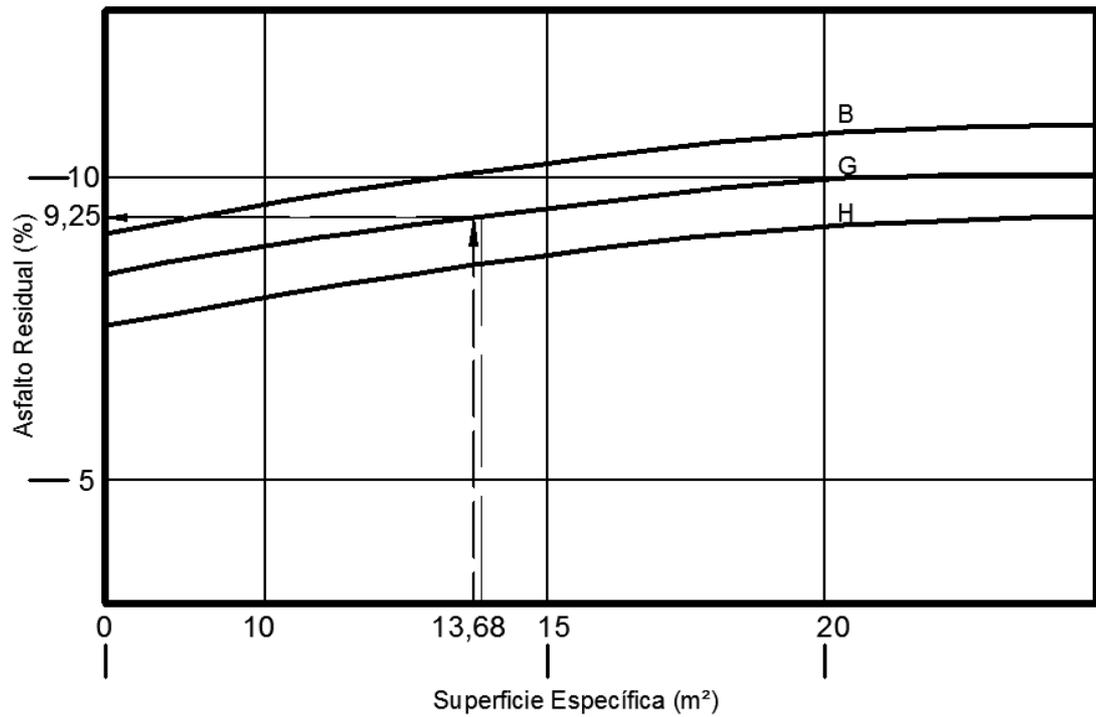
Tabla 5.3: Granulometría de la cantera de San Antonio.

$$SE = \frac{1}{100} (0,342 * G + 1,92 * g + 15,33 * K + 118 * F)$$

	Gramos	%
G	223,23	10,34
g	1262,58	58,46
K	510,89	23,66
F	162,86	7,54

Tabla 5.4: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 13,68\%$$



Cuadro 5.3: Curva para determinar el % de asfalto residual.

$$\% \text{ de Asfalto en la Emulsión} = 62,00\%$$

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,25\%$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = \frac{\% \text{ de Asfalto Residual}}{\% \text{ de Asfalto en la Emulsión}} * 100$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = \frac{9,25}{62,00} * 100$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico} = 14,91\%$$

$$\% \text{ de Emulsion Teórico Asumido} = 15,00\%$$

La utilización del cemento Portland Tipo I dependerá de dos factores. Para corregir la curva granulométrica o para mejorar el comportamiento de la mezcla en los ensayos mecánicos, generalmente se utiliza entre 0,5 – 3 % del peso del agregado seco, con los siguientes objetivos:<sup>8</sup>

- Mejorar la dispersión de partículas de la estructura granular.
- Facilitar la trabajabilidad.
- Ayuda a producir una mezcla más densa, estable, con mayor poder impermeabilizante y altamente cohesiva.

Para la elaboración de mezcla asfáltica se ha tomado un valor de 1% de cemento Portland tipo I, tanto para los agregados de la Cantera de San Antonio como de Guayllabamba.

---

<sup>8</sup><http://xa.yimg.com/kq/groups/13240622/1425810497/name/Dosificacion+lechada.pdf>

## **5.2 Ensayo de Consistencia con el Cono para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB - 106**

### **5.2.1 Objetivo.**

Este ensayo se utiliza para determinar la cantidad de agua requerida para lograr estabilidad y trabajabilidad en la mezcla, El ensayo utiliza el cono del ensayo de absorción de arena ASTM C-128 o AASTHO T-84, y una base de escala de flujo. También se utiliza para el control de campo.

### **5.2.2 Procedimiento.**

- Se coloca 400 g. de material pétreo en un tazón. Si existe poca presencia de material fino, se debe añadir cemento portland en un porcentaje de 1% de acuerdo al peso del material pétreo.
- Se añade agua haciendo variar su porcentaje para cada muestra preparada, y posteriormente se coloca la cantidad predeterminada de emulsión.
- Una vez preparada la muestra, se debe mezclar durante 30 segundos logrando homogeneidad en la misma.

- Se coloca el cono de manera centrada sobre la base de escala de flujo. Vierta la muestra previniendo no realizar golpes bruscos sobre la superficie del cono.

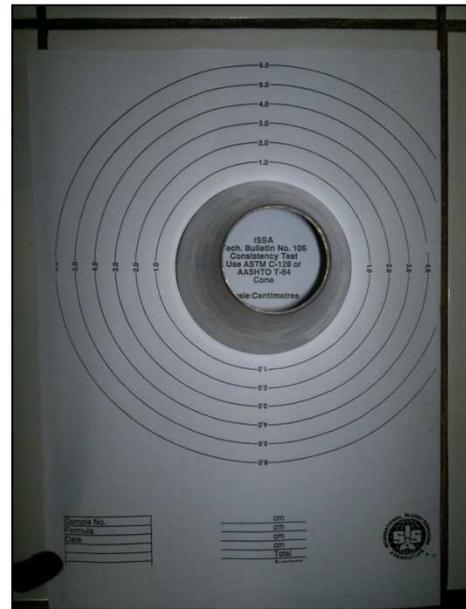


Figura 5.1: Cono Centrado en la Escala de Flujo.

- Una vez llenado el cono, se procede inmediatamente a levantarlo con un movimiento vertical y dócil.
- La muestra tendrá un desplazamiento, él cual se registrará en los cuatro puntos distribuidos ortogonalmente en la escala de flujo. Se tomará como resultado del ensayo el promedio de las cuatro lecturas, registrándose en cm.



Figura 5.2: Lectura de la Mezcla Asfáltica distribuida en la Escala de Flujo.

- Se debe procurar un desplazamiento de flujo entre 2 y 3 cm, considerando como óptimo 2,5 cm.

### 5.2.3 Resultados de los Ensayos.

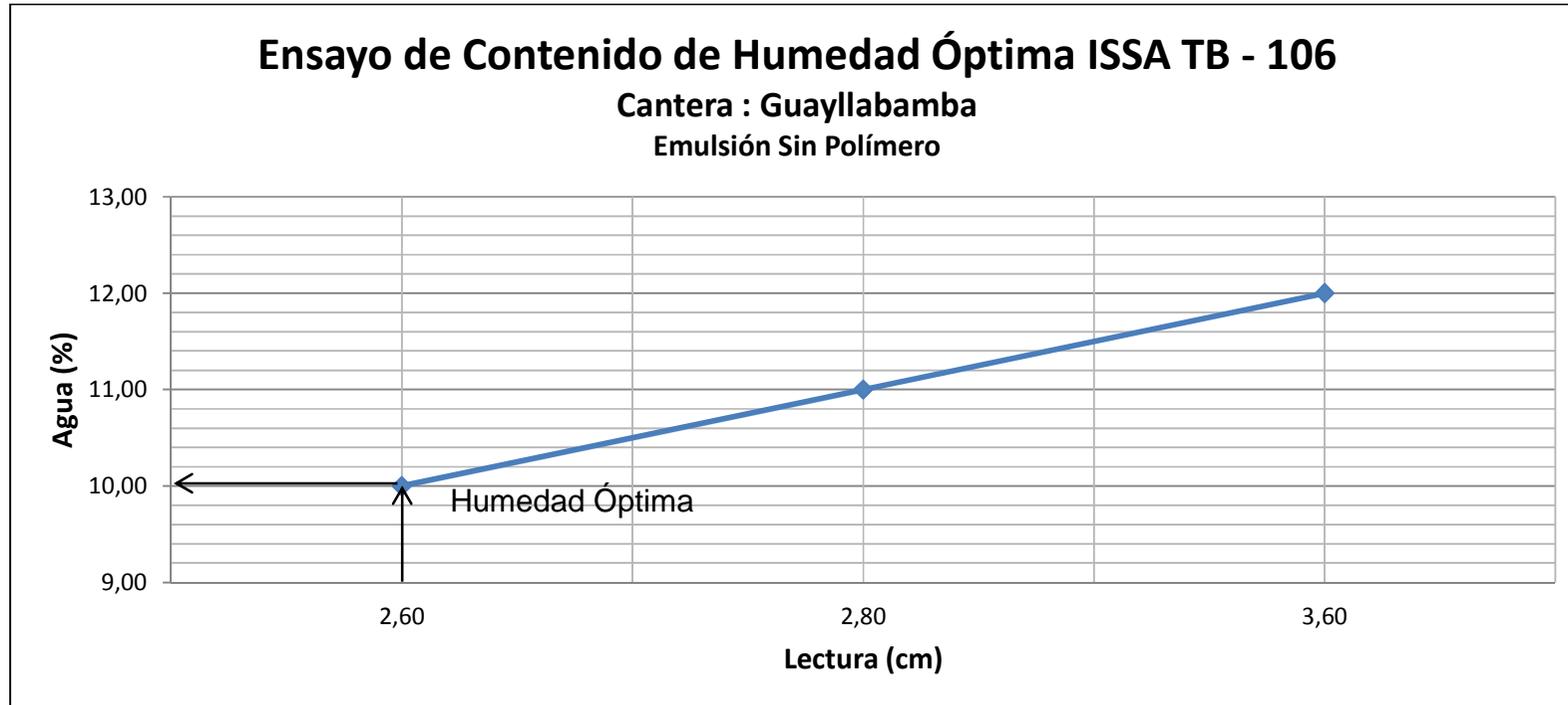
- **Cantera de Guayllabamba**

EMULSIÓN CQS SIN POLIMERO								
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	10,00%		Agua	11,00%		Agua	12,00%	
	40	gr		44	gr		48	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%	
	58	gr		58	gr		58	gr

Lectura (cm)	2,60	2,80	3,60
--------------	------	------	------

Tabla 5.5: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

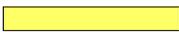


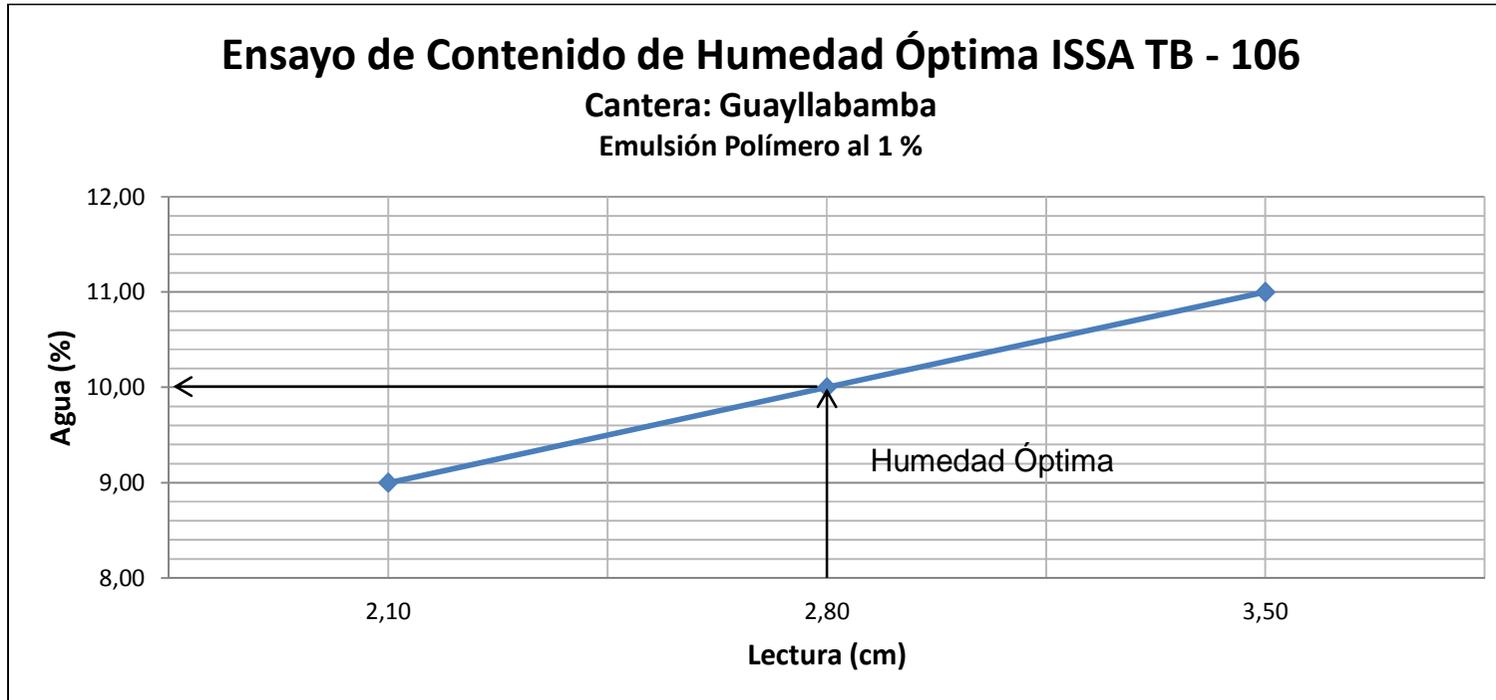
Cuadro 5.4: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar

EMULSIÓN CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	9,00%		Agua	10,00%		Agua	11,00%	
	36	gr		40	gr		44	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%	
	58	gr		58	gr		58	Gr

Lectura (cm)	2,10	2,80	3,50
--------------	------	------	------

Tabla 5.6: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

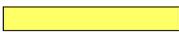


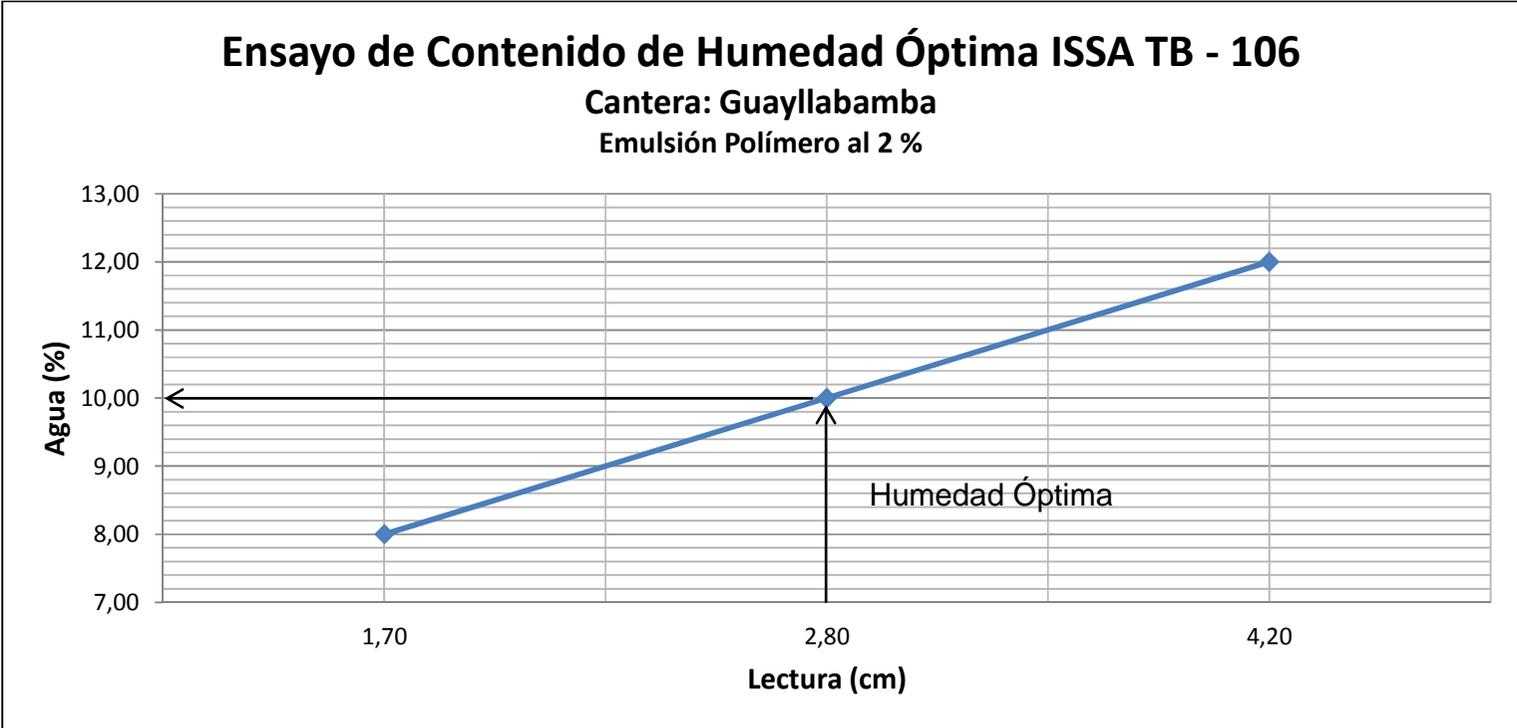
Cuadro 5.5: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 1 % de Polímero SBR

EMULSIÓN CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	8,00%		Agua	10,00%		Agua	12,00%	
	32	gr		40	gr		48	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%	
	58	gr		58	gr		58	Gr

Lectura (cm)	1,70	2,80	4,20
--------------	------	------	------

Tabla 5.7: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

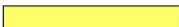


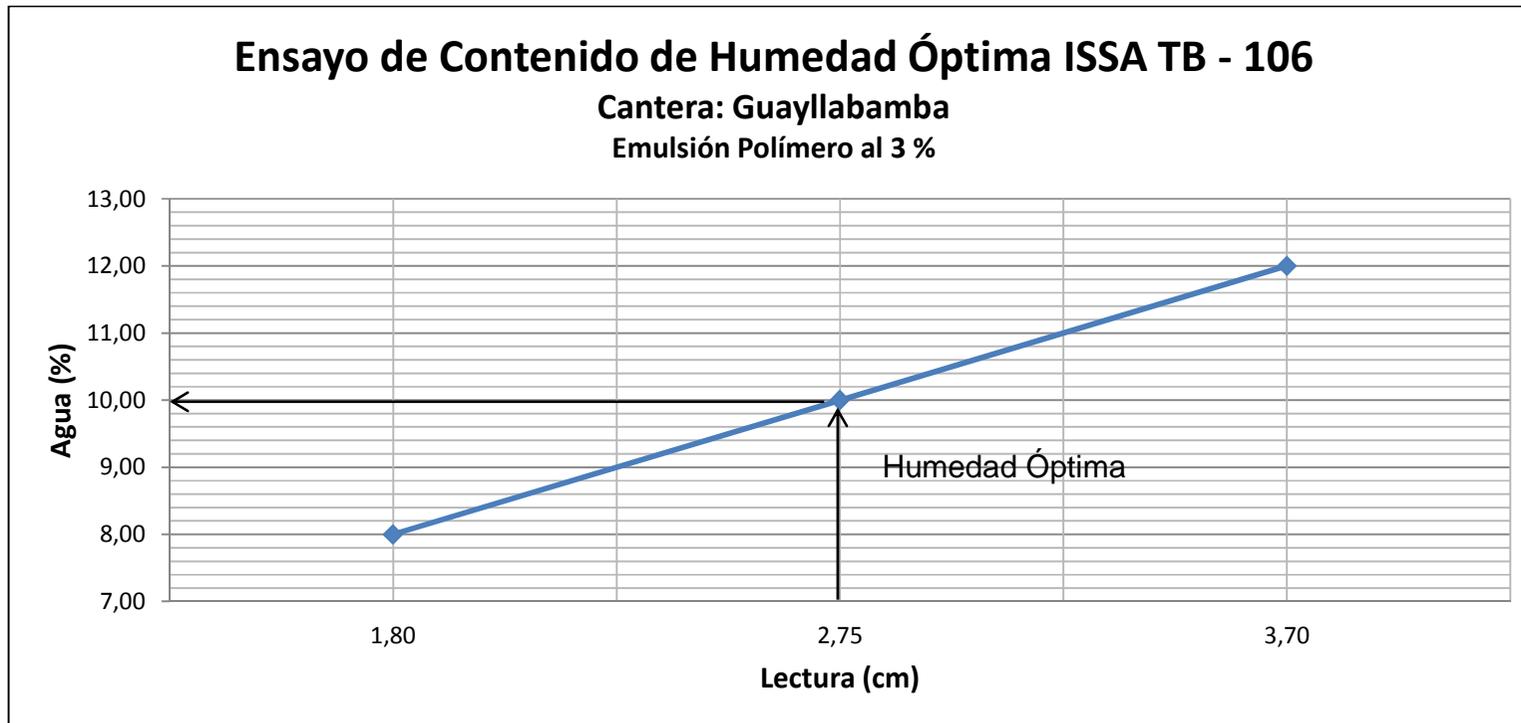
Cuadro 5.6: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 2 % de Polímero SBR

EMULSIÓN CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR								
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,00%		Agua	10,00%		Agua	12,00%	
	32	gr		40	gr		48	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%	
	58	gr		58	gr		58	Gr

Lectura (cm)	1,80	2,75	3,70
--------------	------	------	------

Tabla 5.8: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

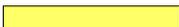


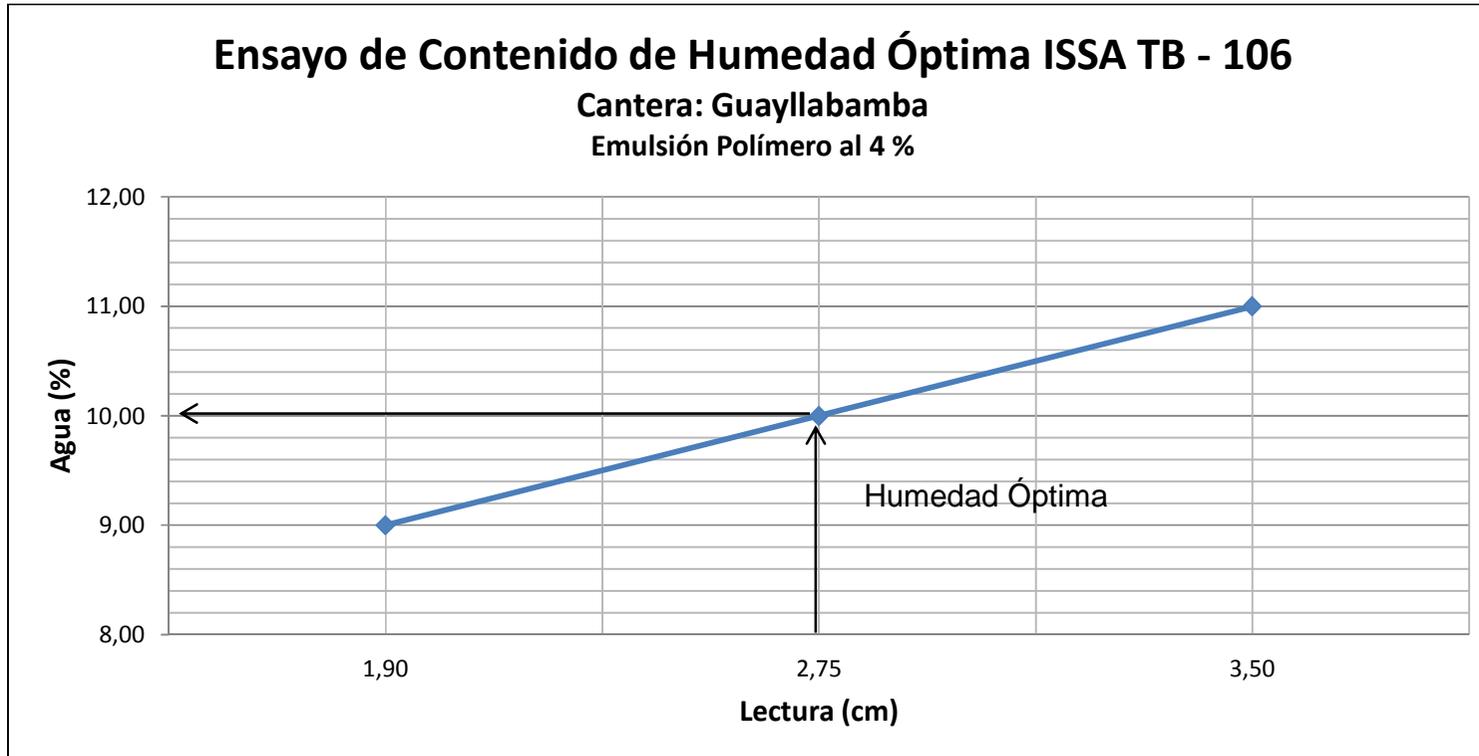
Cuadro 5.7: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 3 % de Polímero SBR

EMULSIÓN CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR								
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	9,00%		Agua	10,00%		Agua	11,00%	
	36	gr		40	gr		44	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	14,50%	
	58	gr		58	gr		58	Gr

Lectura (cm)	1,90	2,75	3,50
--------------	------	------	------

Tabla 5.9: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica



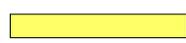
Cuadro 5.8: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 4 % de Polímero SBR

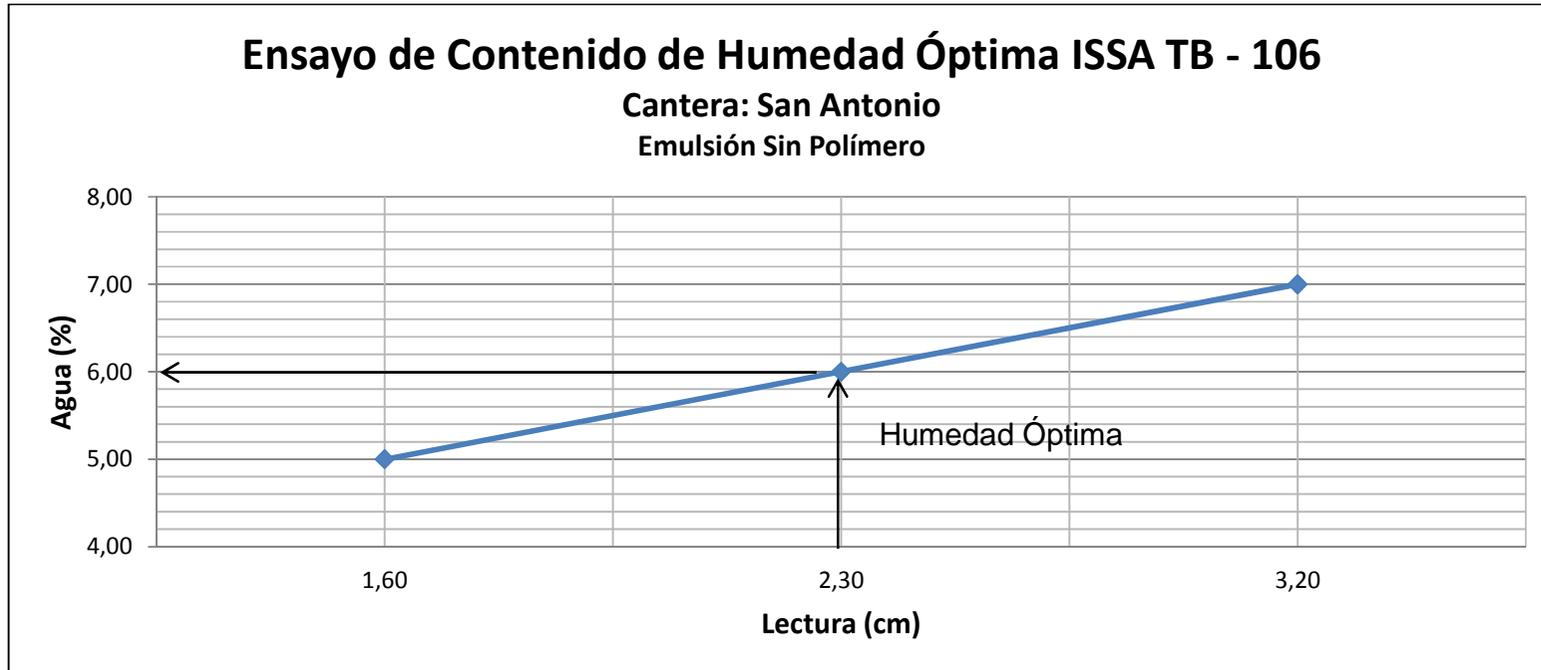
- **Cantera de San Antonio**

EMULSION CQS SIN POLIMERO								
San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	5,00%		Agua	6,00%		Agua	7,00%	
	20	gr		24	gr		28	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%	
	62	gr		62	gr		62	Gr

Lectura (cm)	1,60	2,30	3,20
--------------	------	------	------

Tabla 5.10: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

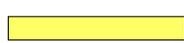


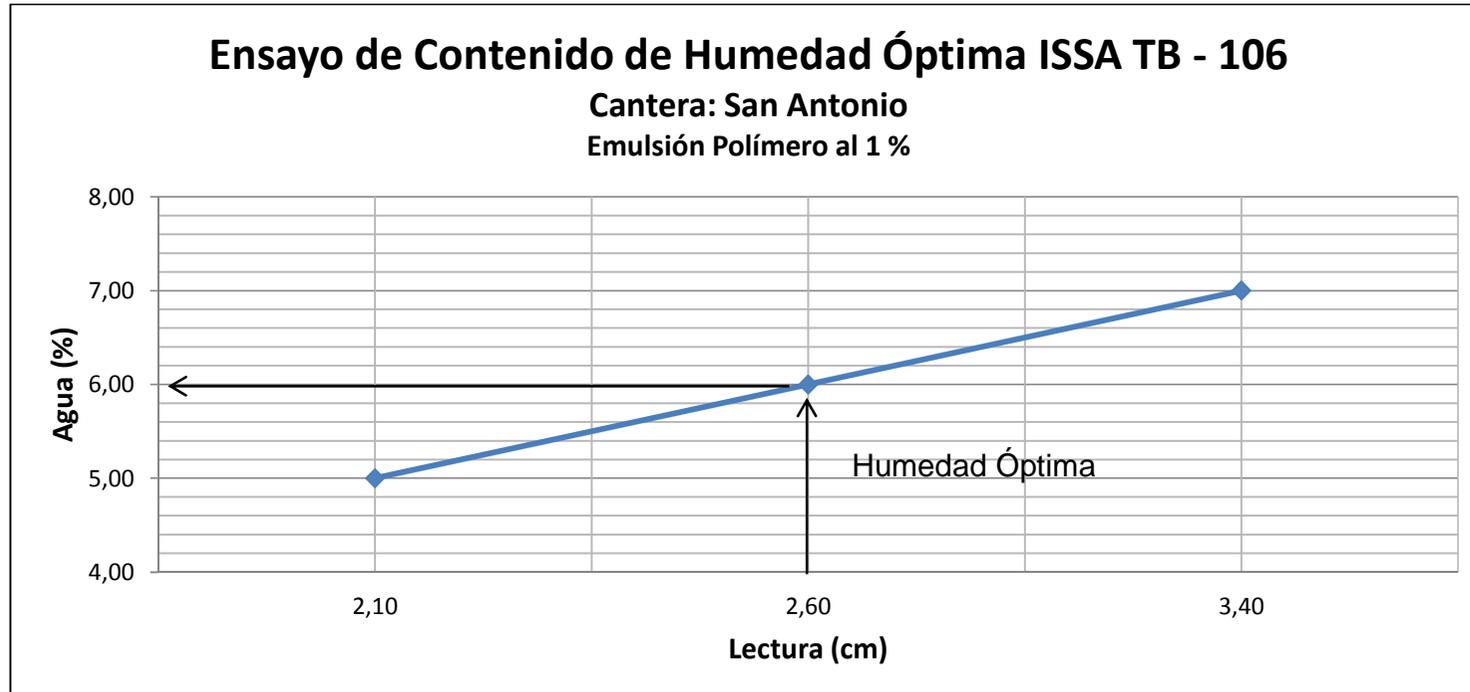
Cuadro 5.9: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica Sin Modificar

EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	5,00%		Agua	6,00%		Agua	7,00%	
	20	gr		24	gr		28	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%	
	62	gr		62	gr		62	Gr

Lectura (cm)	2,10	2,60	3,40
--------------	------	------	------

Tabla 5.11: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

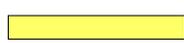


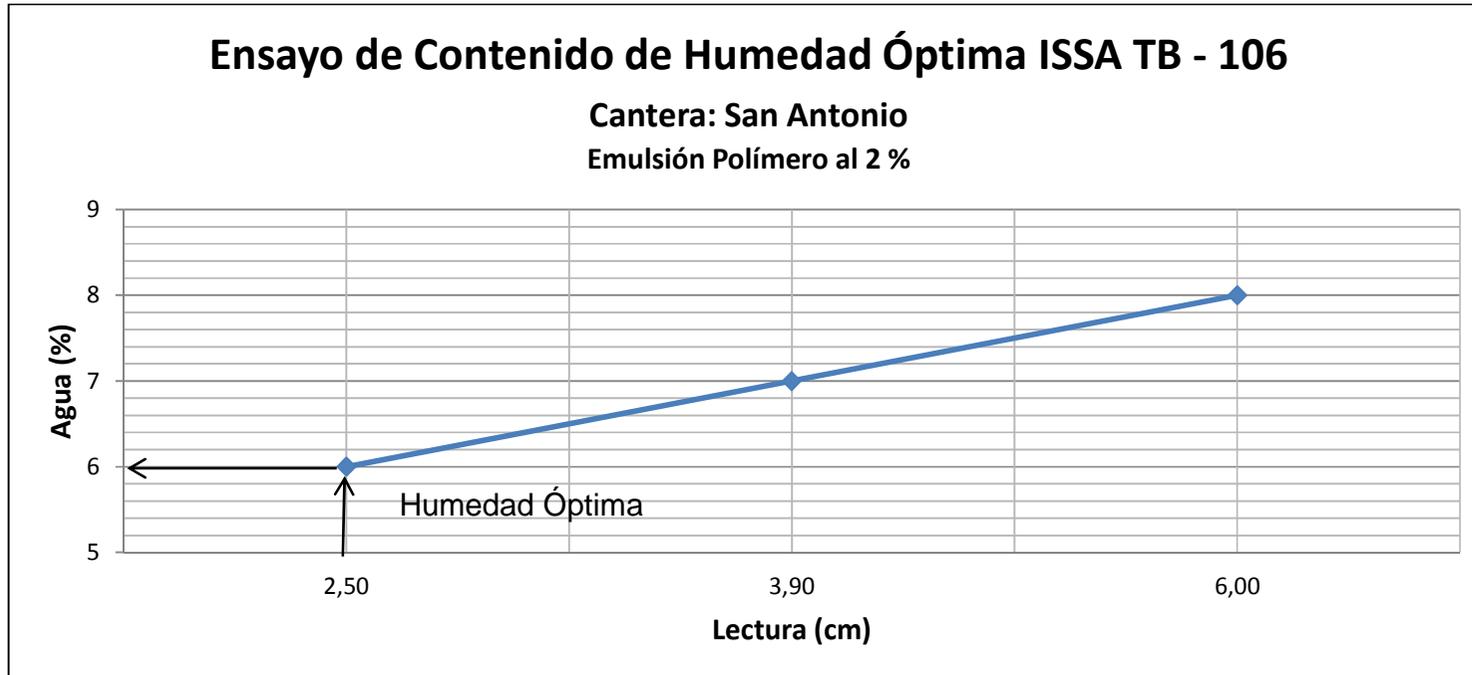
Cuadro 5.10: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 1 % de Polímero SBR.

EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	6,00%		Agua	7,00%		Agua	8,00%	
	24	gr		28	gr		32	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%	
	62	gr		62	gr		62	Gr

Lectura (cm)	2,50	3,90	6,00
--------------	------	------	------

Tabla 5.12: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

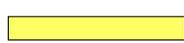


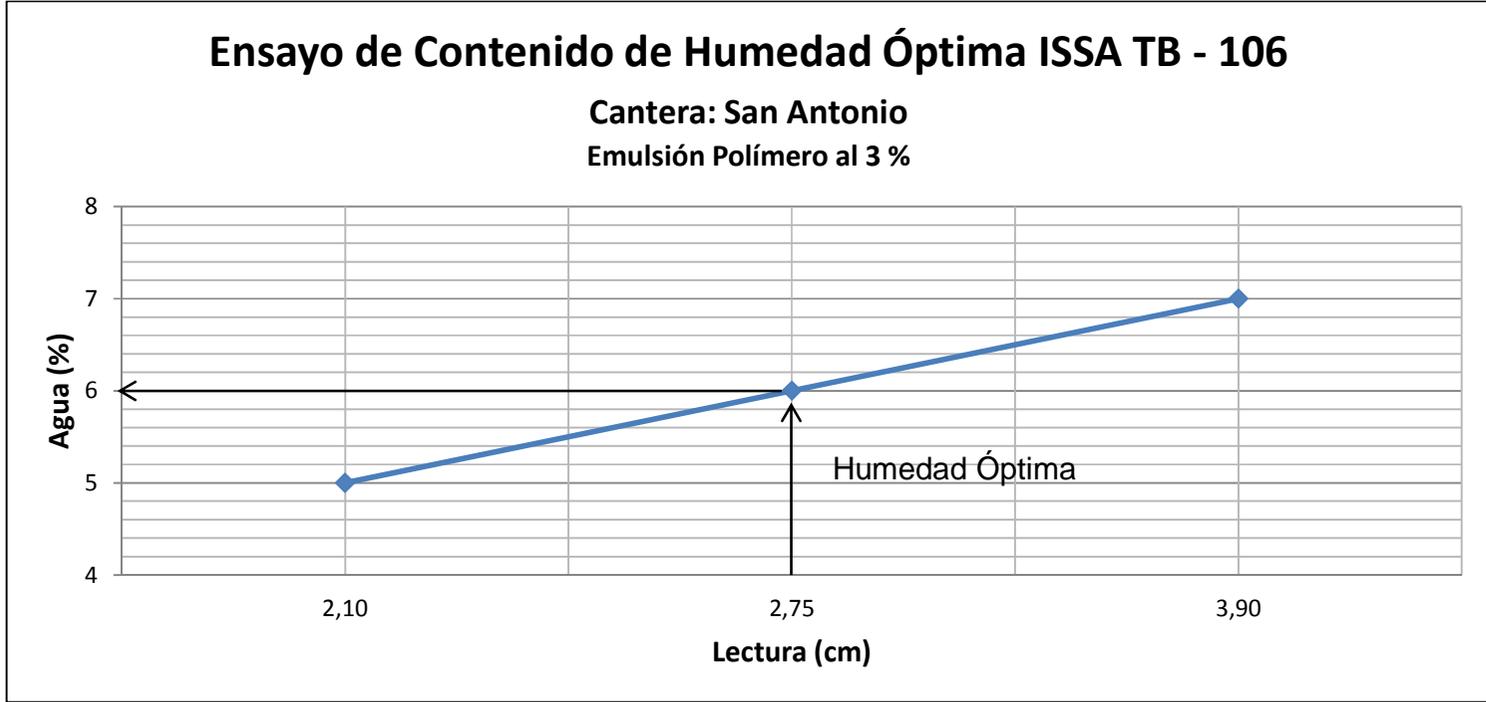
Cuadro 5.11: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 2 % de Polímero SBR

EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	5,00%		Agua	6,00%		Agua	7,00%	
	20	gr		24	gr		28	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%	
	62	gr		62	gr		62	Gr

Lectura (cm)	2,10	2,75	3,90
--------------	------	------	------

Tabla 5.13: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica

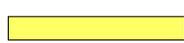


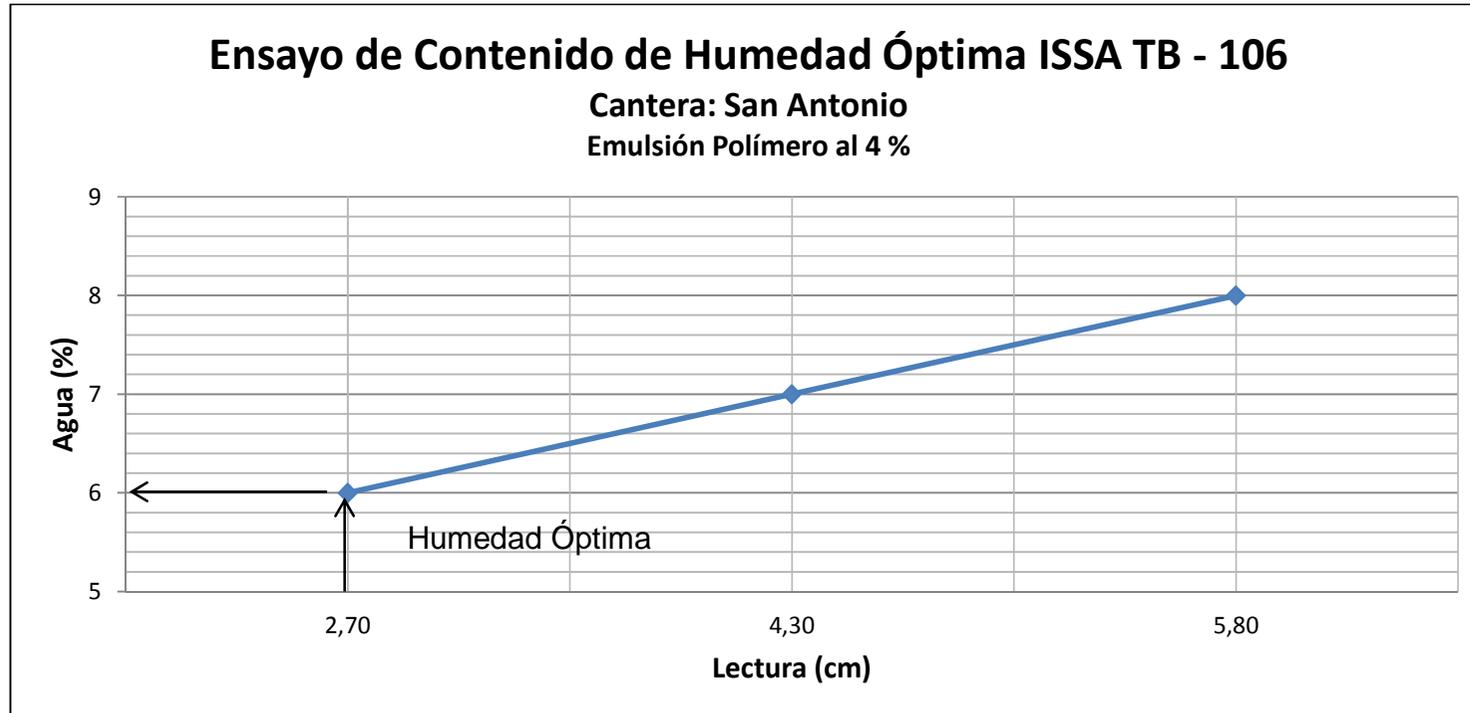
Cuadro 5.12: Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica con 3 % de Polímero SBR

EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	Gr
Agua	6,00%		Agua	7,00%		Agua	8,00%	
	24	gr		28	gr		32	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	Gr
Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	15,50%	
	62	gr		62	gr		62	Gr

Lectura (cm)	2,70	4,30	5,80
--------------	------	------	------

Tabla 5.14: Contenido de Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

 Humedad Óptima en la Mezcla Asfáltica



Cuadro 5.13: Humedad Óptima en la Emulsión Asfáltica con 4 % de Polímero SBR.

### 5.3 Ensayo de Tiempo de Mezcla para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 113.

#### 5.3.1 Objetivo.

Esta prueba es el primer paso en el diseño de mezclas de micropavimento, se elaboran pequeñas mezclas de 100 a 200 gr en vasos que se tengan disponibles, la mezcla en el vaso también es útil para entrenar a los operadores de la máquina en familiarizarse con la apariencia visual y las propiedades mecánicas de la mezcla.

#### 5.3.2 Procedimiento.

- Se coloca 200 g. de material pétreo en un tazón, si existe poca presencia de material fino, se debe añadir cemento portland en un porcentaje de 1% de acuerdo al peso del material pétreo.



Figura 5.3: Preparación de la Muestra

- Se añade agua haciendo variar su porcentaje para cada muestra preparada, y por ultimo coloque la cantidad predeterminada de emulsión. Todo el proceso se debe realizar a una temperatura de 25°C.
- Se considera óptimo el porcentaje de agua que permita romper a la muestra en un tiempo no menor de 120 segundos.



Figura 5.4: Rotura de la Mezcla Asfáltica

### 5.3.3 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

EMULSION CQS SIN POLIMERO		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	10,00%	
	20	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	14,50%	
	29	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.15: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

<b>EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	10,00%	
	20	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	14,50%	
	29	gr
Tiempo	<i>&gt;3min</i>	

Tabla 5.16: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	Gr
Agua	10,00%	
	20	Gr
Cemento	1,00%	
	2	Gr
Emulsión	14,50%	
	29	Gr
Tiempo	<i>&gt;3min</i>	

Tabla 5.17: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	Gr
Agua	10,00%	
	20	Gr
Cemento	1,00%	
	2	Gr
Emulsión	14,50%	
	29	Gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.18: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	10,00%	
	20	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	14,50%	
	29	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.19: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4% de Polímero SBR

- **Cantera de San Antonio.**

<b>EMULSION CQS SIN POLIMERO</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	6,50%	
	13	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	15,50%	
	31	gr
Tiempo	>3 min	

Tabla 5.20: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

<b>EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	6,50%	
	13	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	15,50%	
	31	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.21: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	6,50%	
	13	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	15,50%	
	31	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.22: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	6,50%	
	13	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	15,50%	
	31	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.23: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3% de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr
Agua	6,50%	
	13	gr
Cemento	1,00%	
	2	gr
Emulsión	15,50%	
	31	gr
Tiempo	>3min	

Tabla 5.24: Tiempo de Mezcla ISSA TB – 113 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

## **5.4 Ensayo de Cohesión en el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB - 139**

### **5.4.1 Objetivo.**

Este ensayo nos muestra la evolución de la consistencia de la mezcla en función al tiempo de curado, nos permite determinar las características de rompimiento de la mezcla y grado de cohesión entre el agregado y la emulsión, así como los tiempos de apertura al tráfico dependiendo de las condiciones del clima en el área de aplicación.

### **5.4.2 Procedimiento.**

- El material pétreo debe ser tamizado por el tamiz 4,75mm u 8mm., desechando la parte retenida.
- Se prepara varios especímenes con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, los mismos que son vaciados en anillos metálicos de 60 mm de diámetro con espesores de 6 y 10 mm. los mismos que deben estar sobre una base cuadrada de cartón asfaltado.



Figura 5.5: Especímenes Ensayo de Cohesión ISSA TB - 139

- Se debe procurar que todas las muestras mantengan uniformidad cuyas superficies sean planas y horizontales. Una vez que se produzca la ruptura de la mezcla se retira el anillo y se somete los especímenes al ensayo de cohesión propiamente.
- Se coloca el espécimen bajo el brazo neumático cuyo vástago metálico posee una pieza de neopreno de 1" de diámetro. Las muestras deben ser ensayadas a 30, 60, 90, 120, 240 y 300 minutos después de su preparación.



Figura 5.6: Muestra lista para ensayar

- Se aplica una presión de 200 kPa en el cilindro neumático, haciendo descender el cilindro neumático sobre los especímenes a una velocidad de 8-10 cm/seg.
- Se mantiene el cilindro neumático en contacto con el espécimen durante 6 segundos, e inmediatamente se gira el torquímetro en un movimiento firme y rápido de 90°.



Figura 5.7: Muestra sometida a Torque

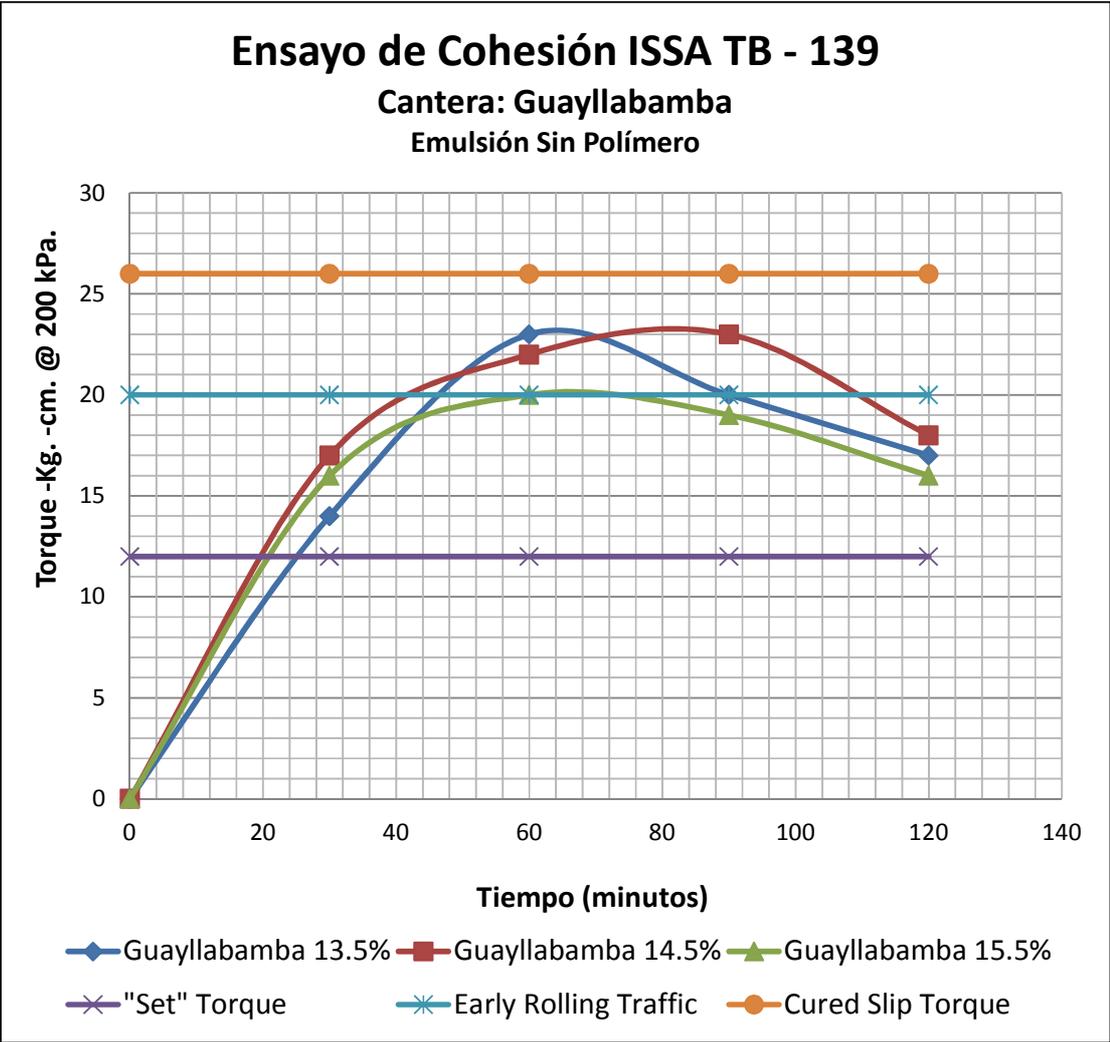
- Se registra el valor obtenido del giro y el tiempo desde su preparación.

### 5.4.3 Resultado de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

EMULSION CQS SIN POLIMERO								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	10,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	20	gr		20	gr		20	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	27	gr		29	gr		31	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	14		17		16			
60	23		22		20			
90	20		23		19			
120	17		18		16			

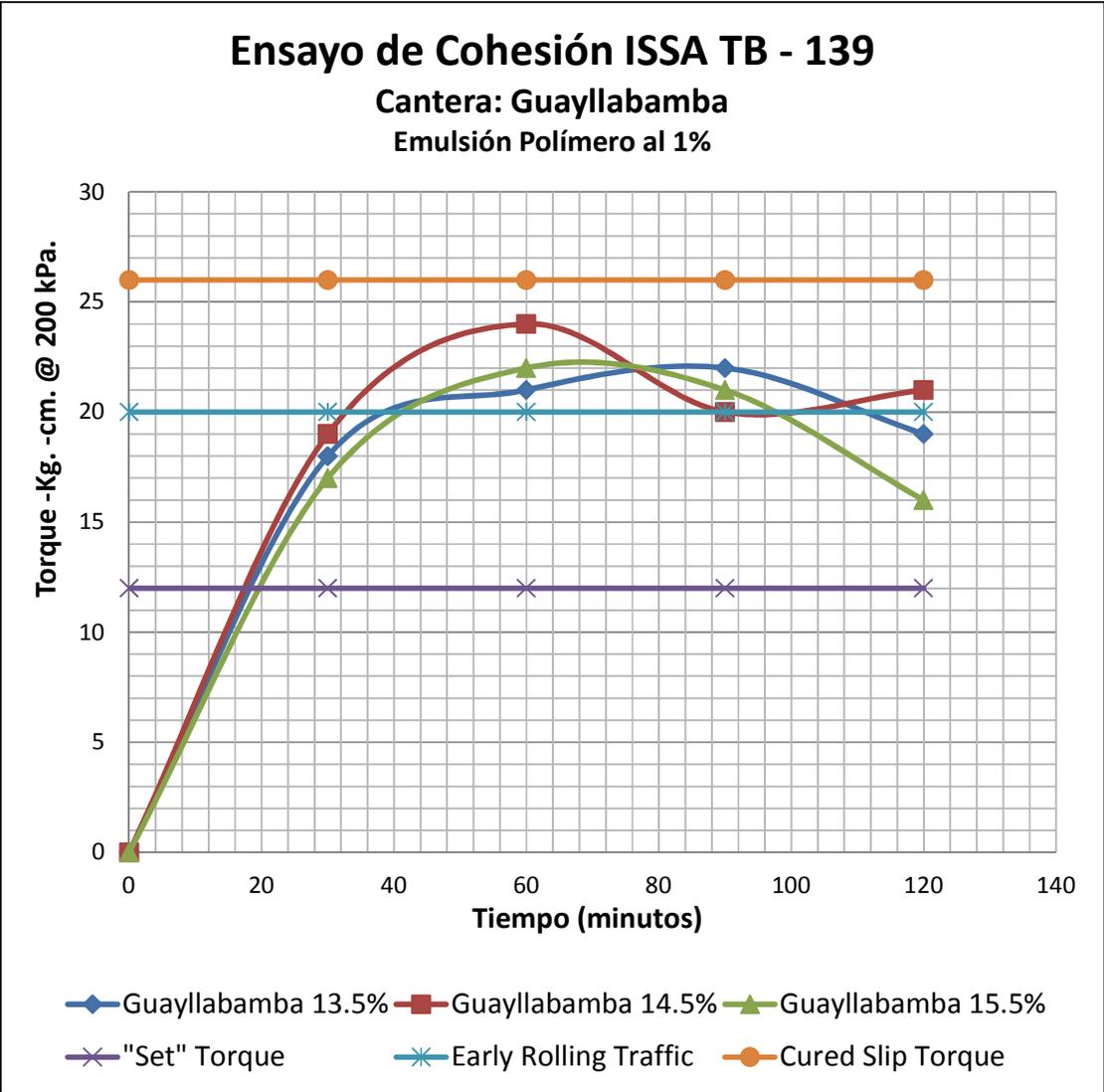
Tabla 5.25: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar.



Cuadro 5.14: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar.

EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,5%			Guayllabamba 14,5%			Guayllabamba 15,5%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	10,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	20	gr		20	gr		20	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	27	gr		29	gr		31	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	18		19		17			
60	21		24		22			
90	22		20		21			
120	19		21		16			

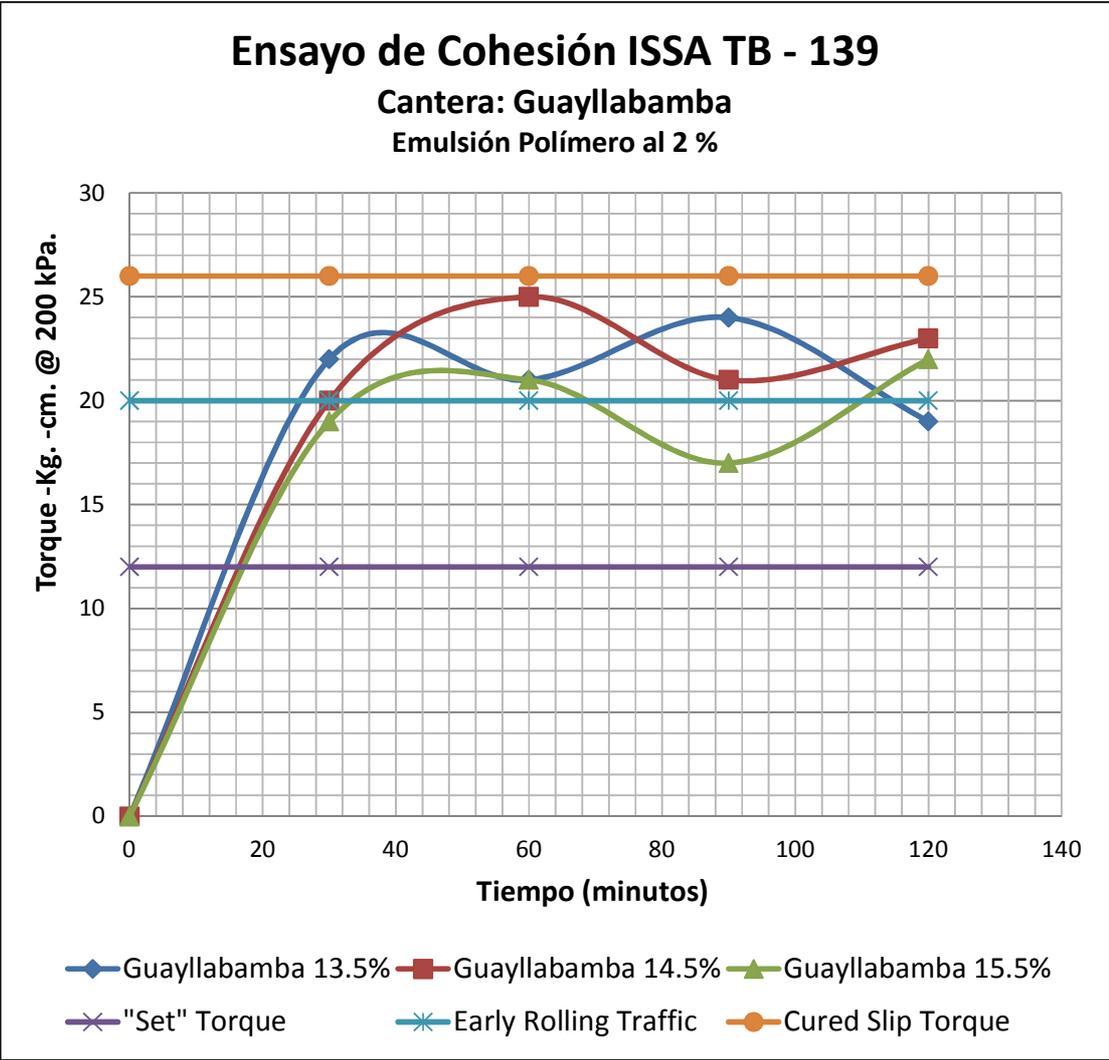
Tabla 5.26: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero de SBR



Cuadro 5.15: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero SBR

EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,5%			Guayllabamba 14,5%			Guayllabamba 15,5%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	10,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	20	gr		20	gr		20	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	27	gr		29	gr		31	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	22		20		19			
60	21		25		21			
90	24		21		17			
120	19		23		22			

Tabla 5.27: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero de SBR



Cuadro 5.16: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero SBR

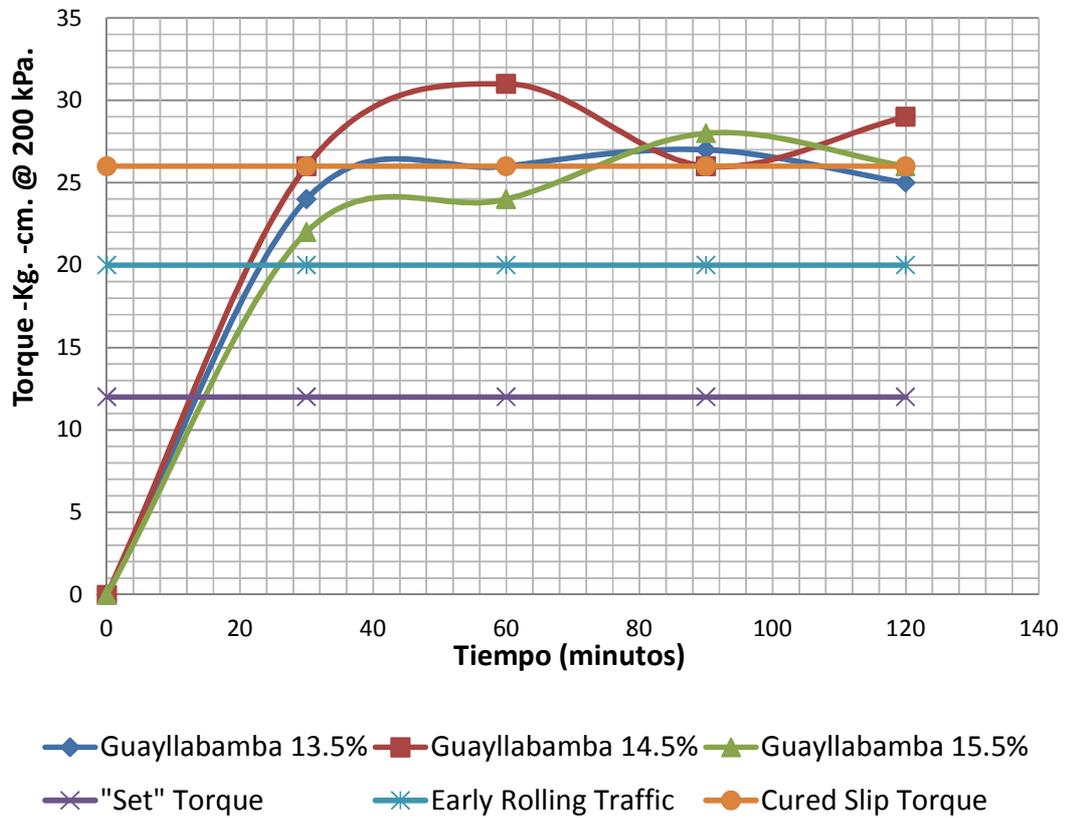
EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,5%			Guayllabamba 14,5%			Guayllabamba 15,5%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	10,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	20	gr		20	gr		20	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	27	gr		29	gr		31	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	24		26		22			
60	26		31		24			
90	27		26		28			
120	25		29		26			

Tabla 5.28: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero de SBR

## Ensayo de Cohesión ISSA TB - 139

Cantera : Guayllabamba

Emulsión Polímero al 3 %



Cuadro 5.17: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero SBR

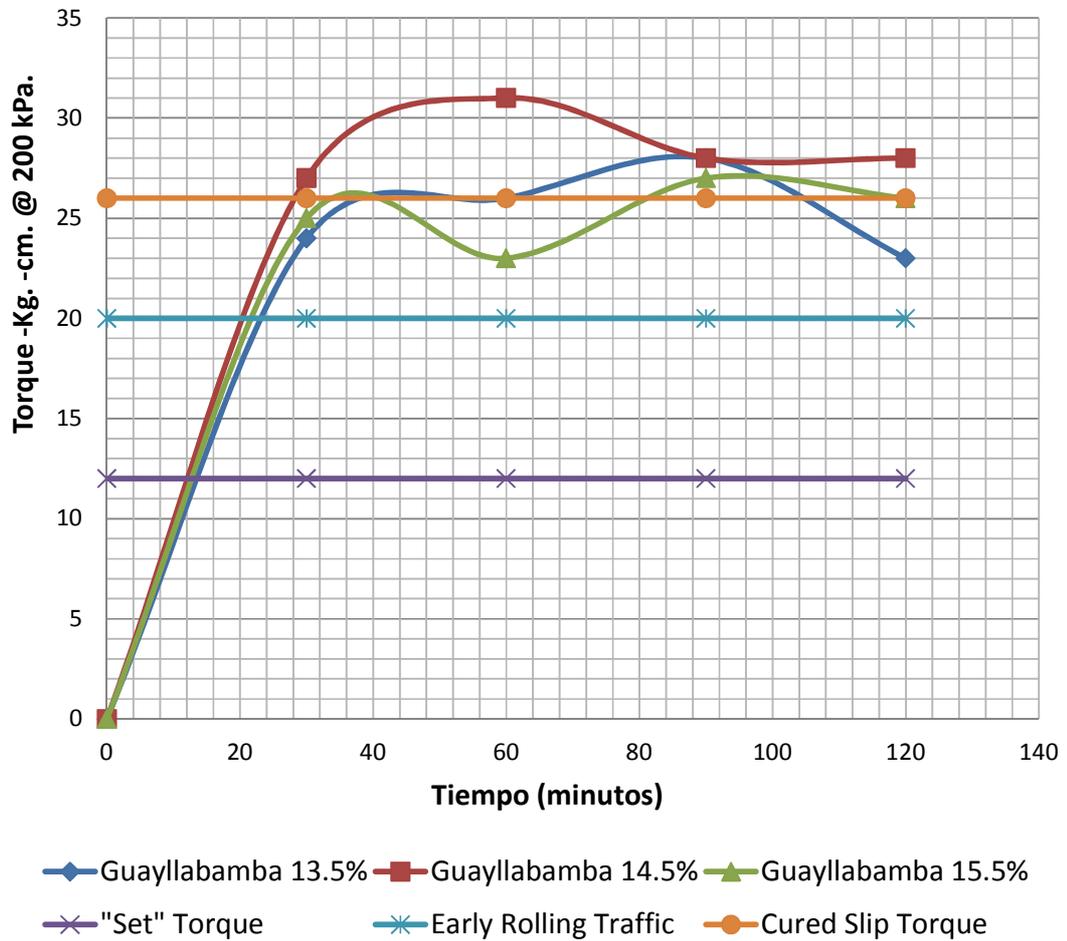
EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,5%			Guayllabamba 14,5%			Guayllabamba 15,5%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	Unidad
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	Gr
Agua	10,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	20	gr		20	gr		20	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	Gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	27	gr		29	gr		31	Gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	24		27		25			
60	26		31		23			
90	28		28		27			
120	23		28		26			

Tabla 5.29: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero de SBR

### Ensayo de Cohesión ISSA TB - 139

Cantera: Guayllabamba

Emulsión Polímero al 4 %

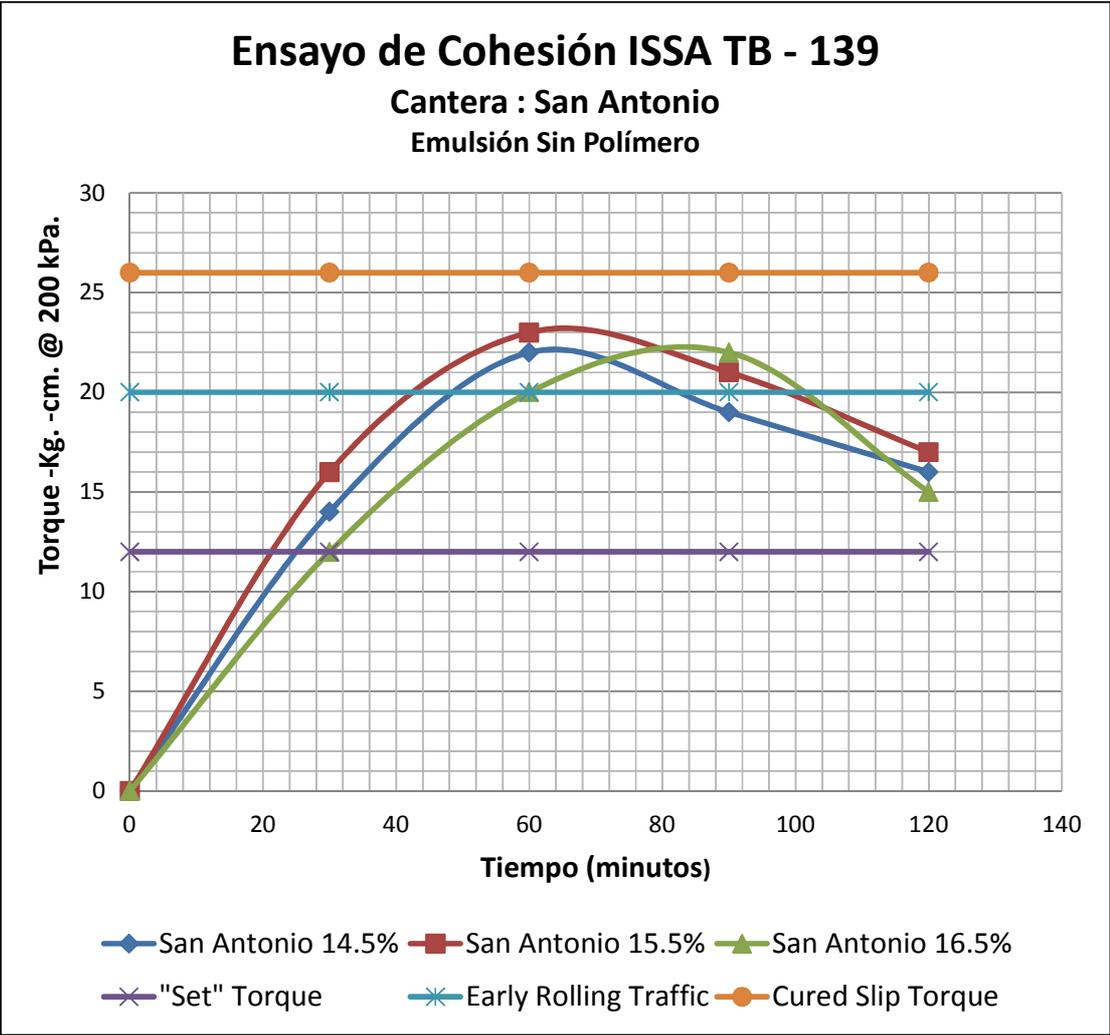


Cuadro 5.18: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero SBR

- **Cantera de San Antonio**

<b>EMULSION CQS SIN POLIMERO</b>								
<b>San Antonio 14,50%</b>			<b>San Antonio 15,50%</b>			<b>San Antonio 16,50%</b>		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	Gr
Agua	6,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	13	gr		13	gr		13	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	29	gr		31	gr		33	Gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	14		16		12			
60	22		23		20			
90	19		21		22			
120	16		17		15			

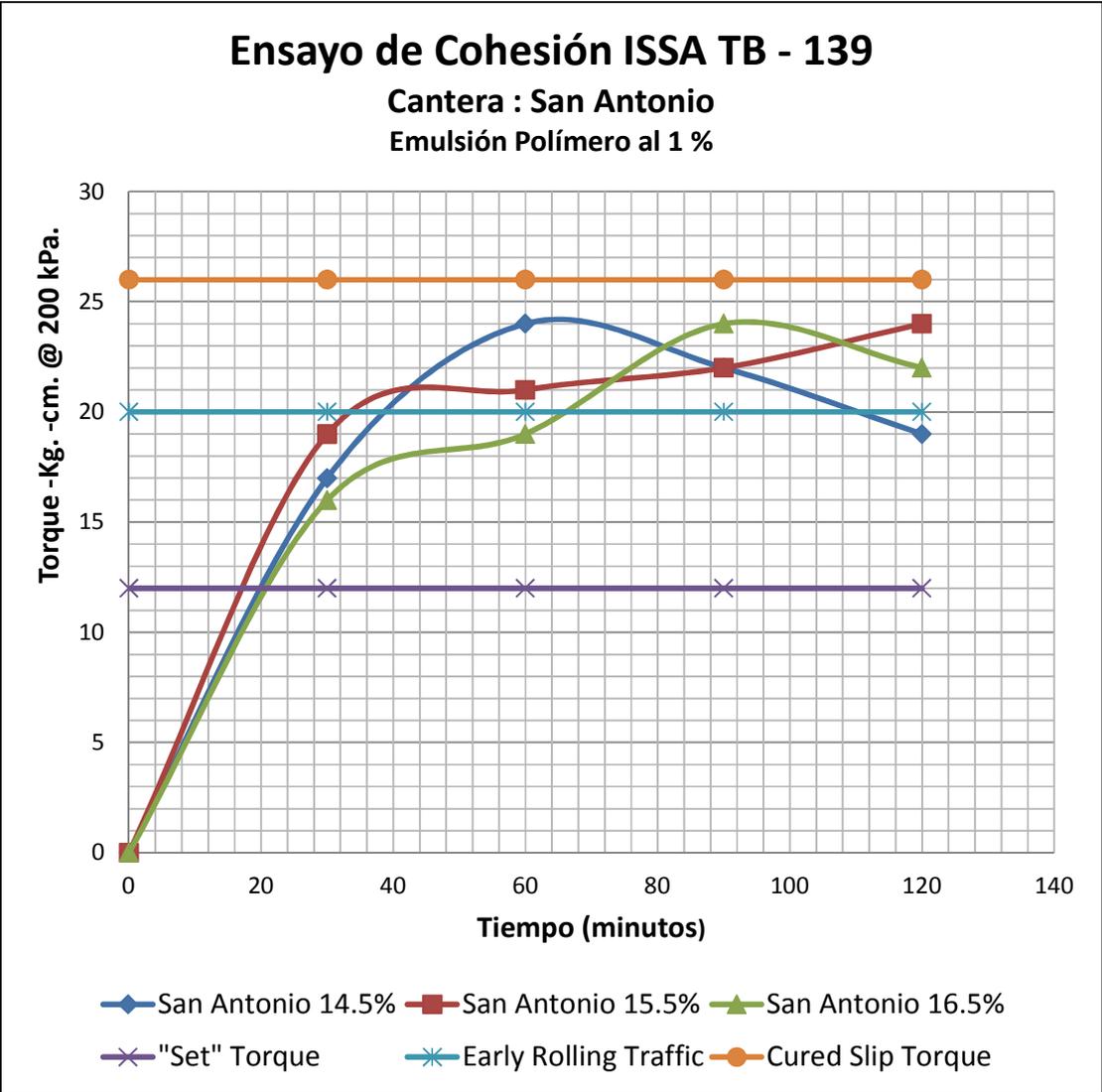
Tabla 5.30: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin Modificar



Cuadro 5.19: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica sin modificar.

EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	6,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	13	gr		13	gr		13	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	29	gr		31	gr		33	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	17		19		16			
60	24		21		19			
90	22		22		24			
120	19		24		22			

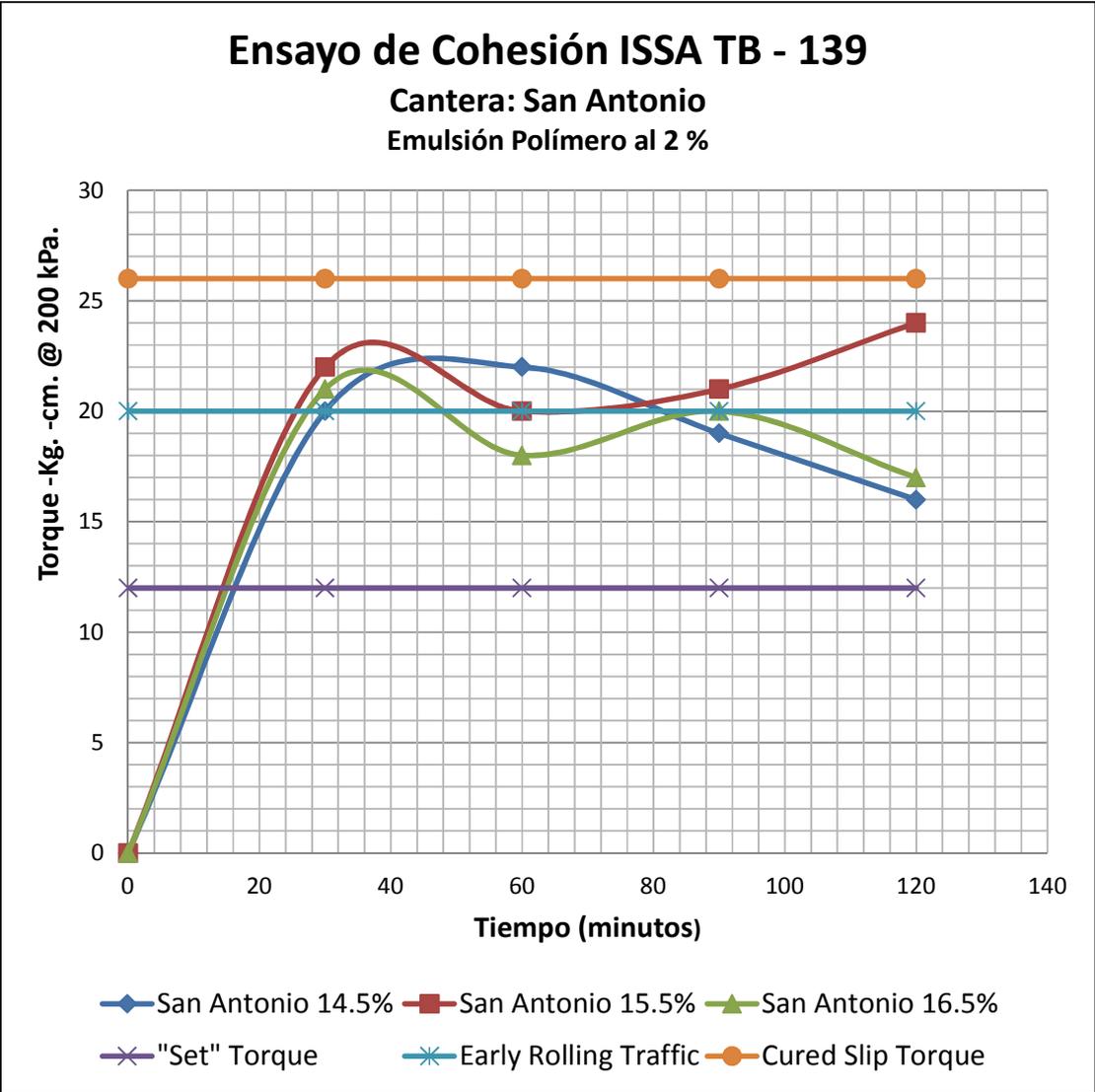
Tabla 5.31: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero de SBR



Cuadro 5.20: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 1% de Polímero SBR

EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	6,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	13	gr		13	gr		13	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	29	gr		31	gr		33	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	20		22		21			
60	22		20		18			
90	19		21		20			
120	16		24		17			

Tabla 5.32: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero de SBR



Cuadro 5.21: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 2% de Polímero SBR

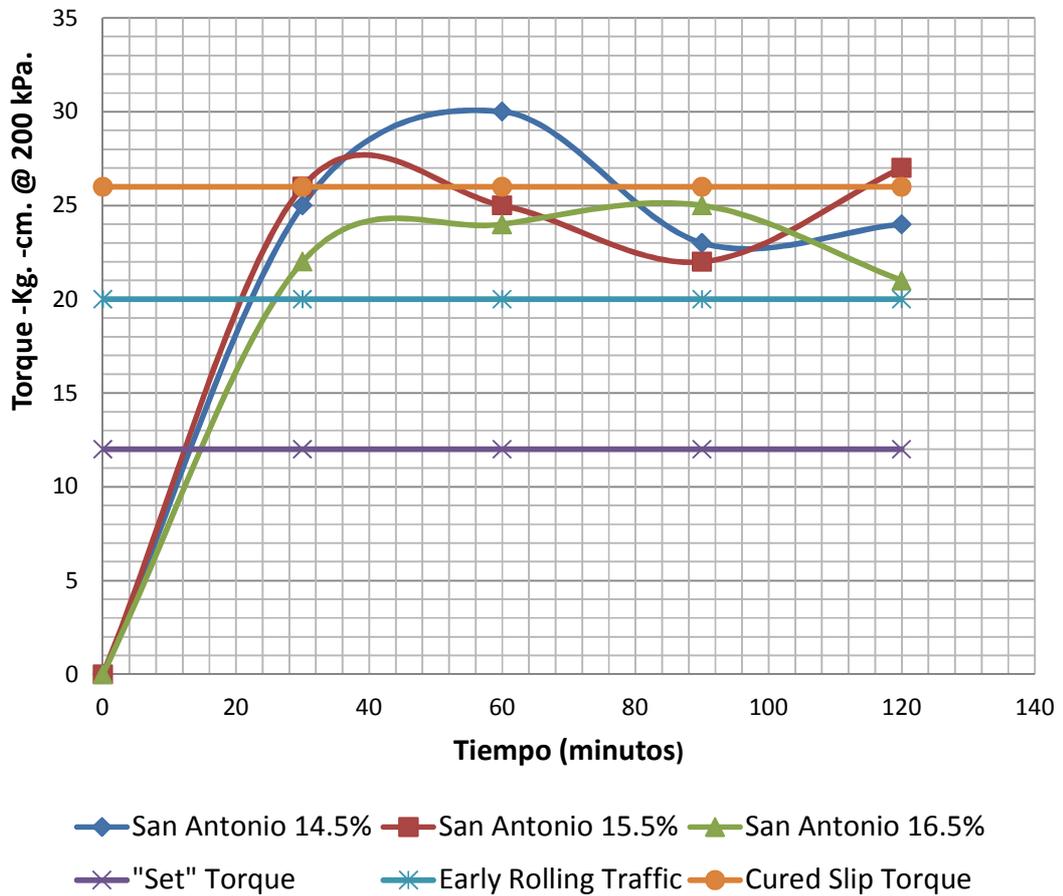
EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	gr
Agua	6,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	13	gr		13	gr		13	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	29	gr		31	gr		33	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	25		26		22			
60	30		25		24			
90	23		22		25			
120	24		27		21			

Tabla 5.33: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero de SBR

## Ensayo de Cohesión ISSA TB - 139

Cantera: San Antonio

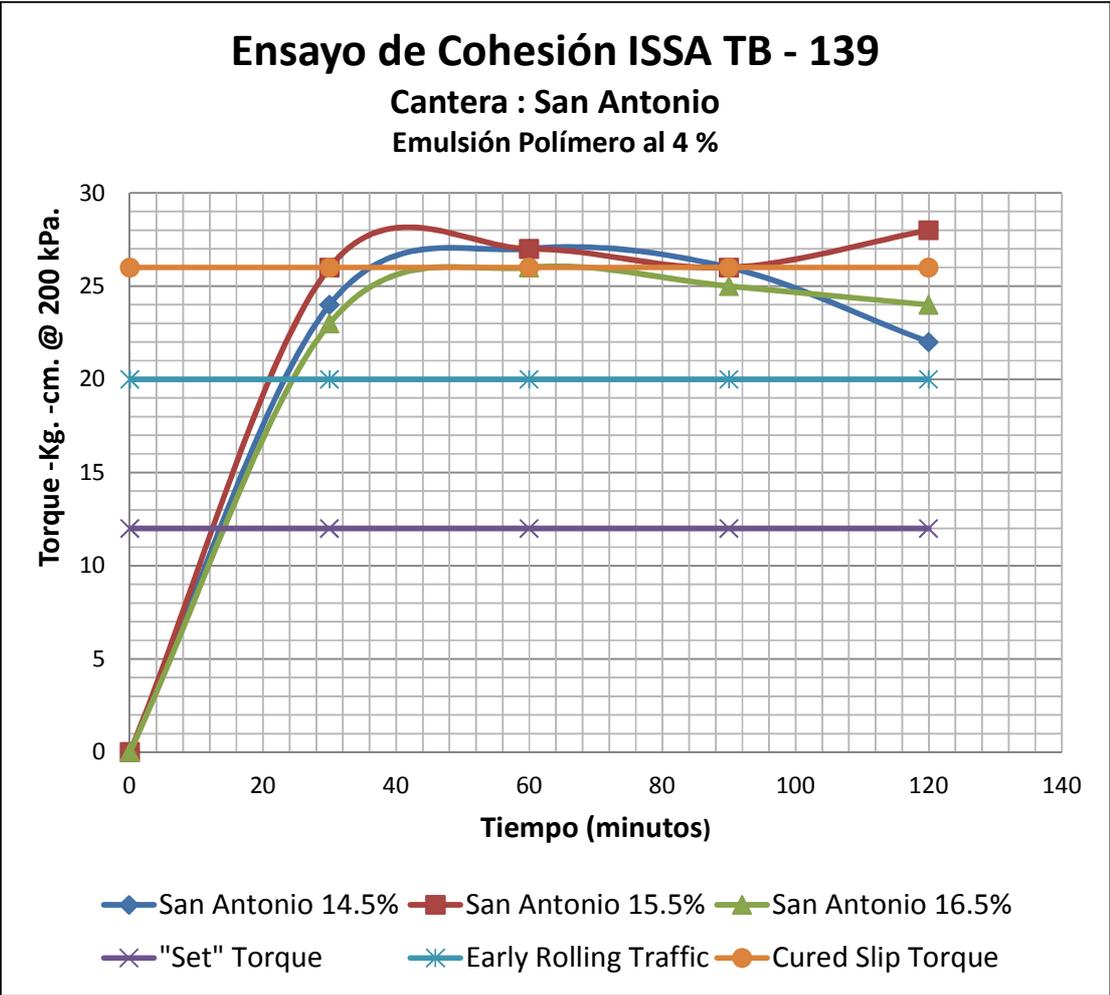
Emulsión Polímero al 3 %



Cuadro 5.22: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 3% de Polímero SBR

EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	200	gr	Agregado	200	gr	Agregado	200	Gr
Agua	6,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	13	gr		13	gr		13	Gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	2	gr		2	gr		2	Gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	29	gr		31	gr		33	gr
Tiempo (min)	Carga Kg-cm		Carga Kg-cm		Carga Kg-cm			
30	24		26		23			
60	27		27		26			
90	26		26		25			
120	22		28		24			

Tabla 5.34: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero de SBR



Cuadro 5.23: Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139 en la Mezcla Asfáltica con 4% de Polímero SBR

## **5.5 Ensayo de Abrasión en Húmedo para el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 100.**

### **5.5.1 Objetivo.**

Determinar la resistencia al desgaste por abrasión de una mezcla de micropavimento simulando una superficie del pavimento saturada por agua. Mediante esta prueba se definen los valores mínimos de emulsión asfáltica necesarios para obtener una mezcla con suficiente cohesión como para resistir la acción abrasiva del tráfico.

### **5.5.2 Procedimiento.**

- Determine las cantidades adecuadas de agua, emulsión, aditivo y cemento portland o cal para el peso seco del agregado pétreo.
- Tome una muestra representativa de material pétreo mediante un proceso de cuarteos sucesivos hasta obtener una muestra de al menos 2kg.

- Coloque 600 g de agregado pétreo en un tazón, si la muestra presenta una cantidad de finos menor al 5% del material pasante del tamiz #200, se deberá colocar cemento portland (filler) para compensar su poca presencia, este debe iniciarse con 1% de filler respecto a la masa del material pétreo. Mezcle la muestra con una cuchara por 1 minuto o hasta lograr homogeneidad en la misma.
- Añadir agua en las proporciones adecuadas para lograr una consistencia entre 2 y 3 cm. y mezclar durante 1 minuto o hasta lograr que las partículas de los áridos estén completamente húmedas.
- Añada la cantidad de emulsión haciendo variar su porcentaje de acuerdo a cada espécimen.
- Para cada uno de los especímenes se vierte el mortero asfáltico sobre un molde en forma de aro el mismo que estará apoyado sobre una base de cartón asfaltado. Se enrasa con una escobilla de goma o con la regla procurando la menor manipulación de la mezcla y evitando segregar el material pétreo. El exceso de material se debe desplazar hacia la parte externa del aro.



Figura 5.8: Preparación de la Muestra

- Deje reposar la mezcla durante 1 minuto y retire el aro; tenga en cuenta que el material no debe escurrir, manteniendo así su forma. Caso contrario, se deberá preparar nuevamente el espécimen.



Figura 5.9: Muestra Terminada

- Se debe secar los especímenes de mortero asfáltico en el horno a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  hasta lograr una masa constante, luego registre los pesos de los especímenes junto con sus bases.

- Antes de someter a los especímenes a la prueba de abrasión, se debe sumergirlos en agua a una temperatura de 25°C durante 1 hora, asegurando que el líquido cubra ligeramente a los especímenes.



Figura 5.10: Secado de las Muestras



Figura 5.11: Inmersión de las muestras en agua previo a ser ensayadas

- Coloque los especímenes en la bandeja de 330mm de diámetro sujetándola a la base de la máquina.
- Agregue agua a 25°C hasta que cubra ligeramente a la muestra.
- Eleve la plataforma de tal manera que la manguera de hule haga contacto con la superficie del espécimen; asegurando la posición con el bloque del puntal.

- Una vez dentro de la máquina se somete a abrasión durante 5 minutos. Se debe utilizar una cara de la manguera para cada ensayo, girándola en cada ocasión.



Figura 5.12: Muestra sometida a Abrasión

- Se procede a retirar los especímenes ensayados y se lava para retirar todo el material desprendido producto de la abrasión. Coloque las muestras en el horno a una temperatura de 60°C hasta que obtenga una masa constante.
- Finalmente, retire los especímenes del horno y deje enfriar. Registre la masa de las muestras. La diferencia de masas será la perdida por desgaste.



Figura 5.13: Peso de la Muestra al finalizar el ensayo

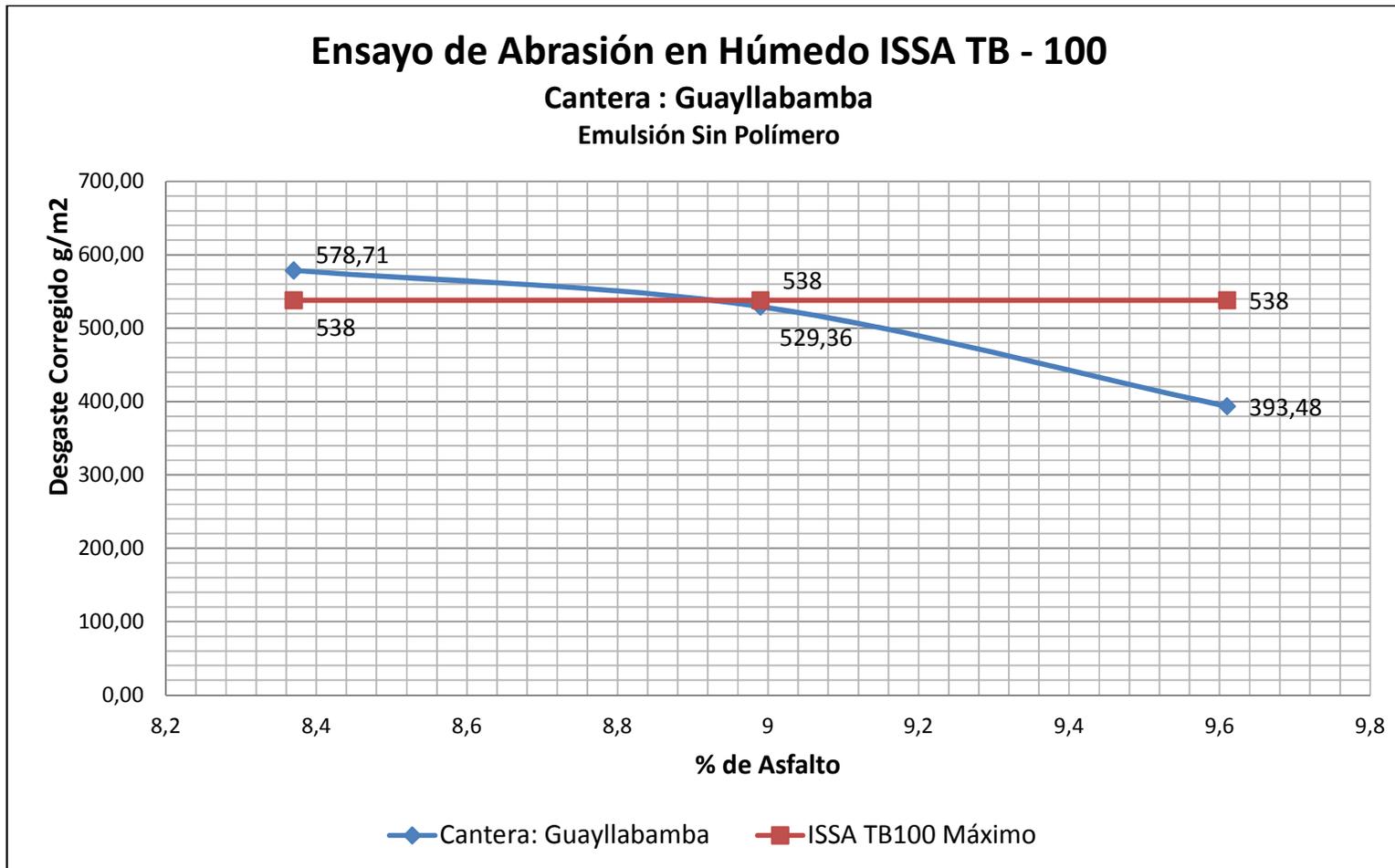
- Para obtener el valor de desgaste por unidad de área, se debe multiplicar la pérdida por desgaste por un factor que depende del tipo de máquina usada en el ensayo.

### 5.5.3 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

EMULSION CQS SIN POLIMERO									
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%		
	72	gr		60	gr		60	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		
	81	gr		87	gr		93	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	605,78	gr	Peso seco	593,23	gr	Peso seco	673,32	gr
Después del Ensayo	Peso seco	588,19	gr	Peso seco	577,14	gr	Peso seco	661,36	gr
Diferencia de Peso		17,59	gr		16,09	gr		11,96	gr
Factor de Corrección N-50	Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
32,9	578,71		gr/m2	529,36		gr/m2	393,48		gr/m2

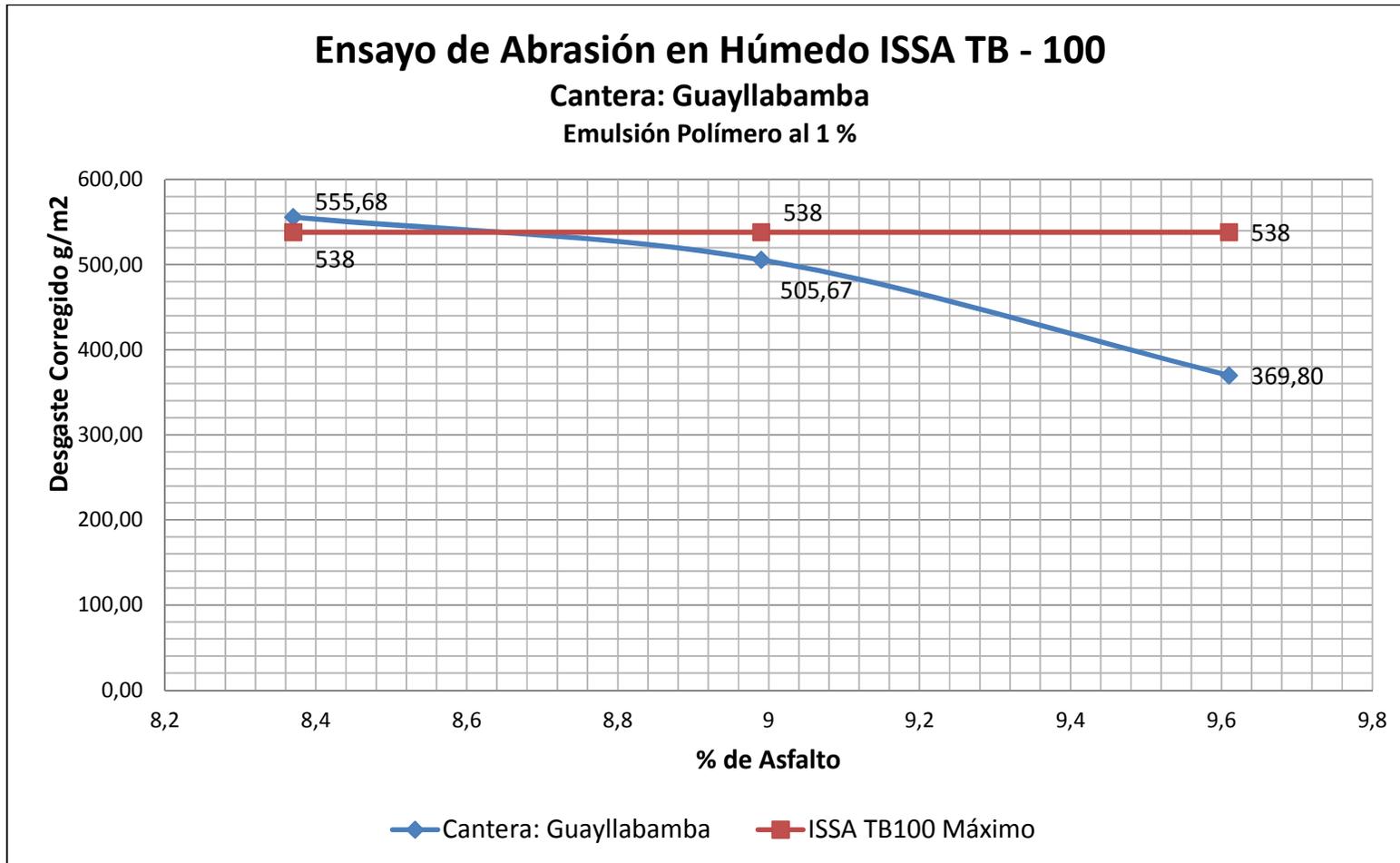
Tabla 5.35: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar



Cuadro 5.24: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

<b>EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR</b>									
<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%		
	72	gr		60	gr		60	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		
	81	gr		87	gr		93	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	602,34	gr	Peso seco	580,23	gr	Peso seco	543,11	gr
Después del Ensayo	Peso seco	585,45	gr	Peso seco	564,86	gr	Peso seco	531,87	gr
Diferencia de Peso		16,89	gr		15,37	gr		11,24	gr
<b>Factor de Corrección N-50</b>	<b>Guayllabamba 13,50%</b>		<b>Guayllabamba 14,50%</b>		<b>Guayllabamba 15,50%</b>				
32,9	555,68	gr/m2	505,67	gr/m2	369,80	gr/m2			

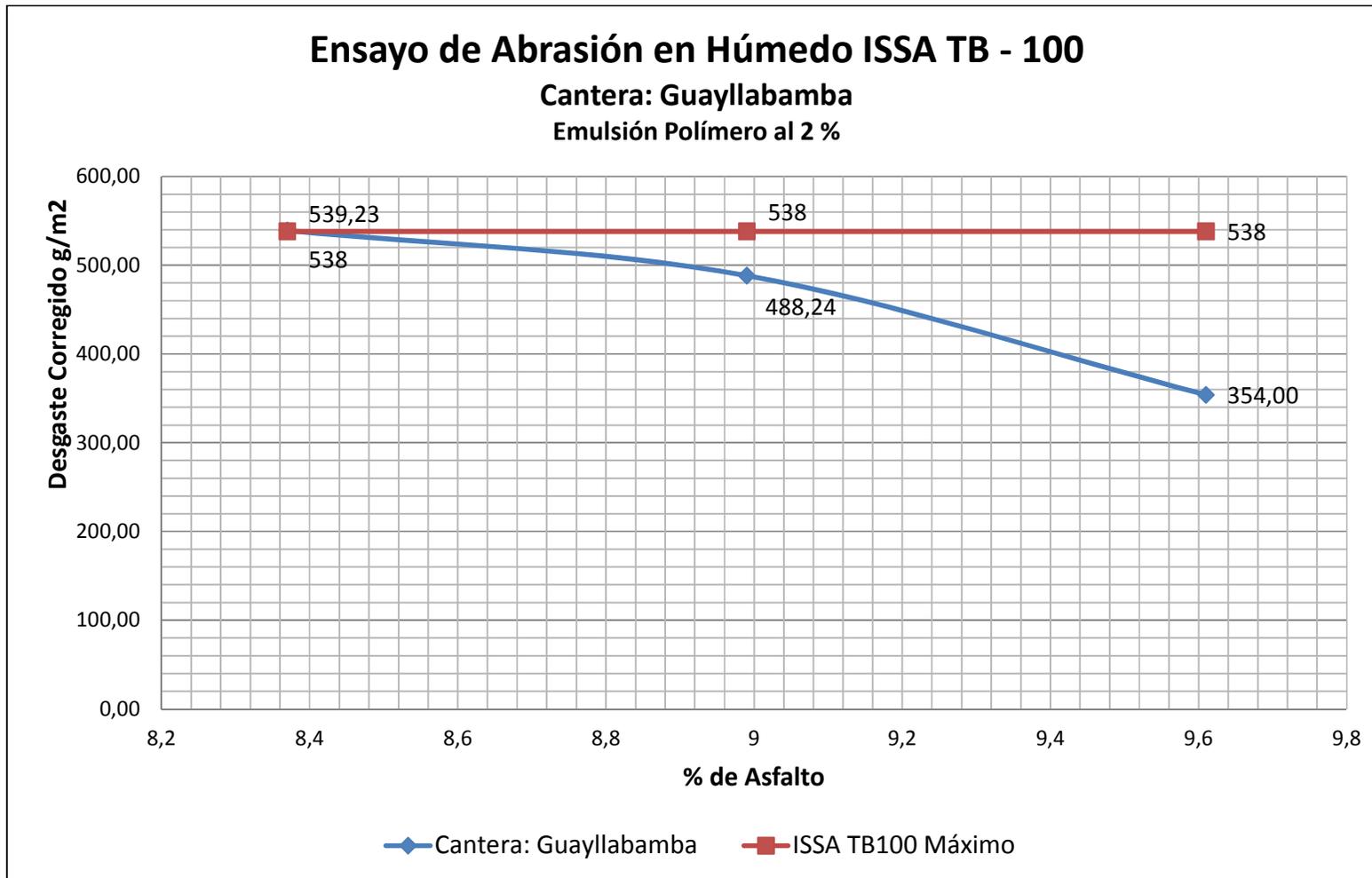
Tabla 5.36: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR



Cuadro 5.25: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR.

<b>EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR</b>									
<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%		
	72	gr		60	gr		60	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		
	81	gr		87	gr		93	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	555,34	gr	Peso seco	606,96	gr	Peso seco	630,48	gr
Después del Ensayo	Peso seco	538,95	gr	Peso seco	592,12	gr	Peso seco	619,72	gr
Diferencia de Peso		16,39	gr		14,84	gr		10,76	gr
<b>Factor de Corrección N-50</b>	<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>		
32,9	539,23		gr/m2	488,24		gr/m2	354,00		gr/m2

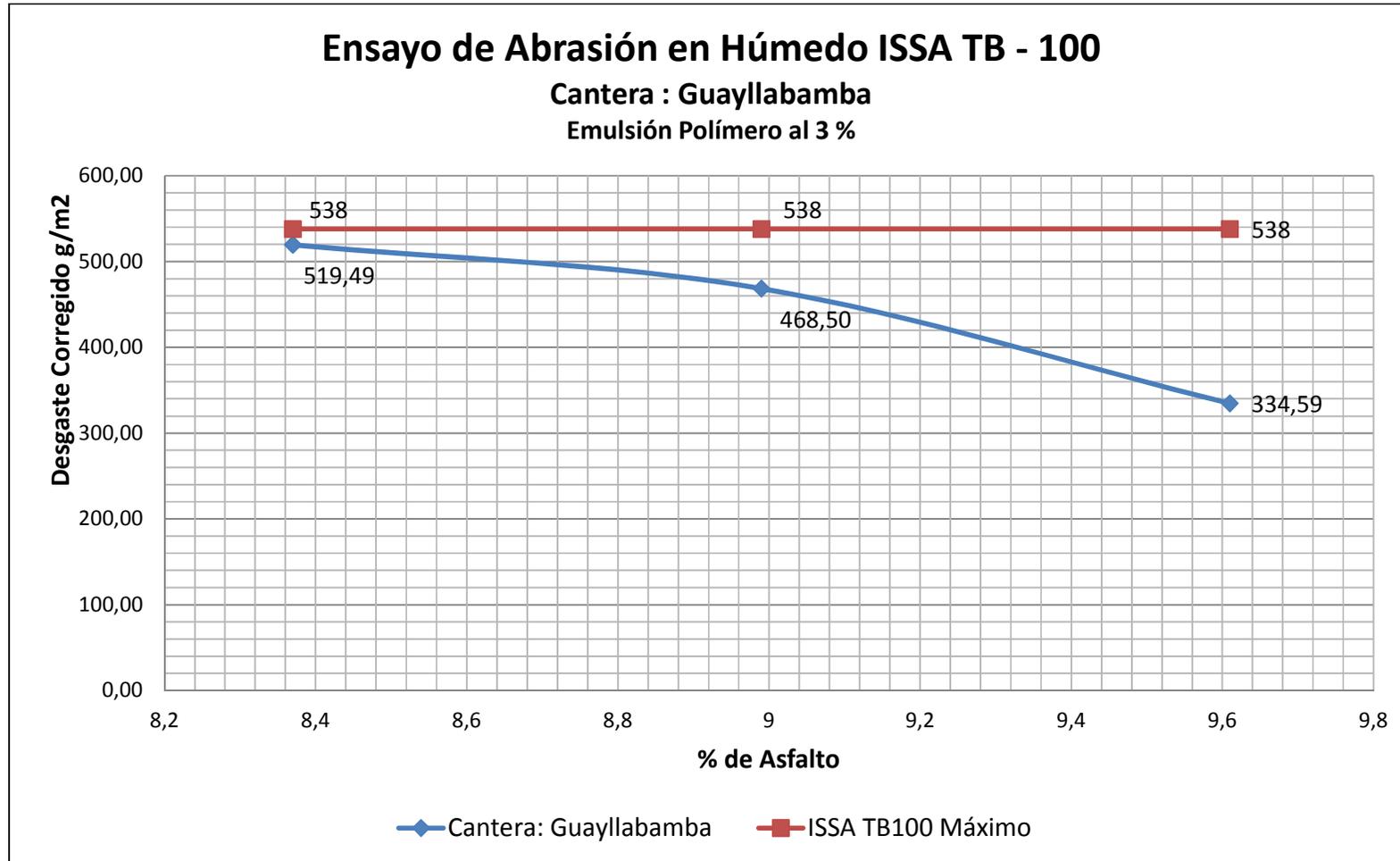
Tabla 5.37: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR



Cuadro 5.26: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR.

<b>EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR</b>									
<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%		
	72	gr		60	gr		60	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		
	81	gr		87	gr		93	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	608,85	gr	Peso seco	596,45	gr	Peso seco	546,78	gr
Después del Ensayo	Peso seco	593,06	gr	Peso seco	582,21	gr	Peso seco	536,61	gr
Diferencia de Peso		15,79	gr		14,24	gr		10,17	gr
<b>Factor de Corrección N-50</b>	<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>		
32,9	519,49		gr/m2	468,50		gr/m2	334,59		gr/m2

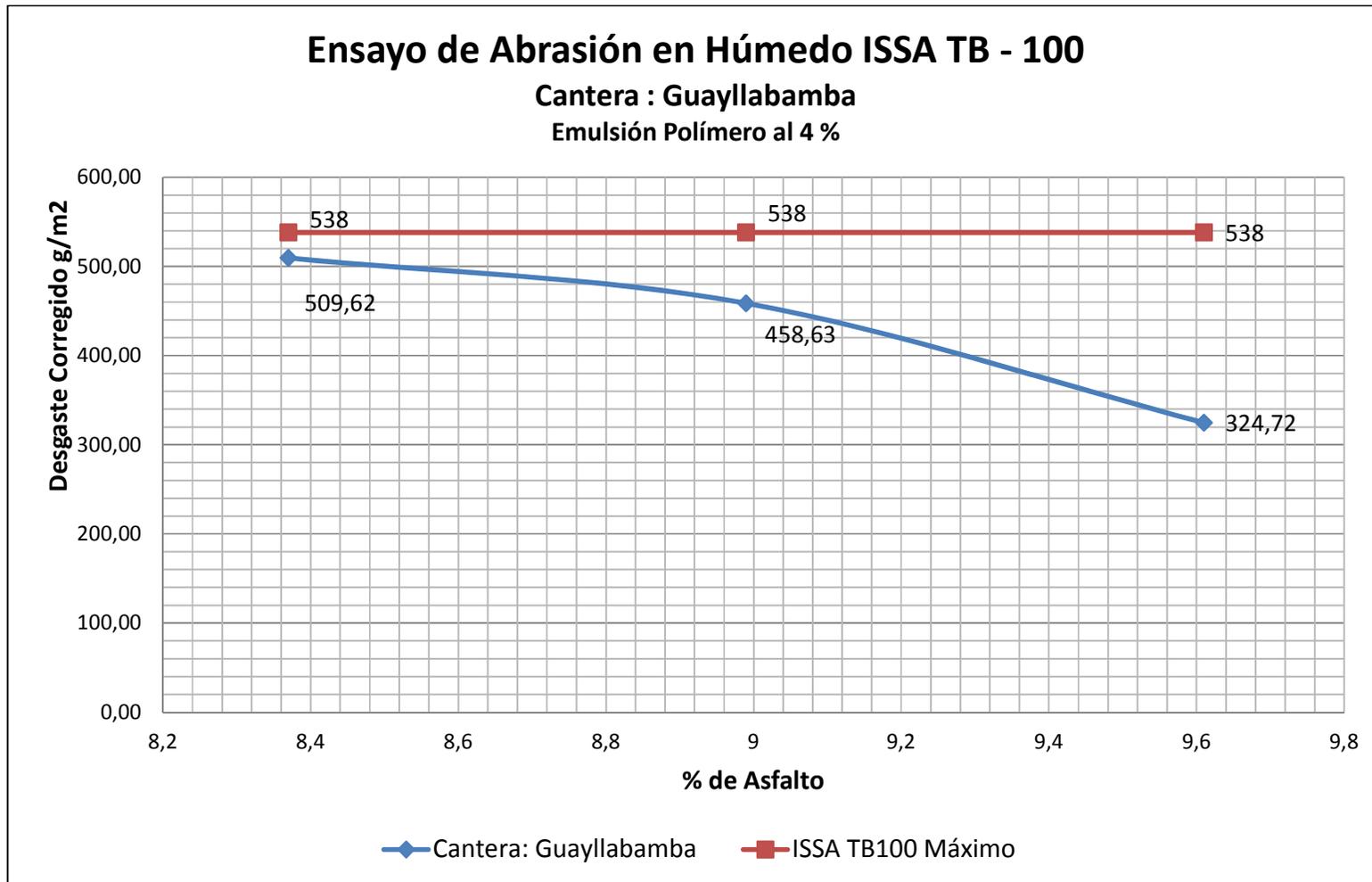
Tabla 5.38: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR



Cuadro 5.27: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR</b>									
<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%		
	72	gr		60	gr		60	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		
	81	gr		87	gr		93	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	497,92	gr	Peso seco	558,77	gr	Peso seco	616,31	gr
Después del Ensayo	Peso seco	482,43	gr	Peso seco	544,83	gr	Peso seco	606,44	gr
Diferencia de Peso		15,49	gr		13,94	gr		9,87	gr
<b>Factor de Corrección N-50</b>	<b>Guayllabamba 13,50%</b>			<b>Guayllabamba 14,50%</b>			<b>Guayllabamba 15,50%</b>		
32,9	509,62		gr/m2	458,63		gr/m2	324,72		gr/m2

Tabla 5.39: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

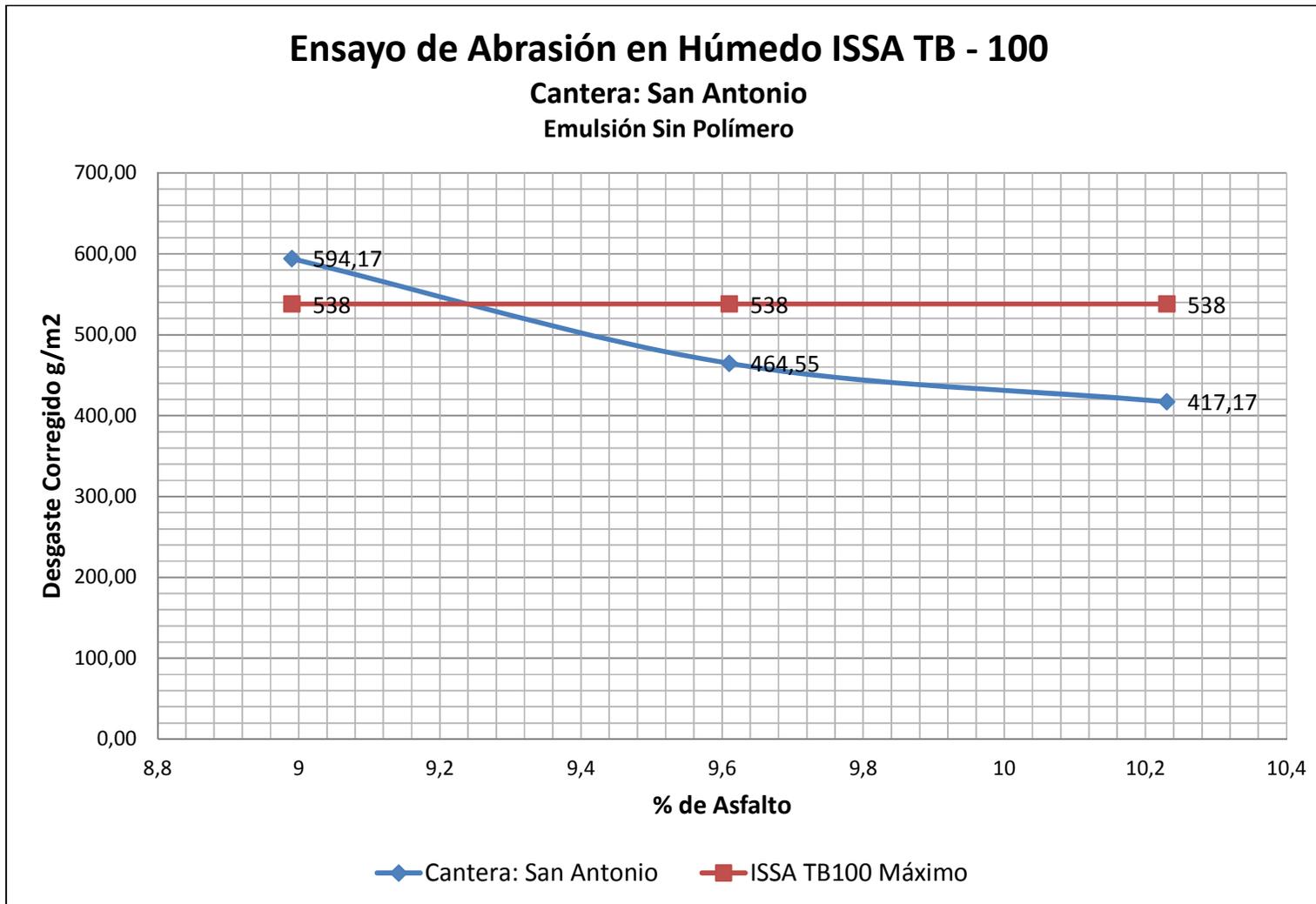


Cuadro 5.28: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

- **Cantera de San Antonio**

<b>EMULSION CQS SIN POLIMERO</b>									
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%		
	51	gr		39	gr		39	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%		
	87	gr		93	gr		99	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	607,84	gr	Peso seco	594,24	gr	Peso seco	560,45	gr
Después del Ensayo	Peso seco	589,78	gr	Peso seco	580,12	gr	Peso seco	547,77	gr
Diferencia de Peso		18,06	gr		14,12	gr		12,68	gr
Factor de Corrección N-50	San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	32,9	594,17	gr/m2	464,55	gr/m2	417,17	gr/m2		

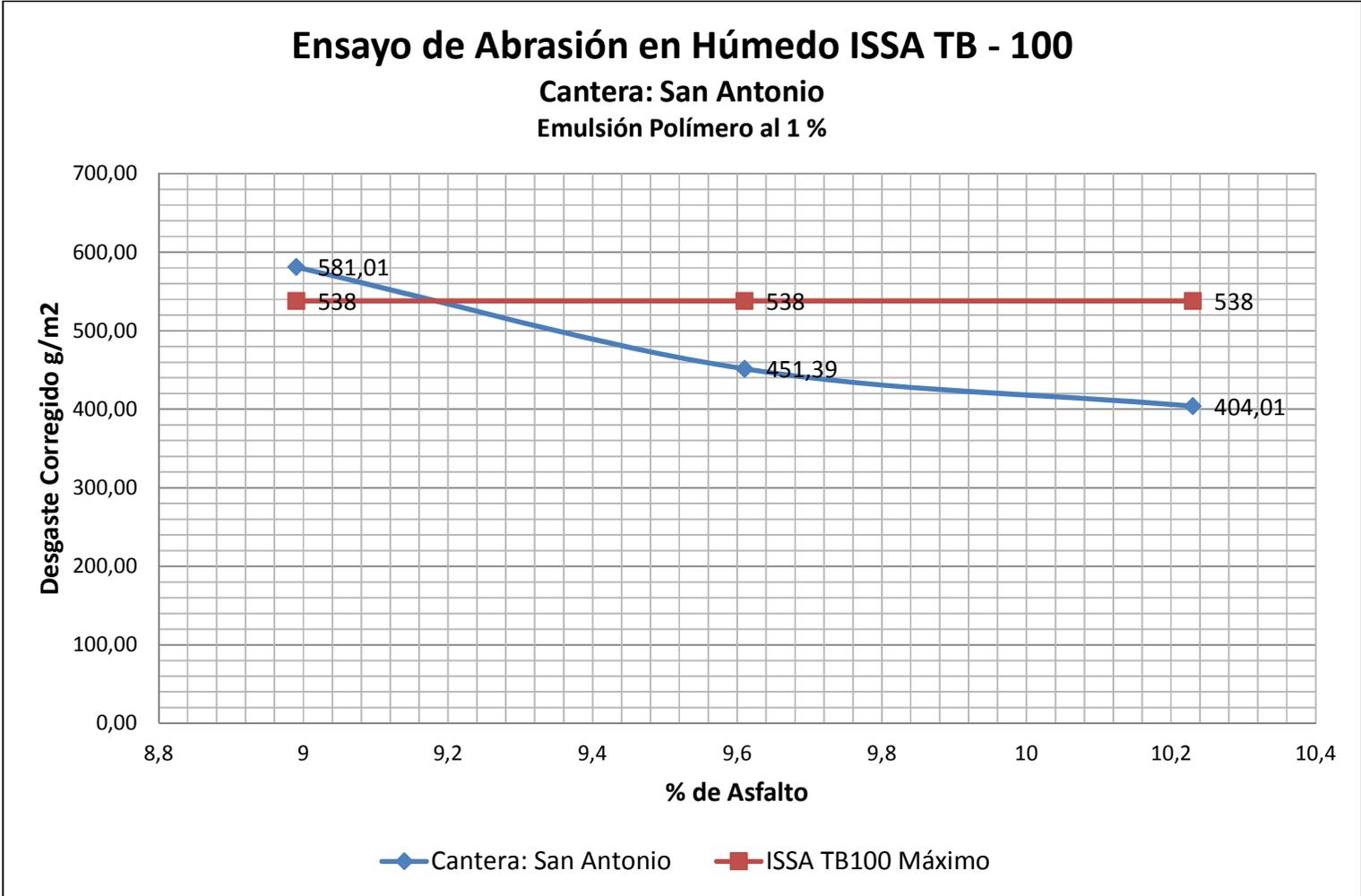
Tabla 5.40: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar



Cuadro 5.29: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

<b>EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR</b>									
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%		
	51	gr		39	gr		39	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%		
	87	gr		93	gr		99	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	607,34	gr	Peso seco	596,32	gr	Peso seco	562,49	gr
Después del Ensayo	Peso seco	589,68	gr	Peso seco	582,6	gr	Peso seco	550,21	gr
Diferencia de Peso		17,66	gr		13,72	gr		12,28	gr
Factor de Corrección N-50	San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
32,9	581,01	gr/m2		451,39	gr/m2		404,01	gr/m2	

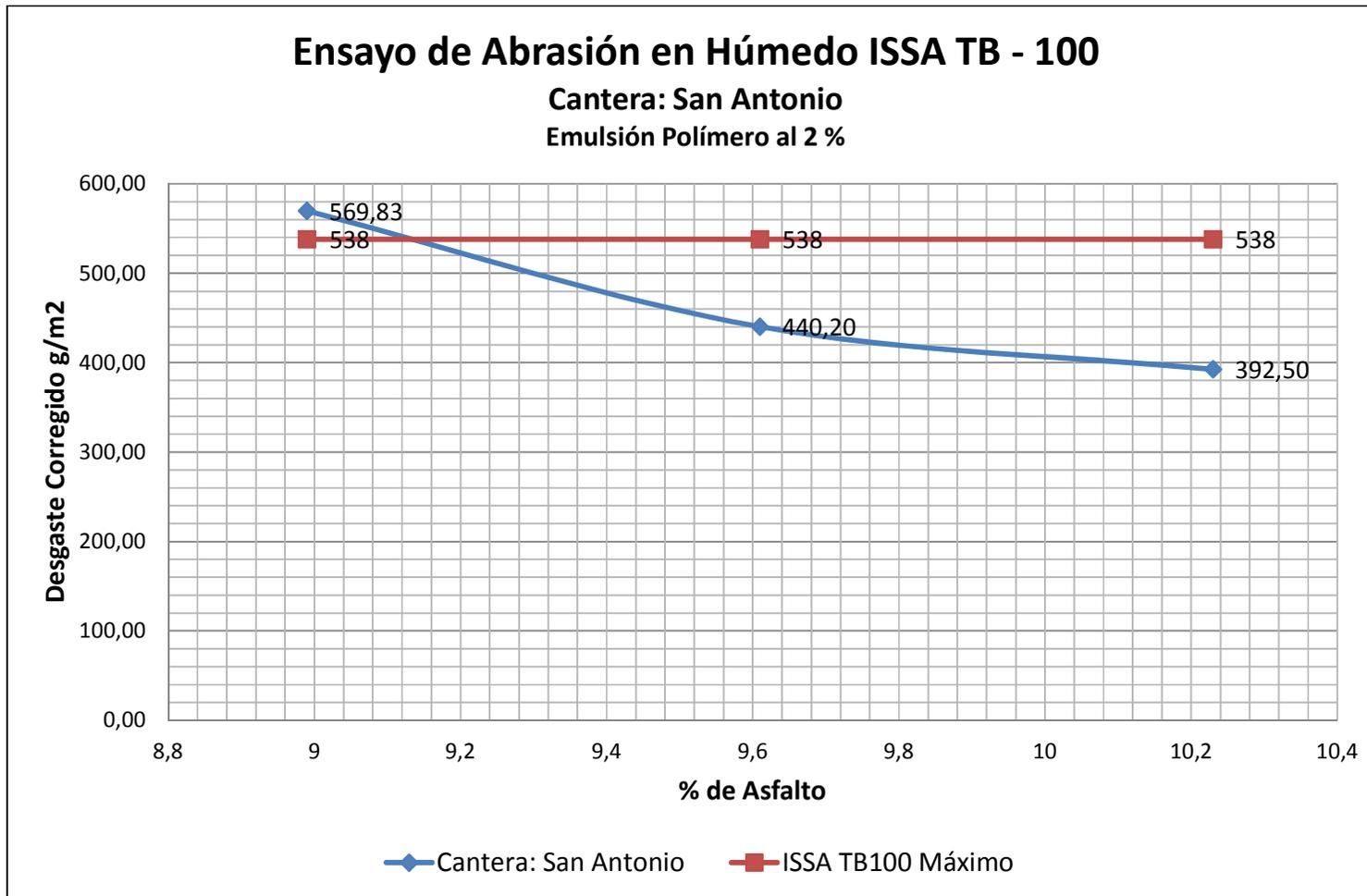
Tabla 5.41: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR



Cuadro 5.30: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR</b>									
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%		
	51	gr		39	gr		39	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%		
	87	gr		93	gr		99	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	608,45	gr	Peso seco	597,87	gr	Peso seco	563,45	gr
Después del Ensayo	Peso seco	591,13	gr	Peso seco	584,49	gr	Peso seco	551,52	gr
Diferencia de Peso		17,32	gr		13,38	gr		11,93	gr
Factor de Corrección N-50	San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	32,9	569,83	gr/m2	440,20	gr/m2	392,50	gr/m2		

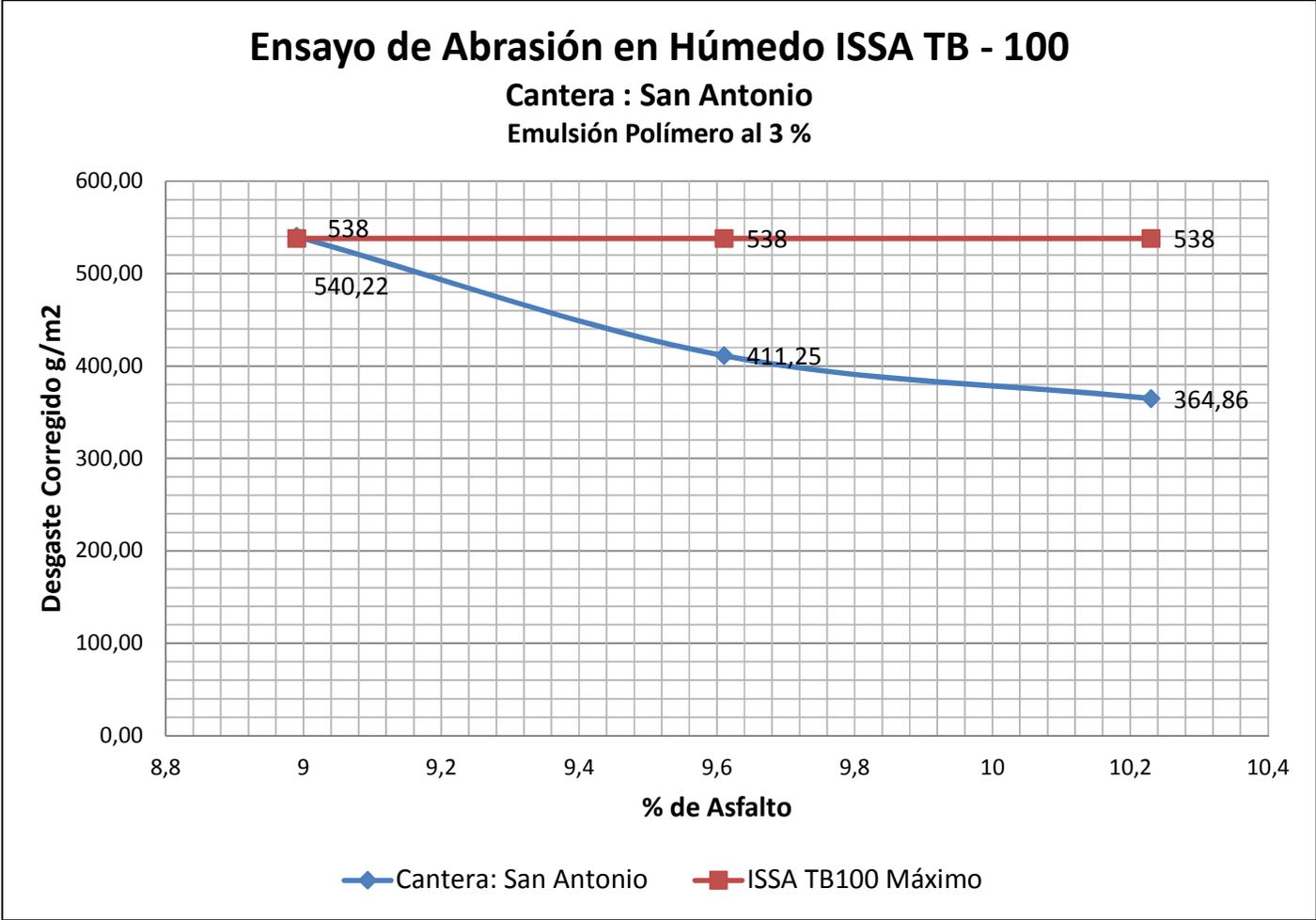
Tabla 5.42: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR



Cuadro 5.31: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR</b>									
<b>San Antonio 14,50%</b>			<b>San Antonio 15,50%</b>			<b>San Antonio 16,50%</b>			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%		
	51	gr		39	gr		39	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%		
	87	gr		93	gr		99	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	607,85	gr	Peso seco	595,96	gr	Peso seco	566,48	gr
Después del Ensayo	Peso seco	591,43	gr	Peso seco	583,46	gr	Peso seco	555,39	gr
Diferencia de Peso		16,42	gr		12,5	gr		11,09	gr
Factor de Corrección N-50	<b>San Antonio 14,50%</b>			<b>San Antonio 15,50%</b>			<b>San Antonio 16,50%</b>		
32,9	540,22	gr/m2		411,25	gr/m2		364,86	gr/m2	

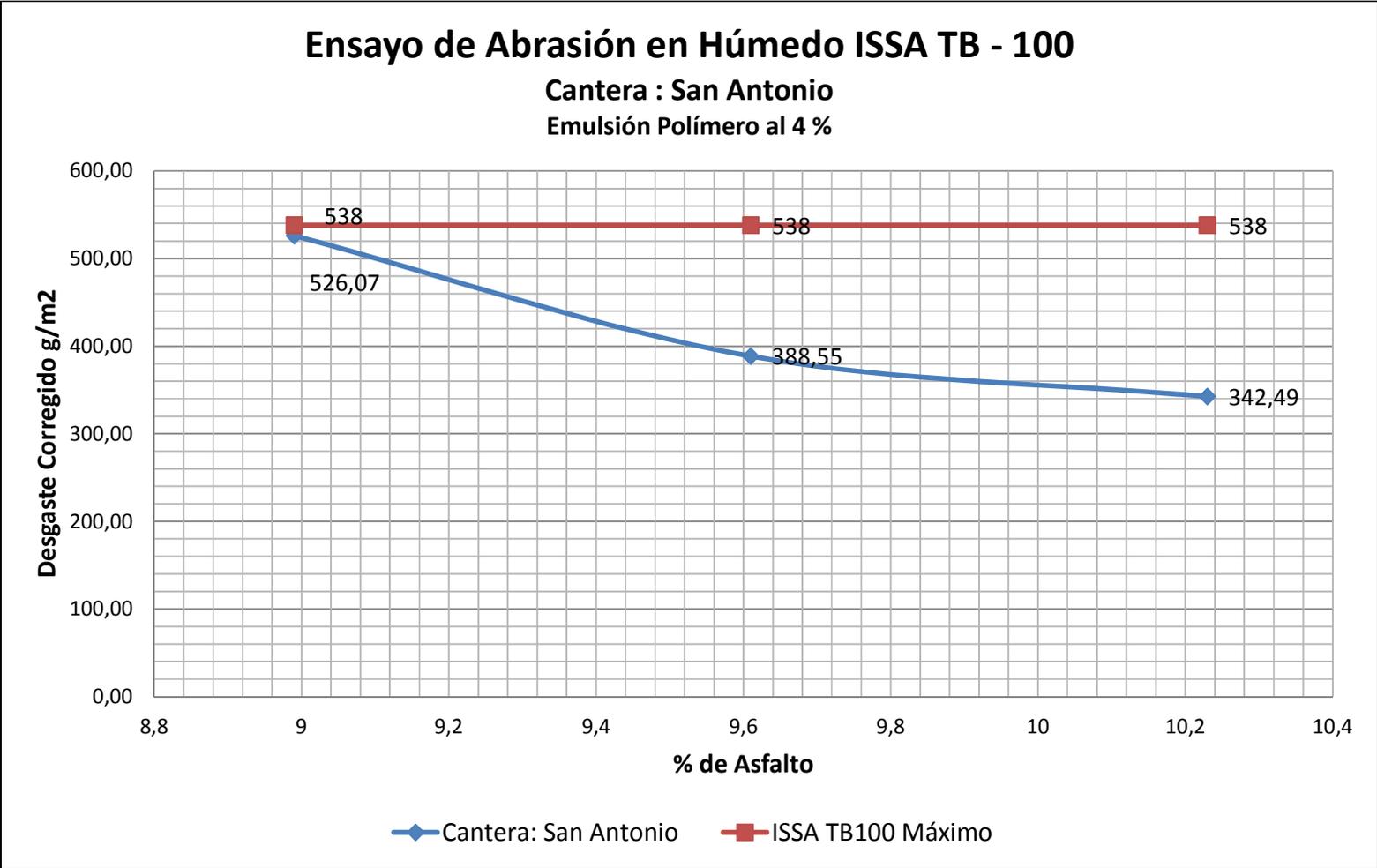
Tabla 5.43: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR



Cuadro 5.32: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

EMULSION CQS DE 4 % DE POLIMERO SBR									
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%			
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad	
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%		
	51	gr		39	gr		39	gr	
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		
	6	gr		6	gr		6	gr	
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%		
	87	gr		93	gr		99	gr	
Antes del Ensayo	Peso seco	606,86	gr	Peso seco	594,93	gr	Peso seco	565,97	gr
Después del Ensayo	Peso seco	590,87	gr	Peso seco	583,12	gr	Peso seco	555,56	gr
Diferencia de Peso		15,99	gr		11,81	gr		10,41	gr
Factor de Corrección N-50	San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
32,9	526,07		gr/m2	388,55		gr/m2	342,49		gr/m2

Tabla 5.44: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR



Cuadro 5.33: Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

## **5.6 Ensayo de Rueda Cargada en el Material Pétreo de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio empleando la Norma ISSA TB – 109.**

### **5.6.1 Objetivo.**

Determinar el contenido máximo de asfalto en mezclas para micropavimentos por la medición de adhesión de arena en especímenes sujetos a la simulación de cargas pesadas bajo la acción de una rueda, además de medir desplazamientos laterales por el mismo efecto. Los límites máximos son 538 g. por metro cuadrado de adhesión de arena.

### **5.6.2 Procedimiento.**

- Determine las cantidades adecuadas de agua, emulsión, aditivo y cemento portland o cal para el peso seco del agregado pétreo.
- Tome una muestra representativa de material pétreo mediante un proceso de cuarteos sucesivos hasta obtener una muestra de al menos 1,5kg.
- Coloque 400 g de agregado pétreo en un tazón, si la muestra presenta una cantidad de finos menor al 5% del material pasante del tamiz #200, se deberá colocar cemento portland (filler) para compensar su poca presencia, este debe iniciarse con 1% de filler respecto a la masa del material pétreo. Mezcle la muestra con una cuchara por 1 minuto o hasta lograr homogeneidad en la misma.

- Añadir agua en las proporciones adecuadas de tal manera que se prepare un mortero asfáltico con un tiempo de rotura de 30 segundos.



Figura 5.14: Preparación de la mezcla asfáltica

- Añada la cantidad de emulsión haciendo variar su porcentaje de acuerdo a cada espécimen.
- Para cada uno de los especímenes se vierte el mortero asfáltico sobre un molde metálico de dimensiones estandarizadas, el cual estará apoyado sobre una base metálica. Enrase la muestra hasta lograr una superficie horizontal y homogénea. A continuación retire el molde, y asegúrese que no escurra la mezcla lateralmente; caso contrario se debe desechar el espécimen y preparar uno nuevo.



Figura 5.15: Colocación de la Mezcla Asfáltica en el molde

- Se coloca los especímenes en el horno a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo mínimo de 15 horas.
- Luego del secado, se deja enfriar los especímenes a temperatura ambiente antes de someterlos al ensayo de rueda cargada propiamente.



Figura 5.16: Muestras terminadas

- Se coloca la muestra sobre la placa de montaje, la cual se fija firmemente con los tornillos de sujeción.
- A continuación se coloca la rueda de goma de 3" de diámetro sobre el espécimen e inmediatamente se añade una carga de 57 kg con un movimiento suave de tal manera que no se produzca un asentamiento puntual en la muestra.



Figura 5.17: Colocación de la Muestra en la Máquina

- Una vez encendido el contador de la máquina, se somete al espécimen a 1000 ciclos a 25°C. Si durante el proceso, empieza a tornarse pegajoso el contacto entre la rueda y la muestra, se debe añadir agua a 25°C de tal manera que se evite desprendimiento del espécimen.
- Si la muestra presenta desplazamientos laterales mayores a 5mm. antes de alcanzar los 1000 ciclos, se debe descartar el espécimen y elaborar nuevamente uno.



Figura 5.18: Aplicación de la carga en la muestra

- Se retira el espécimen de la máquina, y se lo debe colocar en el horno a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  hasta que alcance un peso constante.



Figura 5.19: Muestra ensayada a 1000 ciclos

- Se registra el peso del espécimen seco, y nuevamente se coloca la muestra en la máquina, pero en esta ocasión se vierte sobre el espécimen 300 g. de arena de Ottawa a una temperatura de  $82^{\circ}\text{C}$  con la ayuda de un marco para contenerla. Nuevamente se carga la máquina y se somete a 100 ciclos más.



Figura 5.20: Colocación de Arena sobre la muestra ensayada

- Se retira el espécimen y con la ayuda de un cepillo suave se limpia las partículas sueltas de arena.



Figura 5.21: Arena adherida a las muestras al finalizar el ensayo

- Se registra el peso del espécimen con la arena adherida.

### 5.6.3 Resultados de los Ensayos.

- **Cantera de Guayllabamba.**

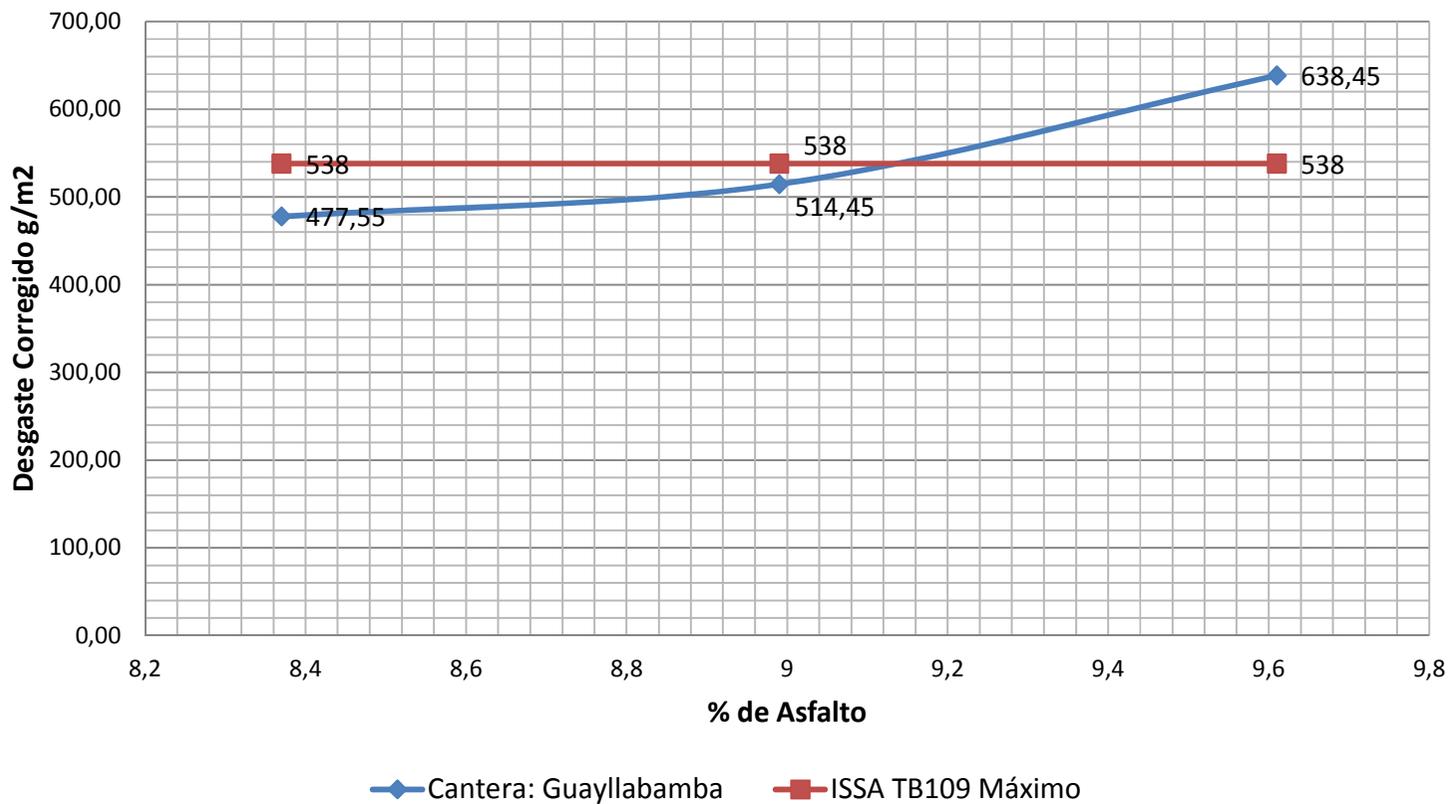
<b>EMULSION CQS SIN POLIMERO</b>								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	U.		Cantidad	U.		Cantidad	U.
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	72	gr		60	gr		60	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	6	gr		6	gr		6	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	81	gr		87	gr		93	gr
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	406,66	gr	Muestra ensayada Sin Arena	423,66	gr	Muestra ensayada Sin Arena	421,11	gr
Muestra ensayada Con Arena	413,13	gr	Muestra ensayada Con Arena	430,63	gr	Muestra ensayada Con Arena	429,76	gr
Arena Adherida	6,47	gr	Arena Adherida	6,97	gr	Arena Adherida	8,65	gr
	477,55	gr/m2		514,45	gr/m2		638,45	gr/m2

Tabla 5.45: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: Guayllabamba

Emulsión Sin Polímero

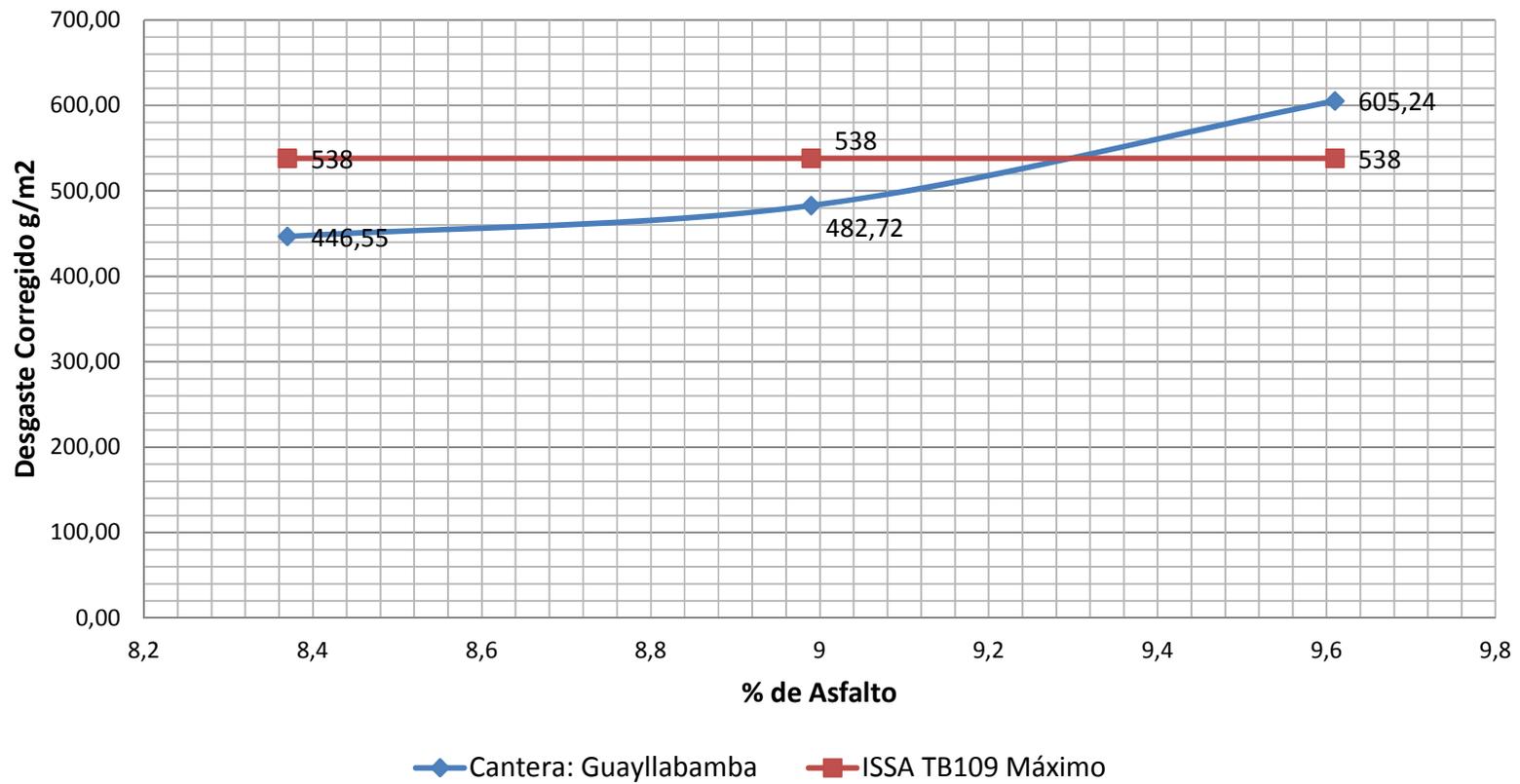


Cuadro 5.34: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	72	gr		60	gr		60	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	6	gr		6	gr		6	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	81	gr		87	gr		93	gr
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	415,76	gr	Muestra ensayada Sin Arena	444,23	gr	Muestra ensayada Sin Arena	442,45	gr
Muestra ensayada Con Arena	421,81	gr	Muestra ensayada Con Arena	450,77	gr	Muestra ensayada Con Arena	450,65	gr
Arena Adherida	6,05	gr	Arena Adherida	6,54	gr	Arena Adherida	8,20	gr
	446,55	gr/m2		482,72	gr/m2		605,24	gr/m2

Tabla 5.46: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

**Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109**  
**Cantera: Guayllabamba**  
**Emulsión Polímero al 1 %**



Cuadro 5.35: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

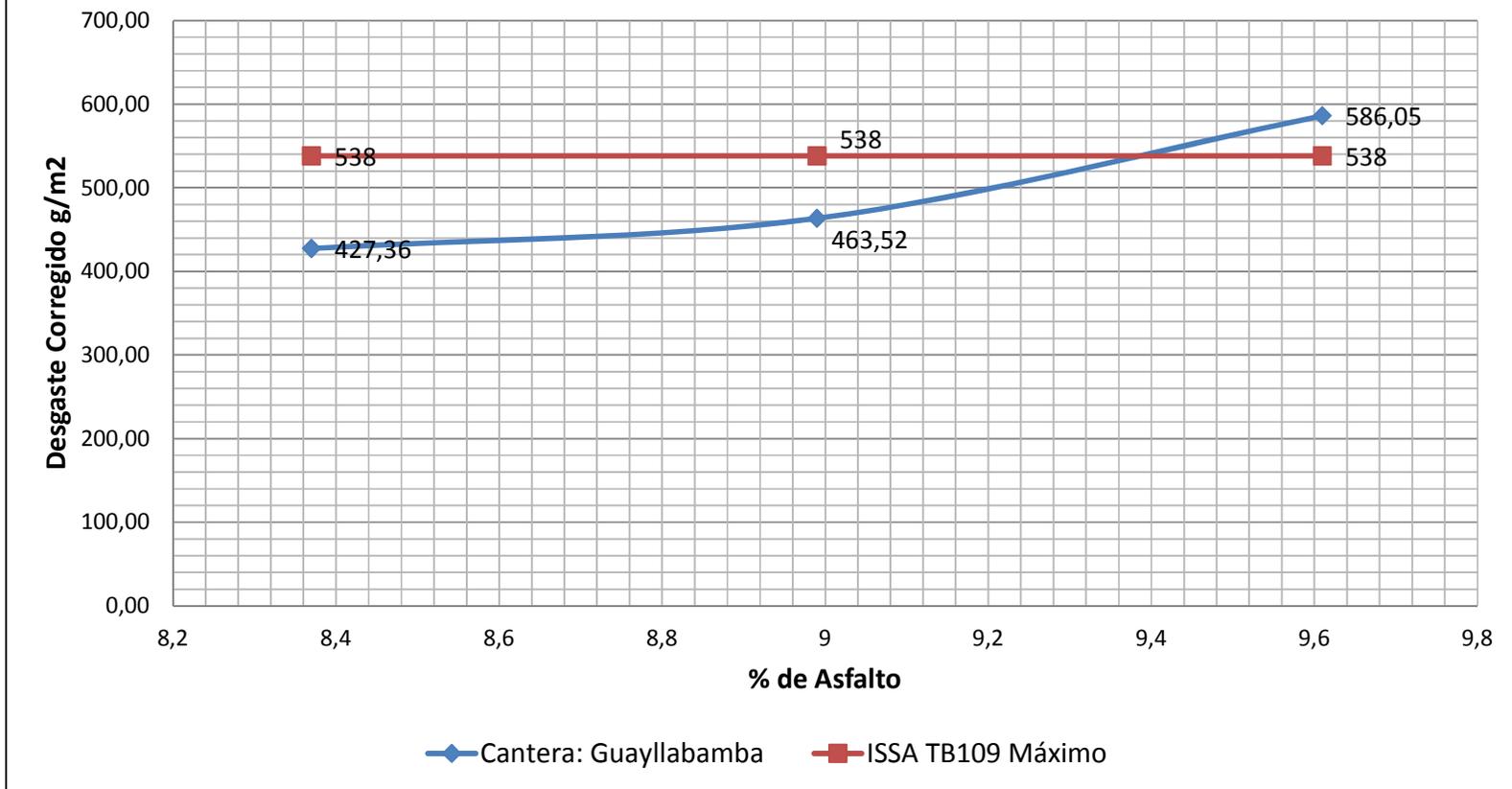
EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	72	gr		60	gr		60	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	6	gr		6	gr		6	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	81	gr		87	gr		93	gr
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	412,34	gr	Muestra ensayada Sin Arena	445,54	gr	Muestra ensayada Sin Arena	423,15	gr
Muestra ensayada Con Arena	418,13	gr	Muestra ensayada Con Arena	451,82	gr	Muestra ensayada Con Arena	431,09	gr
Arena Adherida	5,79	gr	Arena Adherida	6,28	gr	Arena Adherida	7,94	gr
	427,36	gr/m2		463,52	gr/m2		586,05	gr/m2

Tabla 5.47: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: Guayllabamba

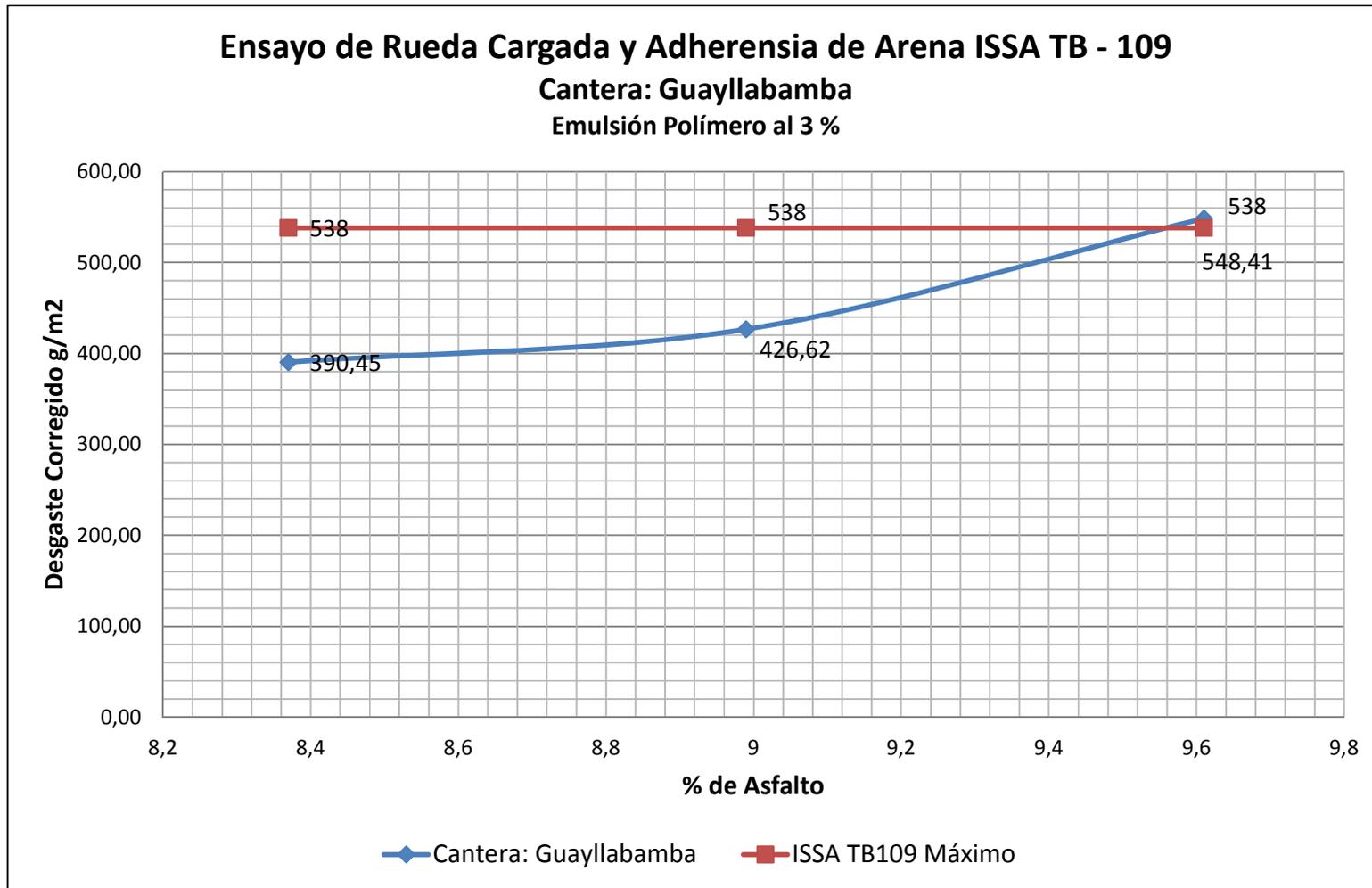
Emulsión Polímero al 2 %



Cuadro 5.36: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR</b>								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	72	gr		60	gr		60	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	6	gr		6	gr		6	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	81	gr		87	gr		93	gr
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	407,34	gr	Muestra ensayada Sin Arena	433,24	gr	Muestra ensayada Sin Arena	428,41	gr
Muestra ensayada Con Arena	412,63	gr	Muestra ensayada Con Arena	439,02	gr	Muestra ensayada Con Arena	435,84	gr
Arena Adherida	5,29	gr	Arena Adherida	5,78	gr	Arena Adherida	7,43	gr
	390,45	gr/m2		426,62	gr/m2		548,41	gr/m2

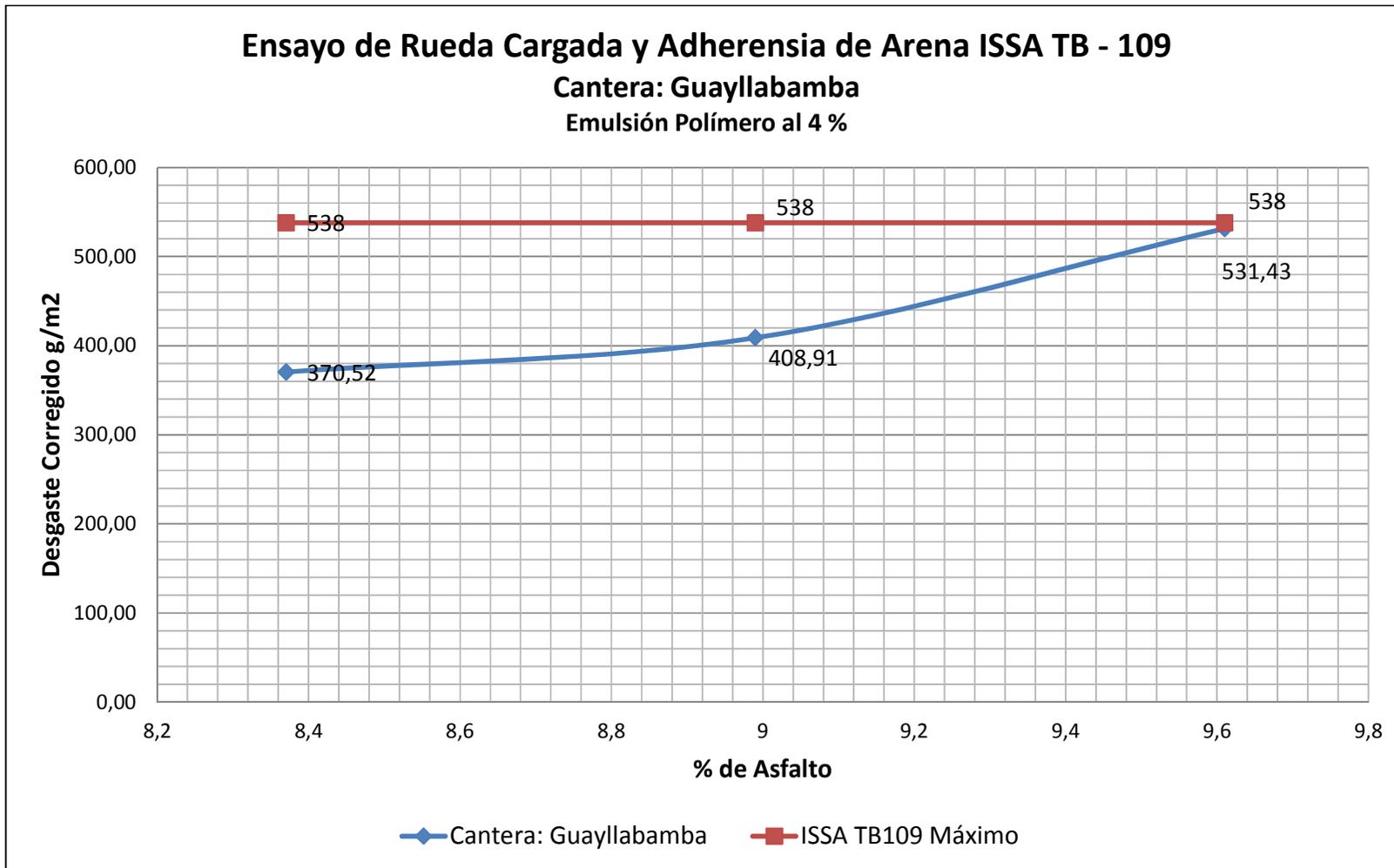
Tabla 5.48: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR



Cuadro 5.37: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

<b>EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR</b>								
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	600	gr	Agregado	600	gr	Agregado	600	gr
Agua	12,00%		Agua	10,00%		Agua	10,00%	
	72	gr		60	gr		60	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	6	gr		6	gr		6	gr
Emulsión	13,50%		Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%	
	81	gr		87	gr		93	gr
Guayllabamba 13,50%			Guayllabamba 14,50%			Guayllabamba 15,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	410,23	gr	Muestra ensayada Sin Arena	415,75	gr	Muestra ensayada Sin Arena	422,03	gr
Muestra ensayada Con Arena	415,25	gr	Muestra ensayada Con Arena	421,29	gr	Muestra ensayada Con Arena	429,23	gr
Arena Adherida	5,02	gr	Arena Adherida	5,54	gr	Arena Adherida	7,20	gr
	370,52	gr/m2		408,91	gr/m2		531,43	gr/m2

Tabla 5.49: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

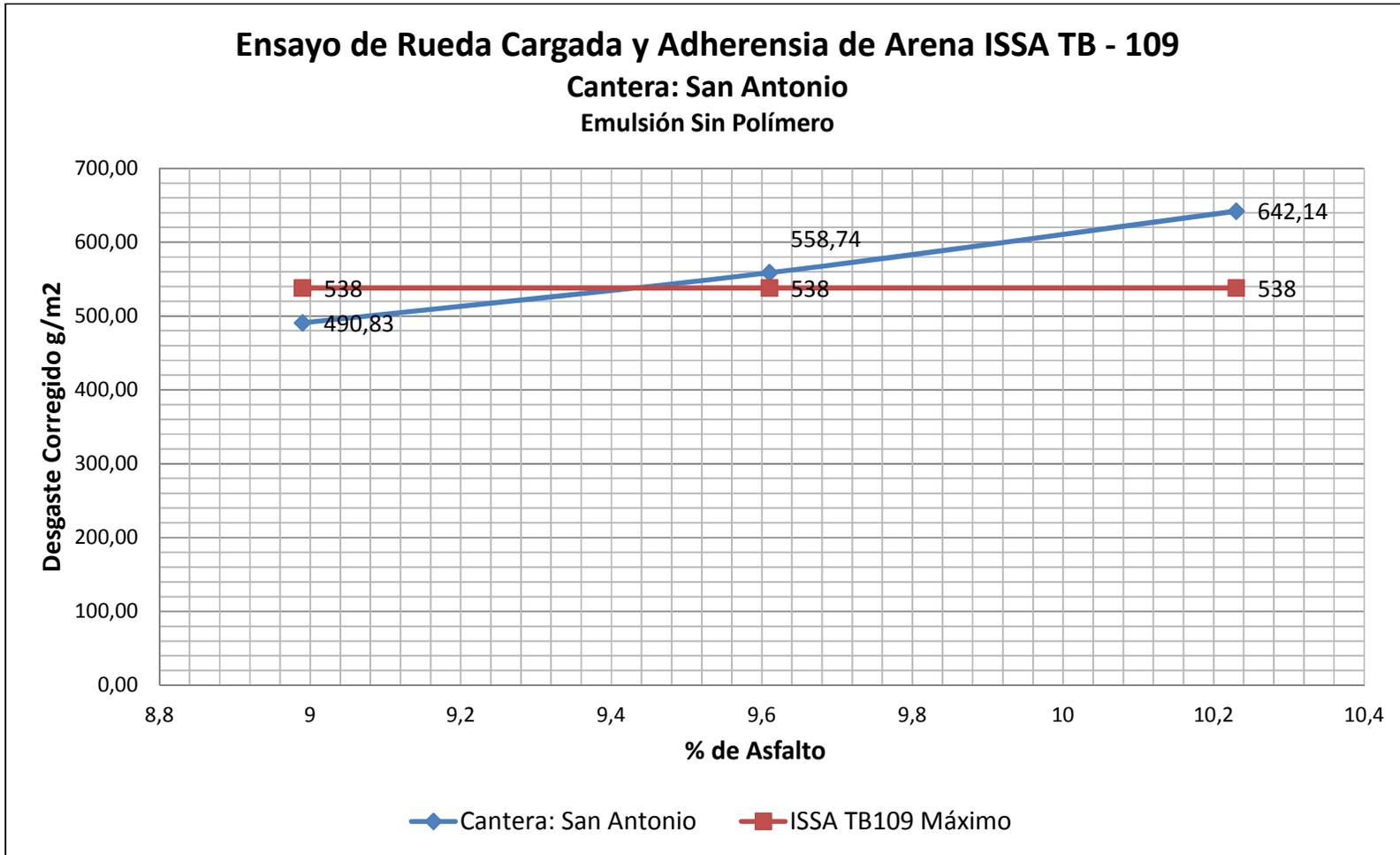


Cuadro 5.38: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

- **Cantera de San Antonio.**

<b>EMULSION CQS SIN POLIMERO</b>								
<b>San Antonio 14,50%</b>			<b>San Antonio 15,50%</b>			<b>San Antonio 16,50%</b>		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	34	gr		26	gr		26	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	58	gr		62	gr		66	gr
<b>San Antonio 14,50%</b>			<b>San Antonio 15,50%</b>			<b>San Antonio 16,50%</b>		
Muestra ensayada Sin Arena	453,06	gr	Muestra ensayada Sin Arena	503,51	gr	Muestra ensayada Sin Arena	478,01	gr
Muestra ensayada Con Arena	459,71	gr	Muestra ensayada Con Arena	511,08	gr	Muestra ensayada Con Arena	486,71	gr
Arena Adherida	6,65	gr	Arena Adherida	7,57	gr	Arena Adherida	8,70	gr
	490,83	gr/m2		558,74	gr/m2		642,14	gr/m2

Tabla 5.50: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar



Cuadro 5.39: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica sin modificar

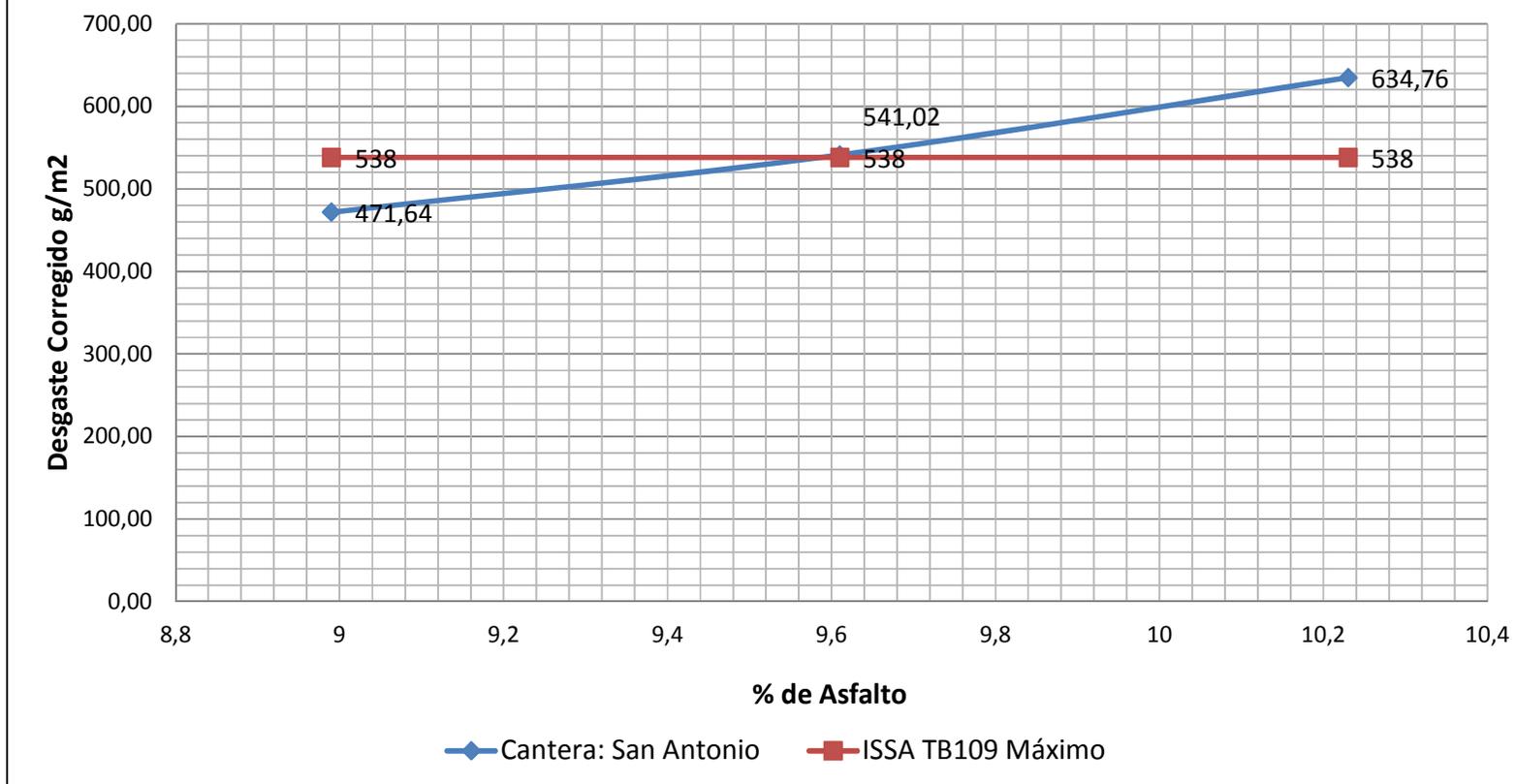
EMULSION CQS CON 1 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	34	gr		26	gr		26	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	58	gr		62	gr		66	gr
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	474,58	gr	Muestra ensayada Sin Arena	458,34	gr	Muestra ensayada Sin Arena	471,75	gr
Muestra ensayada Con Arena	480,97	gr	Muestra ensayada Con Arena	465,67	gr	Muestra ensayada Con Arena	480,35	gr
Arena Adherida	6,39	gr	Arena Adherida	7,33	gr	Arena Adherida	8,60	gr
	471,64	gr/m2		541,02	gr/m2		634,76	gr/m2

Tabla 5.51: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: San Antonio

Emulsión Polímero al 1 %



Cuadro 5.40: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 1 % de Polímero SBR

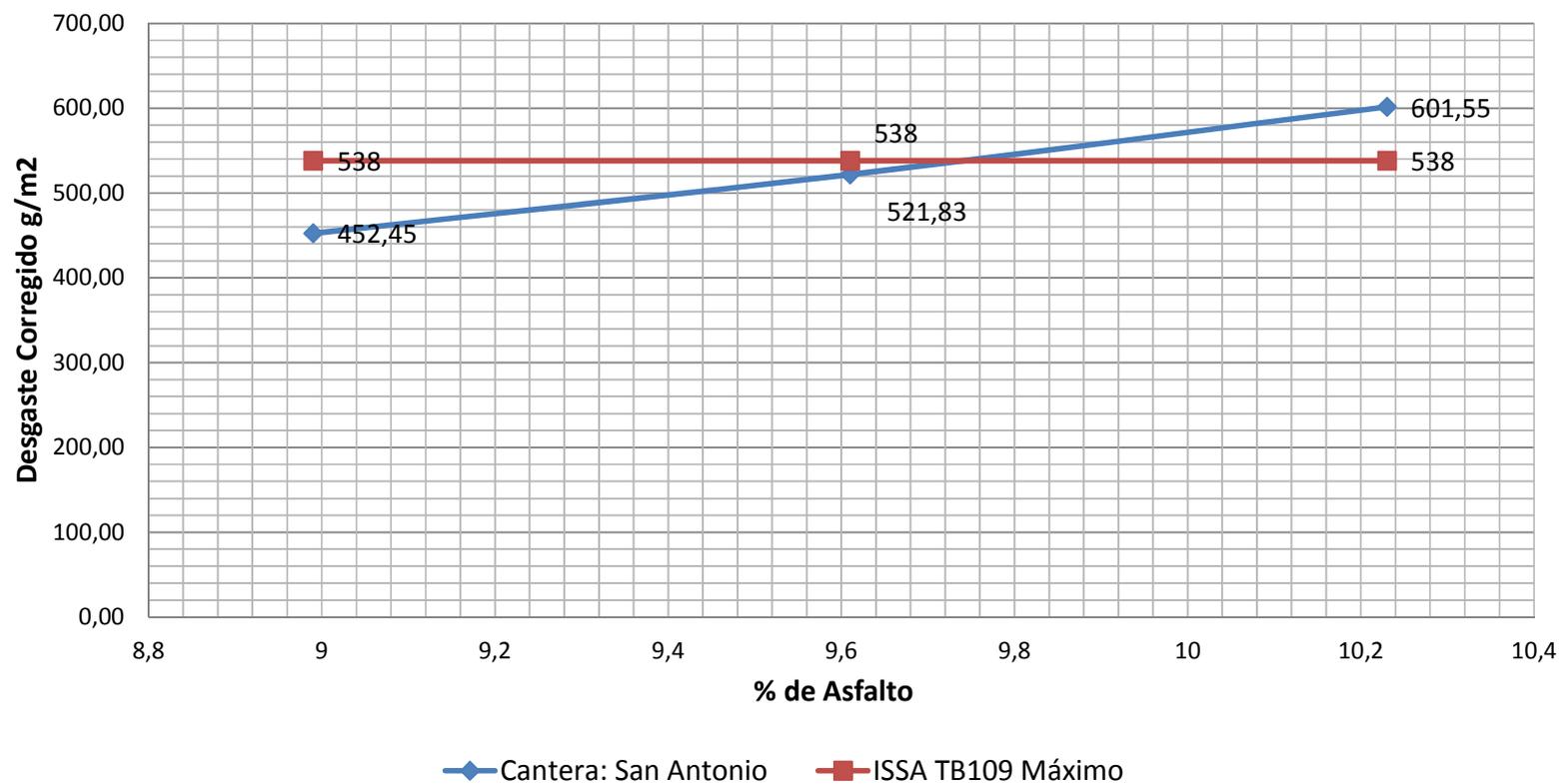
EMULSION CQS CON 2 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	34	gr		26	gr		26	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	58	gr		62	gr		66	gr
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	455,2	gr	Muestra ensayada Sin Arena	472,29	gr	Muestra ensayada Sin Arena	487,13	gr
Muestra ensayada Con Arena	461,33	gr	Muestra ensayada Con Arena	479,36	gr	Muestra ensayada Con Arena	495,28	gr
Arena Adherida	6,13	gr	Arena Adherida	7,07	gr	Arena Adherida	8,15	gr
	452,45	gr/m2		521,83	gr/m2		601,55	gr/m2

Tabla 5.52: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: San Antonio

Emulsión Polímero al 2 %



Cuadro 5.41: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 2 % de Polímero SBR

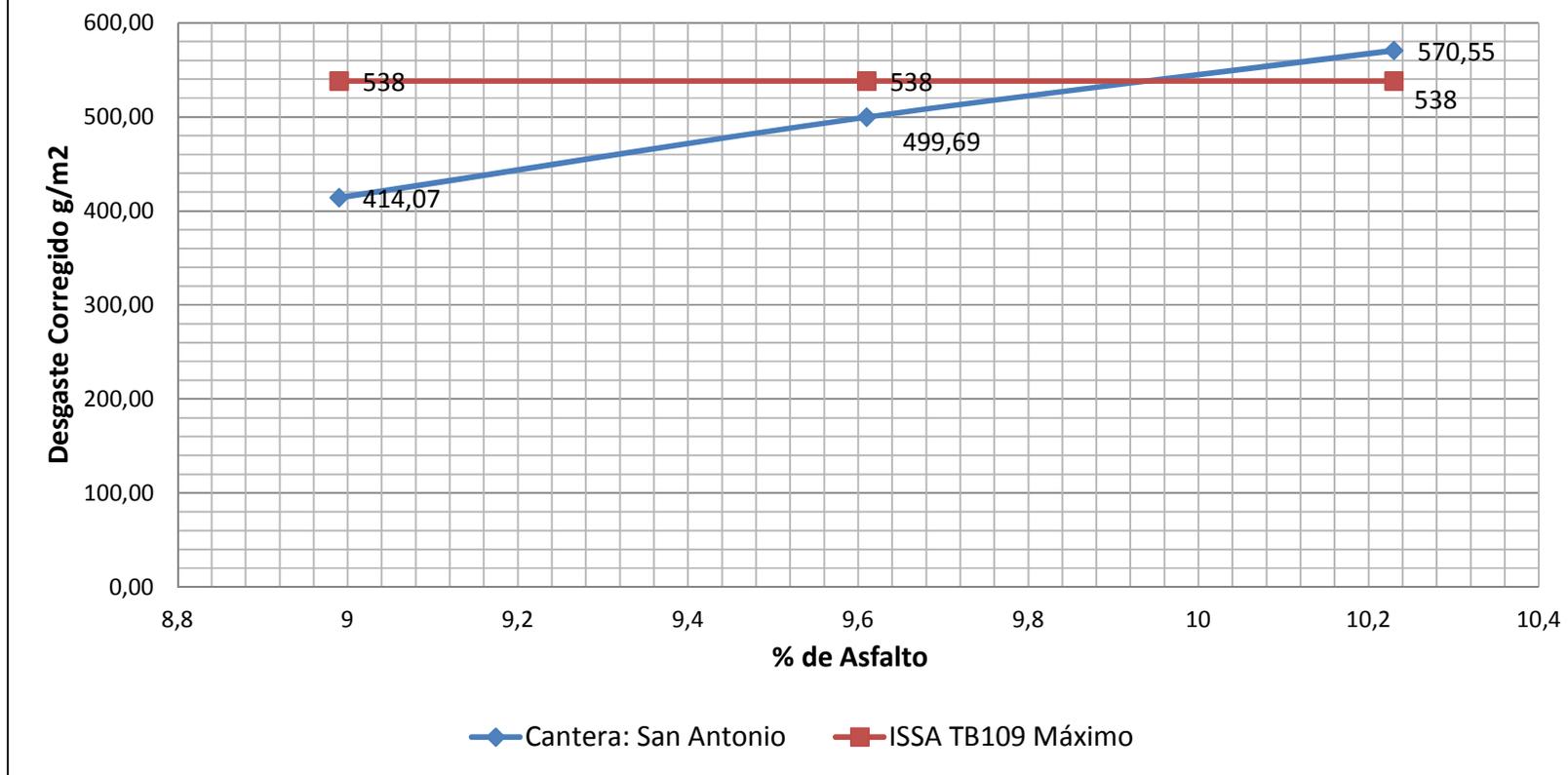
EMULSION CQS CON 3 % DE POLIMERO SBR								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	34	gr		26	gr		26	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	58	gr		62	gr		66	gr
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	405,92	gr	Muestra ensayada Sin Arena	440,57	gr	Muestra ensayada Sin Arena	434,25	gr
Muestra ensayada Con Arena	411,53	gr	Muestra ensayada Con Arena	447,34	gr	Muestra ensayada Con Arena	441,98	gr
Arena Adherida	5,61	gr	Arena Adherida	6,77	gr	Arena Adherida	7,73	gr
	414,07	gr/m2		499,69	gr/m2		570,55	gr/m2

Tabla 5.53: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: San Antonio

Emulsión Polímero al 3 %



Cuadro 5.42: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 3 % de Polímero SBR

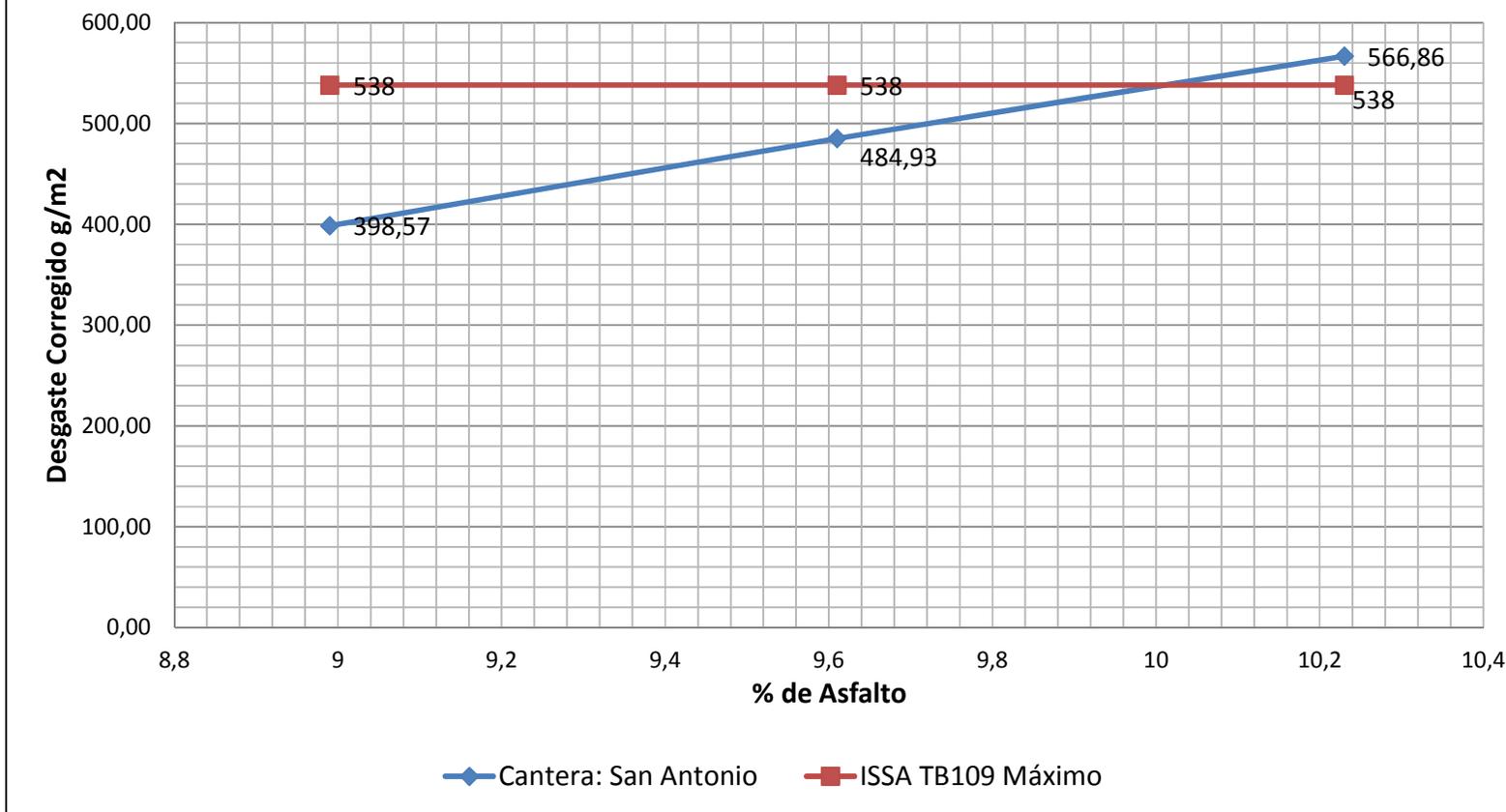
<b>EMULSION CQS CON 4 % DE POLIMERO SBR</b>								
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
	Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad		Cantidad	Unidad
Agregado	400	gr	Agregado	400	gr	Agregado	400	gr
Agua	8,50%		Agua	6,50%		Agua	6,50%	
	34	gr		26	gr		26	gr
Cemento	1,00%		Cemento	1,00%		Cemento	1,00%	
	4	gr		4	gr		4	gr
Emulsión	14,50%		Emulsión	15,50%		Emulsión	16,50%	
	58	gr		62	gr		66	gr
San Antonio 14,50%			San Antonio 15,50%			San Antonio 16,50%		
Muestra ensayada Sin Arena	419,94	gr	Muestra ensayada Sin Arena	456,4	gr	Muestra ensayada Sin Arena	471,36	gr
Muestra ensayada Con Arena	425,34	gr	Muestra ensayada Con Arena	462,97	gr	Muestra ensayada Con Arena	479,04	gr
Arena Adherida	5,40	gr	Arena Adherida	6,57	gr	Arena Adherida	7,68	gr
	398,57	gr/m2		484,93	gr/m2		566,86	gr/m2

Tabla 5.54: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

### Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB - 109

Cantera: San Antonio

Emulsión Polímero al 4 %



Cuadro 5.43: Ensayo de Rueda Cargada ISSA TB – 109 en la Mezcla Asfáltica modificada con 4 % de Polímero SBR

# **CAPITULO VI**

## **DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO**

## CAPÍTULO VI: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO

### 6.1 Consideraciones de Diseño

La ISSA TB – 111, recomienda seguir el procedimiento establecido a continuación para el diseño de los sellos asfálticos; los mismos que han sido tomados en consideración para la realización de éste proyecto.

**Primera Parte:** Consideraciones de diseño preliminares

#### 1. Descripción del pavimento a tratar

- **Estado de la superficie:** textura, absorción, grietas estructurales, contaminación superficial, geometría longitudinal y transversal, ahuellamientos y vegetación.
- **Condiciones climáticas:** clima, temperatura, precipitaciones, sombra y viento.
- **Tráfico medio diario (IMD):** límites de velocidad.

#### 2. Estado objetivo del tratamiento

- Número de capas requeridas y textura superficial.

- Sellado, relleno de grietas, acuñamiento, preparación para la superposición, corrección de deslizamiento, etc.
- Esperanza de vida.

### **3. Evaluación y selección de materiales**

- Evaluación de los agregados propuestos.
  - Granulometría, contenido de vacíos, calidad de finos, equivalente de arena, micro textura, forma de partículas.
  - Propiedades mecánicas de resistencia a la abrasión mecánica, pérdida a la criba agitadora L.A. Rattler, dureza, resistencia al aplastamiento.
  - Propiedades químicas, insolubilidad del ácido, solvencia al sulfato de sodio, solubilidad en agua.
  - Mineralogía / petrología, geología.
  - Ubicación economía, disponibilidad, costo de transporte.
  - Resistencia al deslizamiento
- Seleccione de agregados y granulometría para cumplir los objetivos establecidos.
- Evaluación de la emulsión propuesta.

- Base de origen del asfalto tipo de oxidación/resistencia endurecimiento.
  - Estabilidad del tamaño de las partículas de la emulsión, sensibilidad al corte.
  - Requerimientos del clima/penetración-viscosidad.
  - Estimación del tiempo de apertura al tráfico
  - Requisitos de rotura rápida/rotura lenta.
  - Compatibilidad de la emulsión asfáltica con los agregados seleccionados
  - Ubicación económica, disponibilidad, costo de transporte.
- Selección de la emulsión para satisfacer las condiciones de diseño.

**Segunda Parte:** Procedimientos para la formulación de la mezcla de trabajo.

### **1. Estimación de las necesidades teóricas**

- Gradación del Agregado en el agregado seco (ASTM C 136)
- Equivalente de Arena en el agregado (ASTM D 2419)
- Gravedad específica del agregado ( ASTM C 128)
- Calcular la Superficie Total
- Porcentaje Residual de Asfalto en la Emulsión (ASTM 6934)

## **2. Sistemas de Compatibilidad**

- Estimación del contenido óptimo de agua, mineral de relleno (filler) y las características mezcla-rotura-trafico/tiempo de curado.
- Ensayo de consistencia para obtener un desplazamiento de 2,5 centímetros, ISSA TB – 106.

## **3. Determinación del tiempo de curado o apertura al tránsito por medio del ensayo de cohesión**

- Establecer tiempos de mezcla y rotura para la temperatura de trabajo de acuerdo a la Norma ISSA TB -102.
- Establecer el tiempo de apertura al tránsito por medio del cohesiómetro para la temperatura de trabajo.

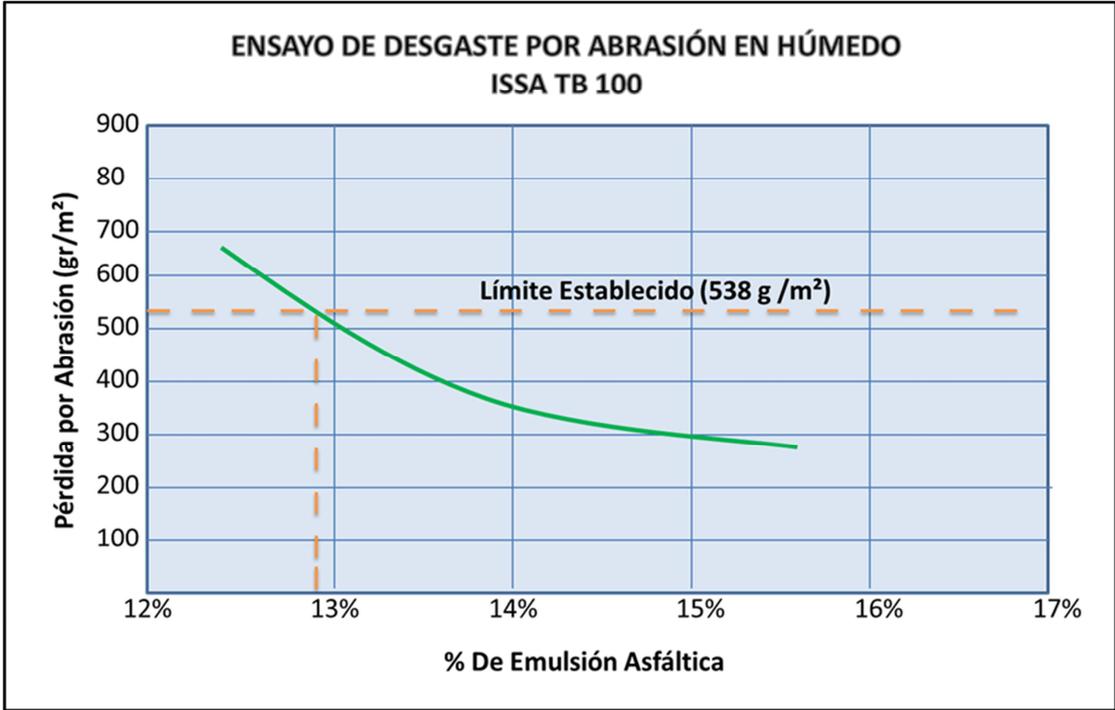
## **4. Pruebas físicas en el Micropavimento.**

- Ensayo de Abrasión en Húmedo (ISSA TB 100): Simulación de una superficie saturada sometida a abrasión mecánica.
- Ensayo de Rueda Cargada (ISSA TB 109): Simulación de cargas pesadas de tránsito bajo de la acción de una rueda.

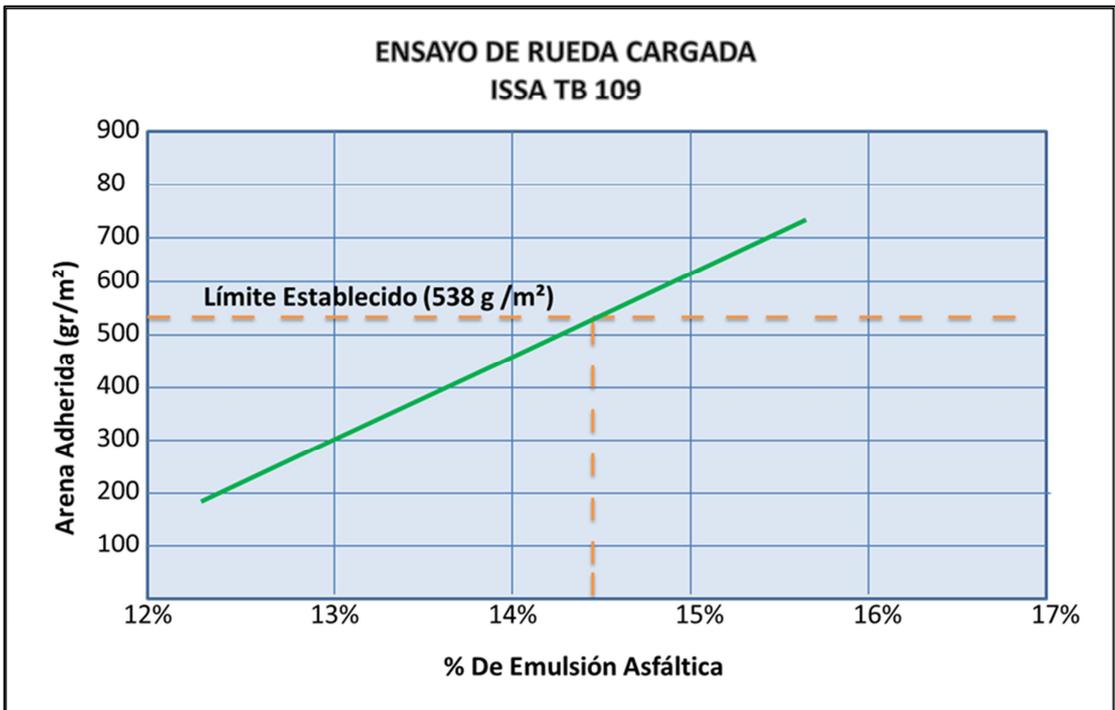
- Ensayo de Desgaste por Fricción (M-MMP-4): Determinar el desprendimiento de la película asfáltica de los materiales pétreos, sometidos a la acción de agua y varios ciclos de agitación.
- Ensayo de Adherencia (ASTM D 3625): Determinar el desprendimiento de la película asfáltica de los materiales pétreos, sometidos a la acción del agua a temperatura de ebullición.
- Ensayo de Vialit (NLT-313): Valorar la adhesividad y la resistencia al desprendimiento entre el agregado y la emulsión asfáltica.

## **6.2 Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto para los Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio de acuerdo a la Norma ISSA TB- 111.**

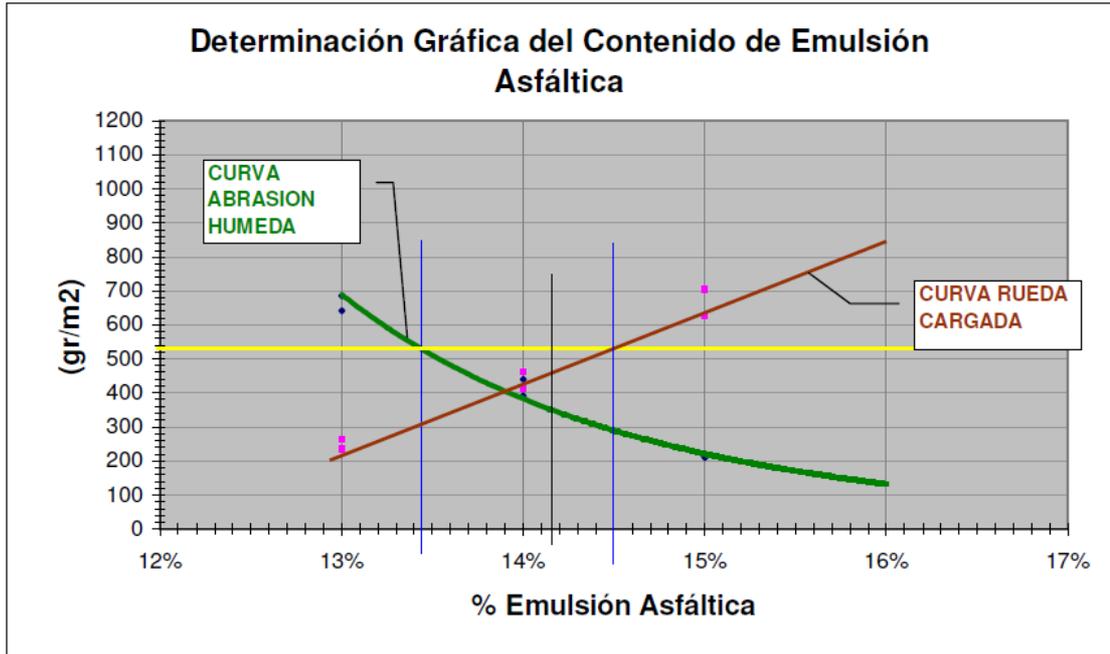
El límite mínimo de asfalto que la emulsión puede contener se determina por medio del ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB - 100) y el límite máximo de asfalto que la emulsión puede contener se determina por medio del ensayo de rueda cargada (ISSA TB - 109). Una vez que las curvas se hayan graficado, estas se deben superponer para determinar el contenido óptimo de asfalto.



Cuadro 6.1: Contenido Óptimo Mínimo de Asfalto ISSA TB – 100.



Cuadro 6.2: Contenido Óptimo Máximo de Asfalto ISSA TB – 109.



Cuadro 6.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111. (Fuente: Guía Básica para el Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Semi-Líquidas: Morteros Asfálticos (Slurry Seal) y Micro – Pavimentos (Micro - Surfacing))

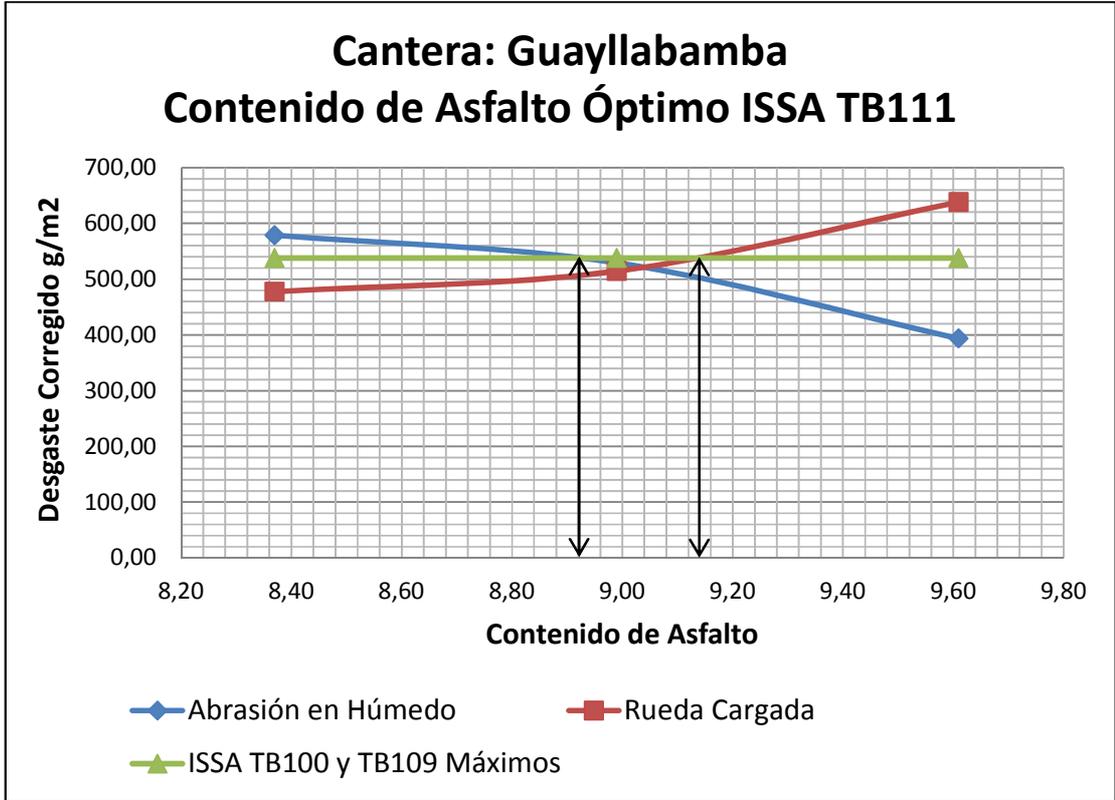
## 6.2.1 Resultados de los ensayos.

### 6.2.1.1 Cantera de Guayllabamba.

- **Emulsión CQS sin Polímero:**

Cantera: Guayllabamba				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
13,50	8,37	578,71	477,55	538,00
14,50	8,99	529,36	514,45	538,00
15,50	9,61	393,48	638,45	538,00

Tabla 6.1: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.



Cuadro 6.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,12 - 8,92}{2} + 8,92 = 9,02\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,02}{0,62} = 14,54\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 14,50%.

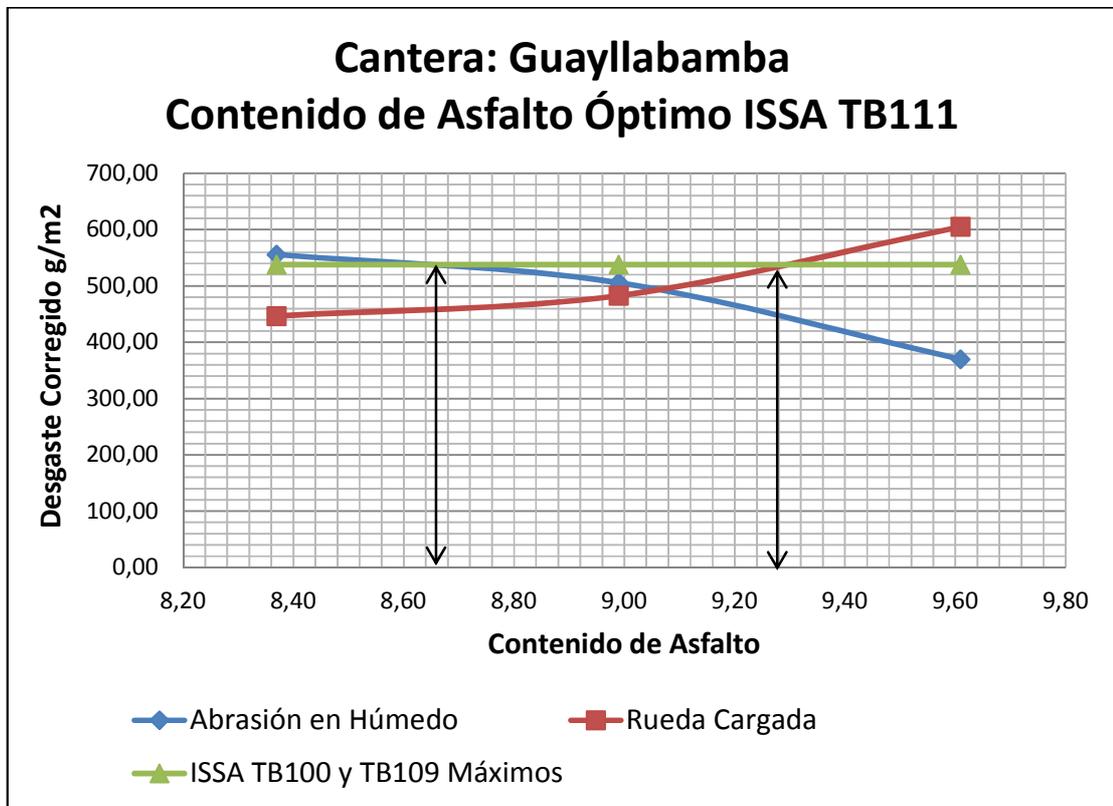
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,02%	14,54%	14,50%

Tabla 6.2: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Cantera: Guayllabamba				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
13,50	8,37	555,68	446,55	538,00
14,50	8,99	505,67	482,72	538,00
15,50	9,61	369,80	605,24	538,00

Tabla 6.3: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.



Cuadro 6.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,28 - 8,68}{2} + 8,68 = 8,98\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,98}{0,62} = 14,48\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 14,50%.

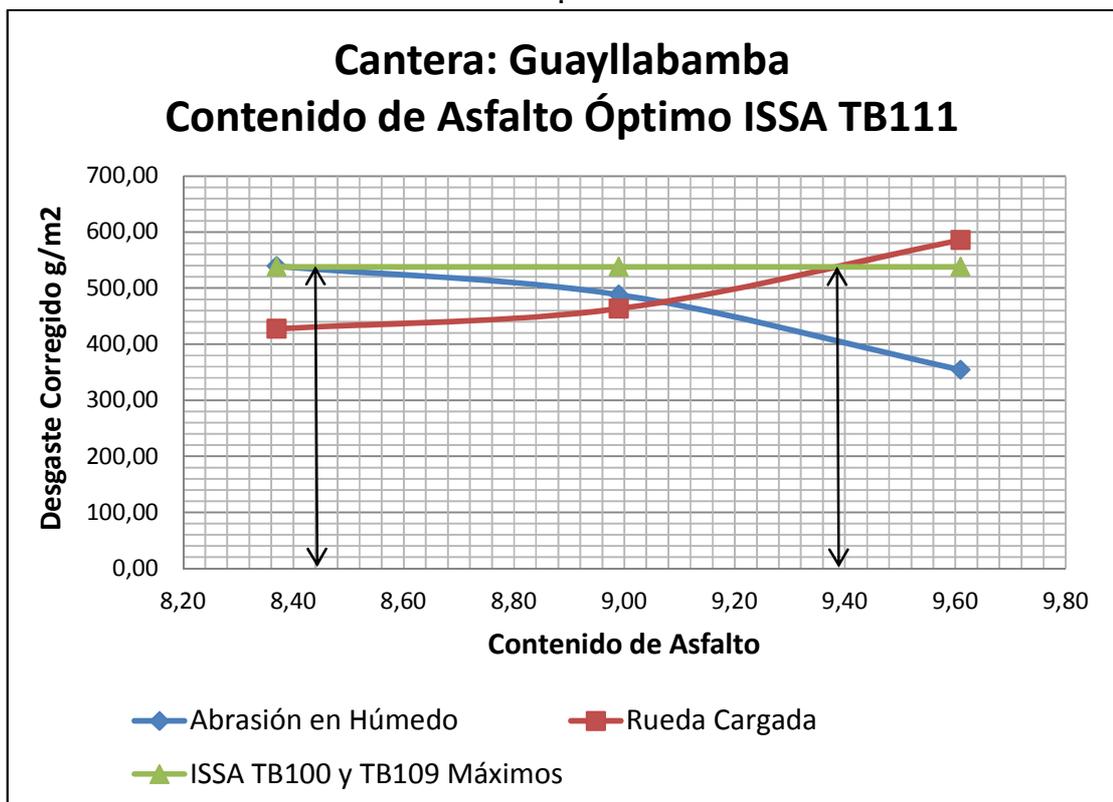
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,98%	14,48%	14,50%

Tabla 6.4: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Cantera: Guayllabamba				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
13,50	8,37	539,23	427,36	538,00
14,50	8,99	488,24	463,52	538,00
15,50	9,61	354,00	586,05	538,00

Tabla 6.5: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.



Cuadro 6.6: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,36-8,40}{2} + 8,40 = 8,88\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,88}{0,62} = 14,32\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 14,50%.

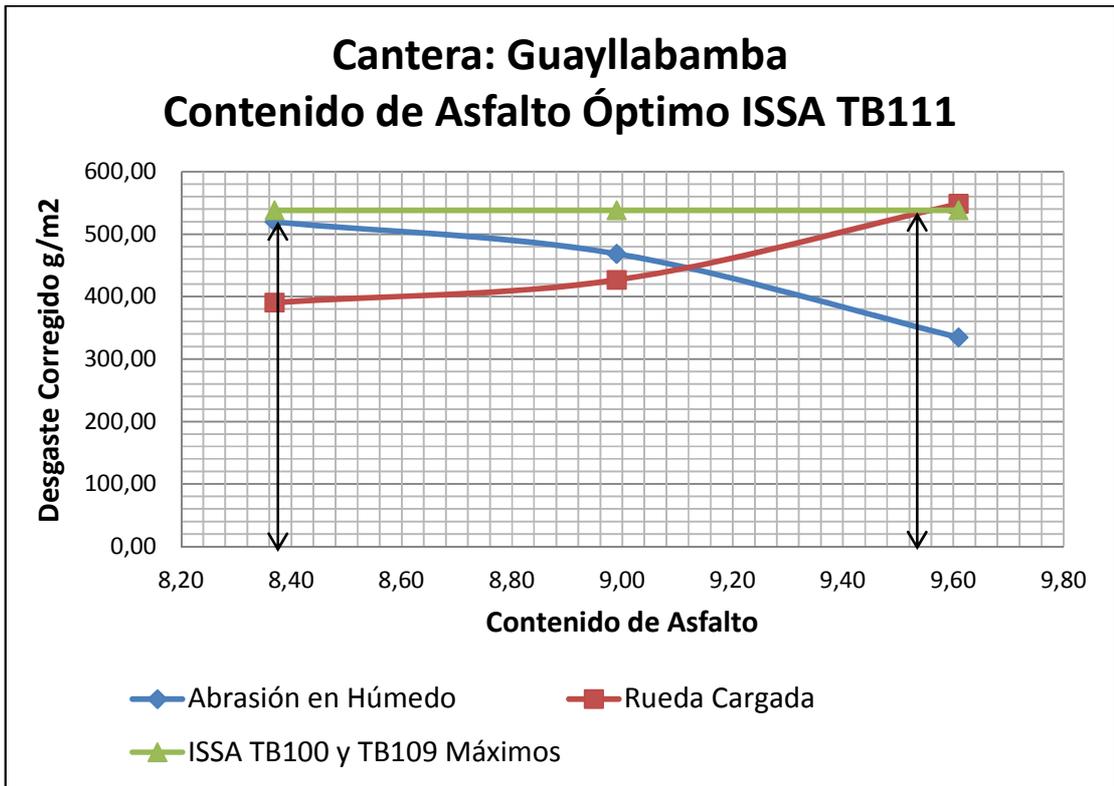
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,88%	14,32%	14,50%

Tabla 6.6: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Cantera: Guayllabamba				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
13,50	8,37	519,49	390,45	538,00
14,50	8,99	468,50	426,62	538,00
15,50	9,61	334,59	548,41	538,00

Tabla 6.7: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.



Cuadro 6.7: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,52 - 8,37}{2} + 8,37 = 8,94\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,94}{0,62} = 14,42\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 14,50%.

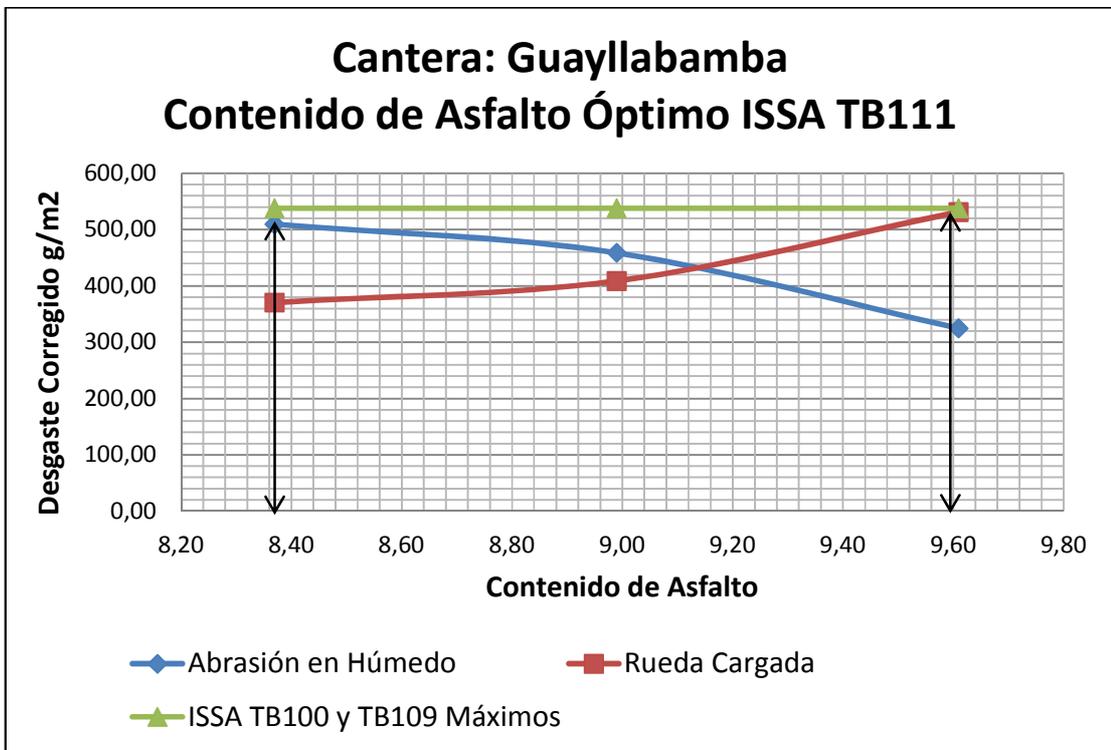
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,94%	14,42%	14,50%

Tabla 6.8: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Cantera: Guayllabamba				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
13,50	8,37	509,62	370,52	538,00
14,50	8,99	458,63	408,91	538,00
15,50	9,61	324,72	531,43	538,00

Tabla 6.9: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.



Cuadro 6.8: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,61 - 8,37}{2} + 8,37 = 8,99\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,99}{0,62} = 14,50\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 14,50%.

% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,99%	14,50%	14,50%

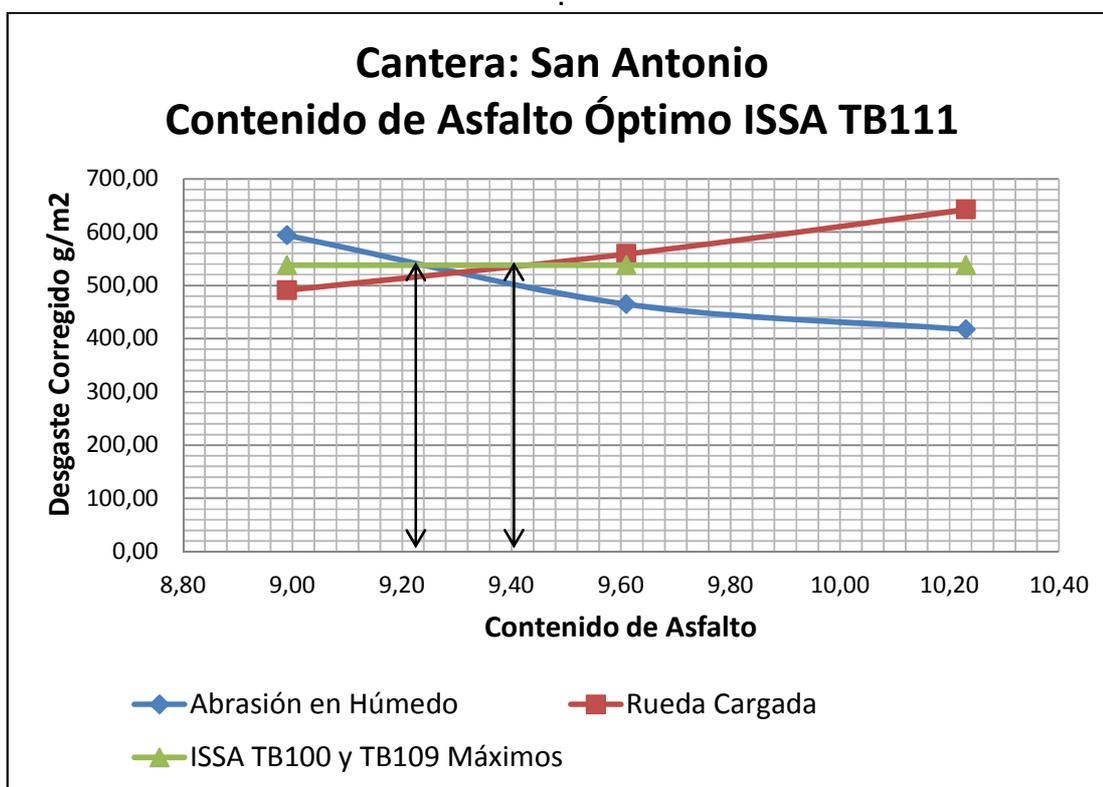
Tabla 6.10: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

### 6.2.1.2 Cantera de San Antonio

- **Emulsión CQS sin Polímero:**

Cantera: San Antonio				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
14,50	8,99	594,17	490,83	538,00
15,50	9,61	464,55	558,74	538,00
16,50	10,23	417,17	642,14	538,00

Tabla 6.11: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.



Cuadro 6.9: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,40-9,24}{2} + 9,24 = 9,32\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,32}{0,62} = 15,03\%$$

Debido a que el porcentaje óptimo de emulsión obtenido presenta un gran desgaste se tomara un porcentaje óptimo de emulsión de 15,50%.

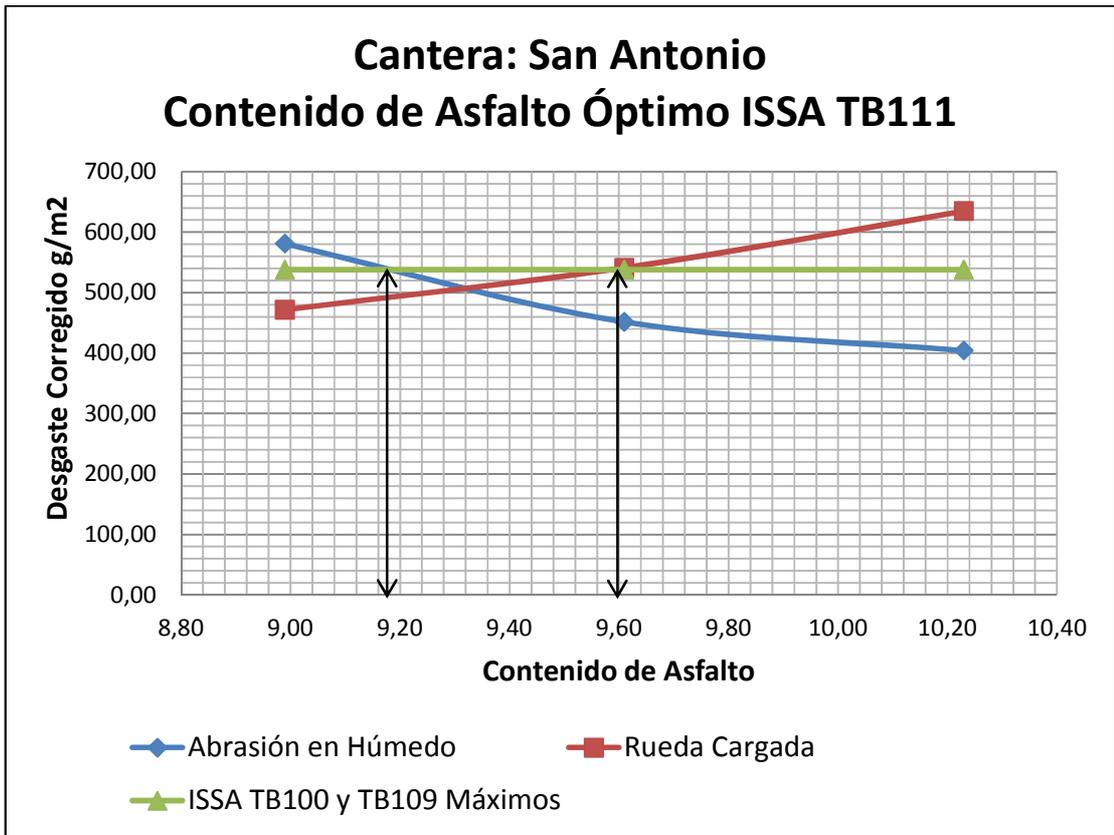
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,32%	15,03%	15,50%

Tabla 6.12: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Cantera: San Antonio				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
14,50	8,99	581,01	471,64	538,00
15,50	9,61	451,39	541,02	538,00
16,50	10,23	404,01	634,76	538,00

Tabla 6.13: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.



Cuadro 6.10: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,60 - 9,20}{2} + 9,20 = 9,40\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,40}{0,62} = 15,16\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 15,00%.

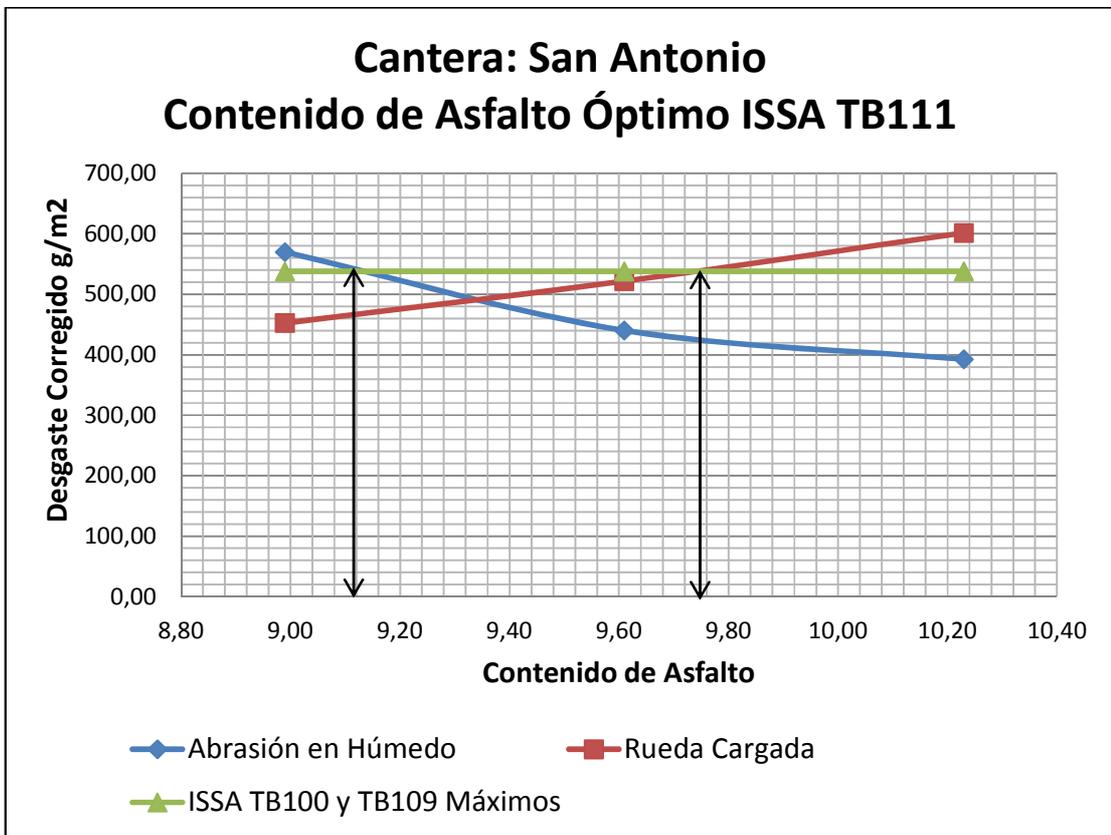
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,40%	15,16%	15,00%

Tabla 6.14: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Cantera: San Antonio				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
14,50	8,99	569,83	452,45	538,00
15,50	9,61	440,20	521,83	538,00
16,50	10,23	392,50	601,55	538,00

Tabla 6.15: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.



Cuadro 6.11: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,76 - 9,102}{2} + 9,102 = 9,43\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,43}{0,62} = 15,21\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 15,00%.

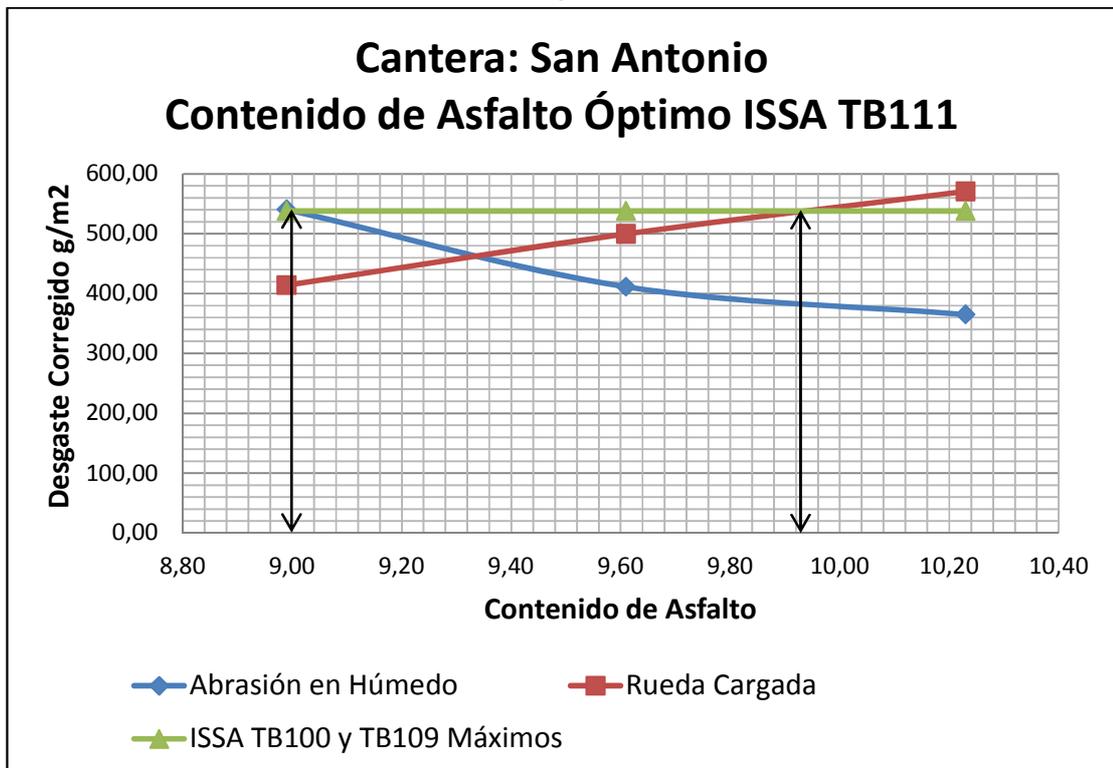
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,43%	15,21%	15,00%

Tabla 6.16: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Cantera: San Antonio				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
14,50	8,99	540,22	414,07	538,00
15,50	9,61	411,25	499,69	538,00
16,50	10,23	364,86	570,55	538,00

Tabla 6.17: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.



Cuadro 6.12 Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,92 - 8,99}{2} + 8,99 = 9,45\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,45}{0,62} = 15,25\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 15,00%.

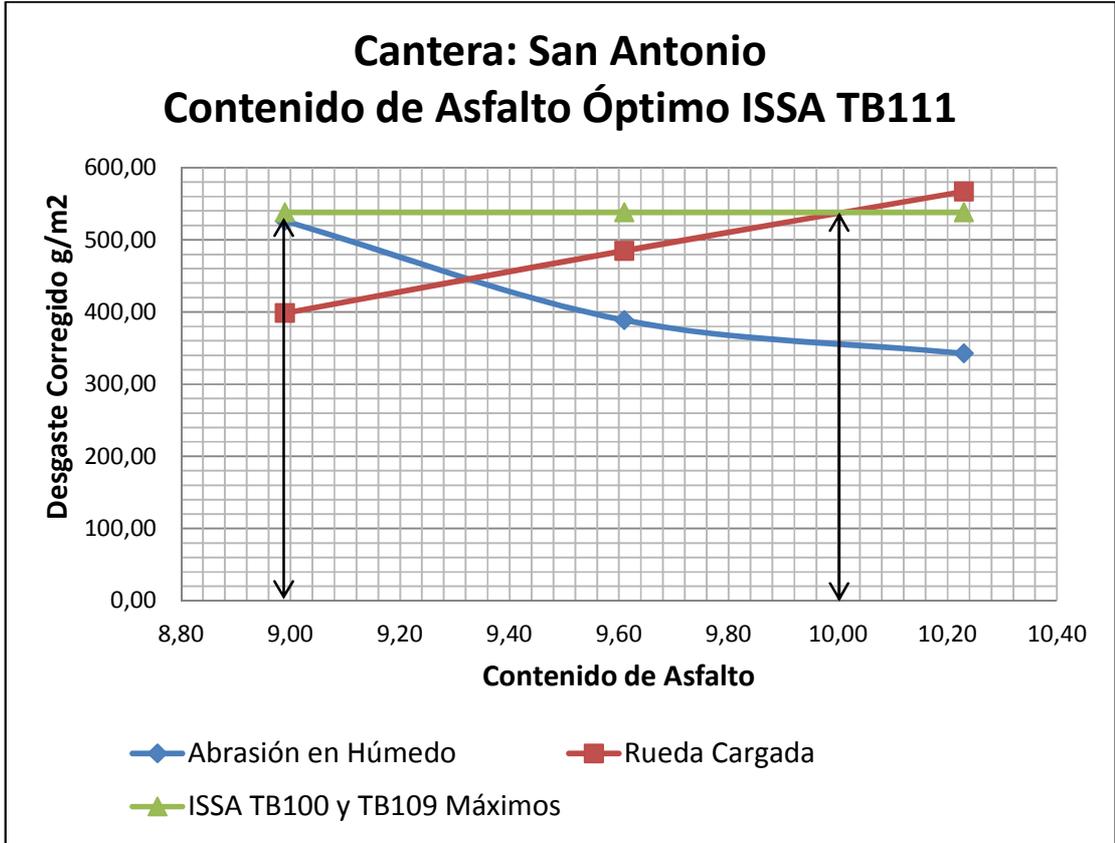
% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,45%	15,25%	15,00%

Tabla 6.18: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Cantera: San Antonio				
% Emulsión	% Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Max
14,50	8,99	526,07	398,57	538,00
15,50	9,61	388,55	484,93	538,00
16,50	10,23	342,49	566,86	538,00

Tabla 6.19: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.



Cuadro 6.13: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,96 - 8,99}{2} + 8,99 = 9,47\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,47}{0,62} = 15,28\%$$

Se asume un porcentaje óptimo de emulsión de 15,00%.

% Óptimo de Asfalto	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,47%	15,28%	15,00%

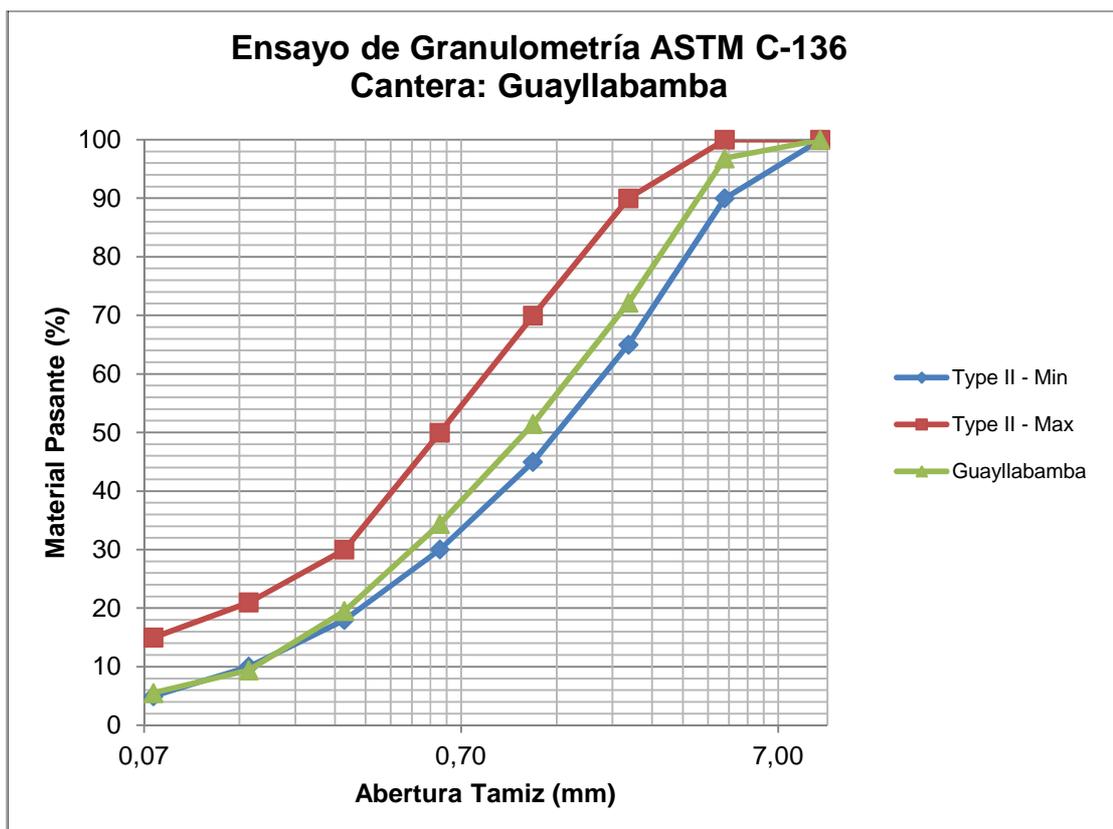
Tabla 6.20: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

### 6.3 Diseño del Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica modificada con Polímeros SBR para los Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio.

#### 6.3.1 Cantera: Guayllabamba.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultado
Gravedad Especifica (ASTM C-128)	2,65 gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de Arena (ASTM D-2419)	81,00%
Absorción de Azul de Metileno (ISSA TB-145)	4 mgr/gr
Abrasión (AASHTO T 96-77)	30,70%
Plasticidad (ASTM D 4318-00)	Material No Plástico

Tabla 6.21: Resultados de la caracterización de los agregados.



Cuadro 6.14: Curva Granulométrica ASTM C 136.

- **Emulsión CQS sin Polímero:**

Caracterización de la Emulsión CQS	
Componente	Resultado
Asfalto	62,00%
Emulsificante	1,80%
Acido	1,29%
Agua	34,91%

Tabla 6.22: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual)	14,50%

Tabla 6.23: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	440 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	529,36 gr/m2
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	514,45 gr/m2

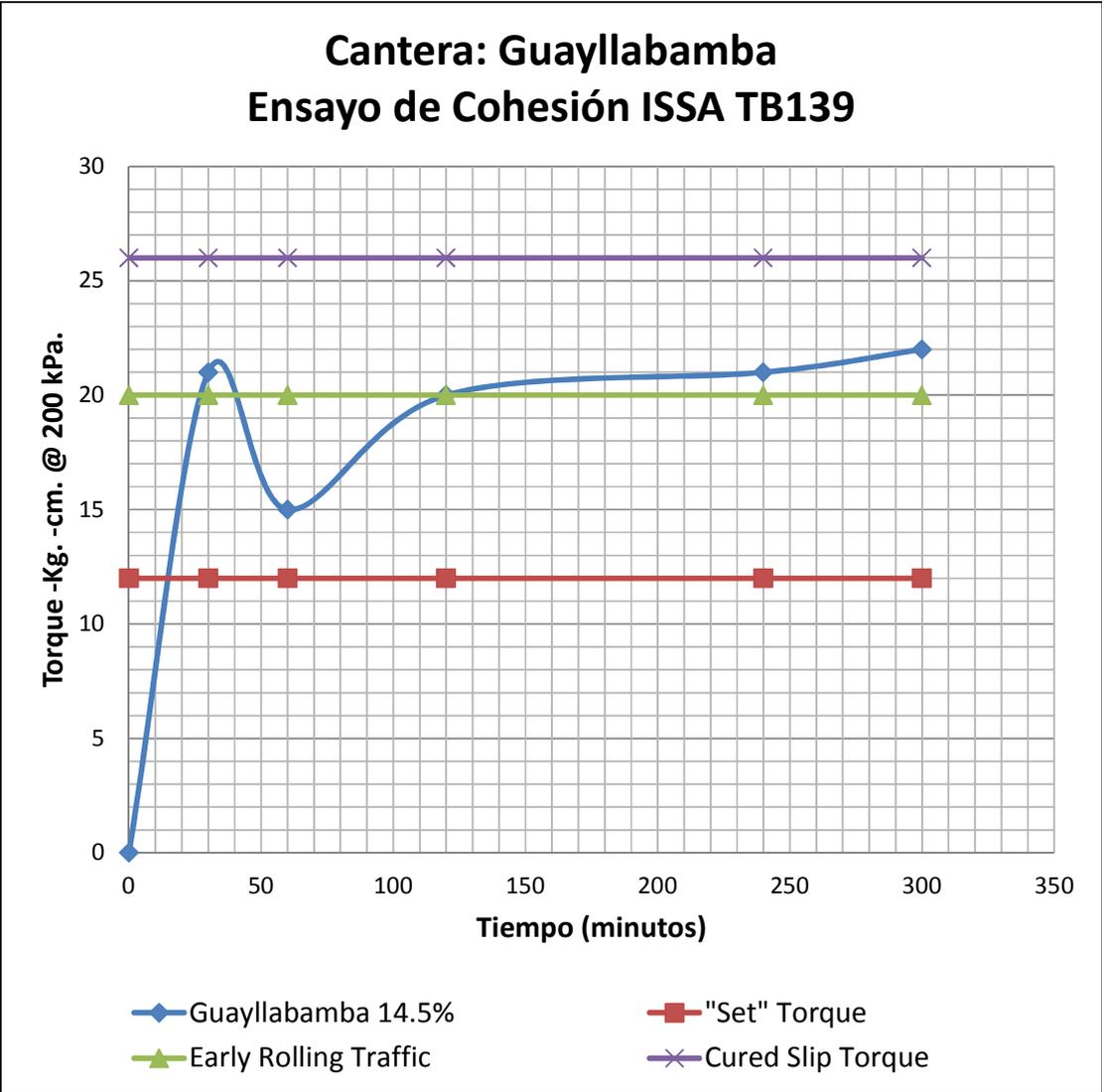
Tabla 6.24: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Guayllabamba 14,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	21
60	15
120	20
240	21
300	22

Tabla 6.25: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Cantera: Guayllabamba				
Tiempo	Guayllabamba 14,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	21	12	20	26
60	15	12	20	26
120	20	12	20	26
240	21	12	20	26
300	22	12	20	26

Tabla 6.26: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.



Cuadro 6.15: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (Sin Polímero).

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,33%
Polímero	En Emulsión	0,62%
	Sobre Asfalto	1,00%
Agua		34,25%

Tabla 6.27: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 1% polímero)	14,50%

Tabla 6.28: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	482 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	505,67 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	482,72 gr/m <sup>2</sup>

Tabla 6.29: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

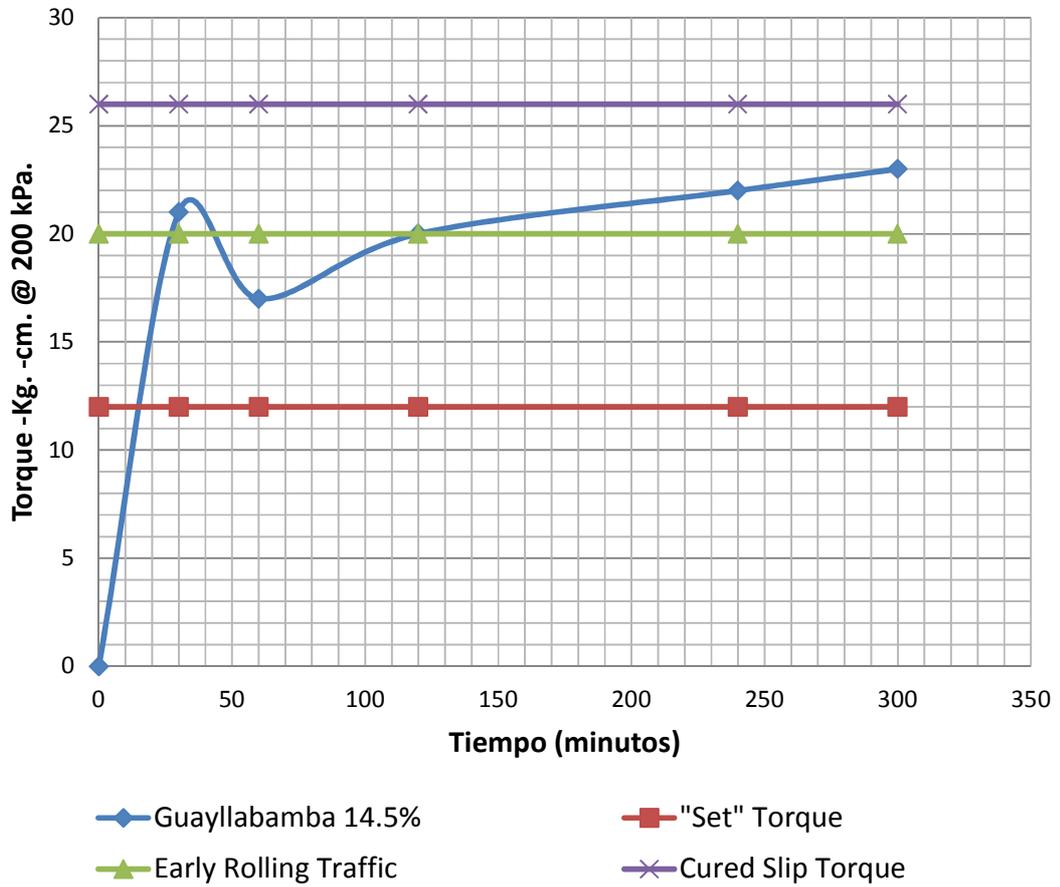
Guayllabamba 14,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	21
60	17
120	20
240	22
300	23

Tabla 6.30: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Cantera: Guayllabamba				
Tiempo	Guayllabamba 14,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	21	12	20	26
60	17	12	20	26
120	20	12	20	26
240	22	12	20	26
300	23	12	20	26

Tabla 6.31: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

### Cantera: Guayllabamba Ensayo de Cohesión ISSA TB139



Cuadro 6.16: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (1% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,32%
Polímero	En Emulsión	1,24%
	Sobre Asfalto	2,00%
Agua		33,64%

Tabla 6.32: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 2% polímero)	14,50%

Tabla 6.33: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	436 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	488,24 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	463,52 gr/m <sup>2</sup>

Tabla 6.34: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

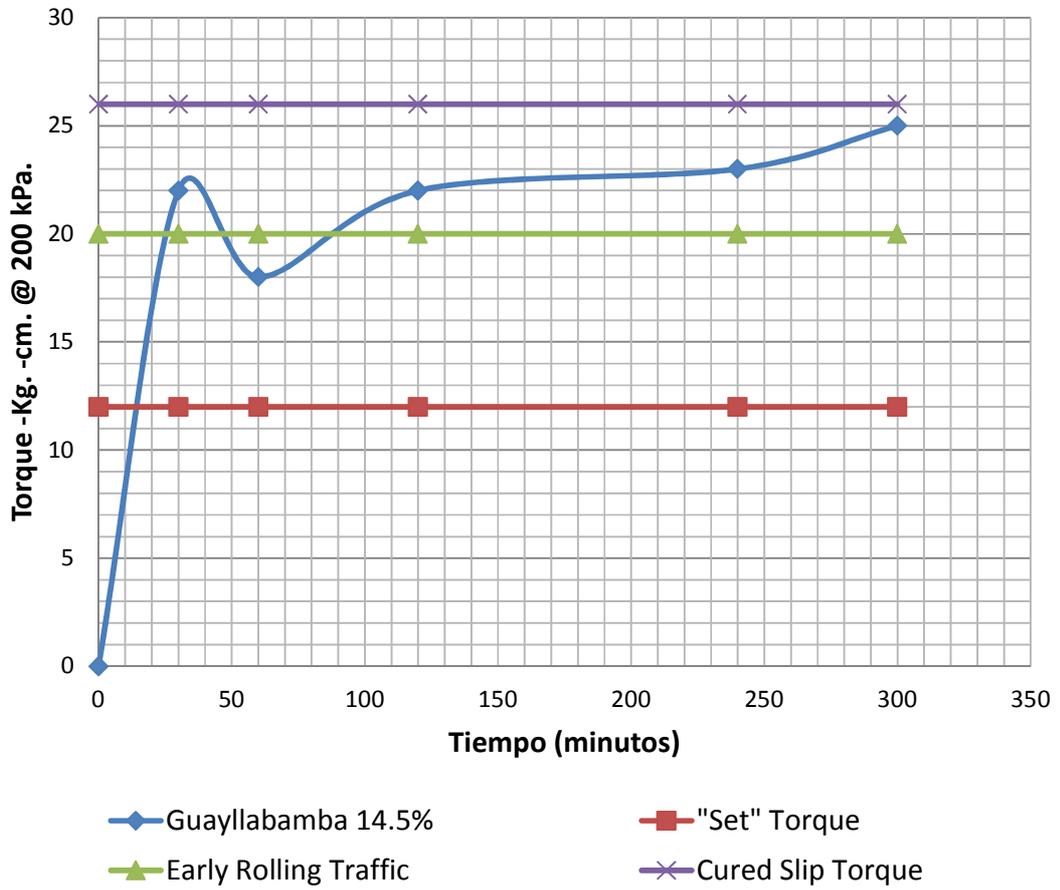
Guayllabamba 14,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	22
60	18
120	22
240	23
300	25

Tabla 6.35: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Cantera: Guayllabamba				
Tiempo	Guayllabamba 14,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	22	12	20	26
60	18	12	20	26
120	22	12	20	26
240	23	12	20	26
300	25	12	20	26

Tabla 6.36: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

**Cantera: Guayllabamba**  
**Ensayo de Cohesión ISSA TB139**



Cuadro 6.17: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (2% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,30%
Polímero	En Emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto	3,00%
Agua		33,04%

Tabla 6.37: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento		
Componente		Resultado
Agregado		100,00%
Cemento Portland		1,00%
Agua		10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 3% polímero)		14,50%

Tabla 6.38: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero

Pruebas de Desempeño		
Ensayo		Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)		452 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)		468,50 gr/m2
Rueda Cargada (ISSA TB-109)		426,62 gr/m2

Tabla 6.39: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

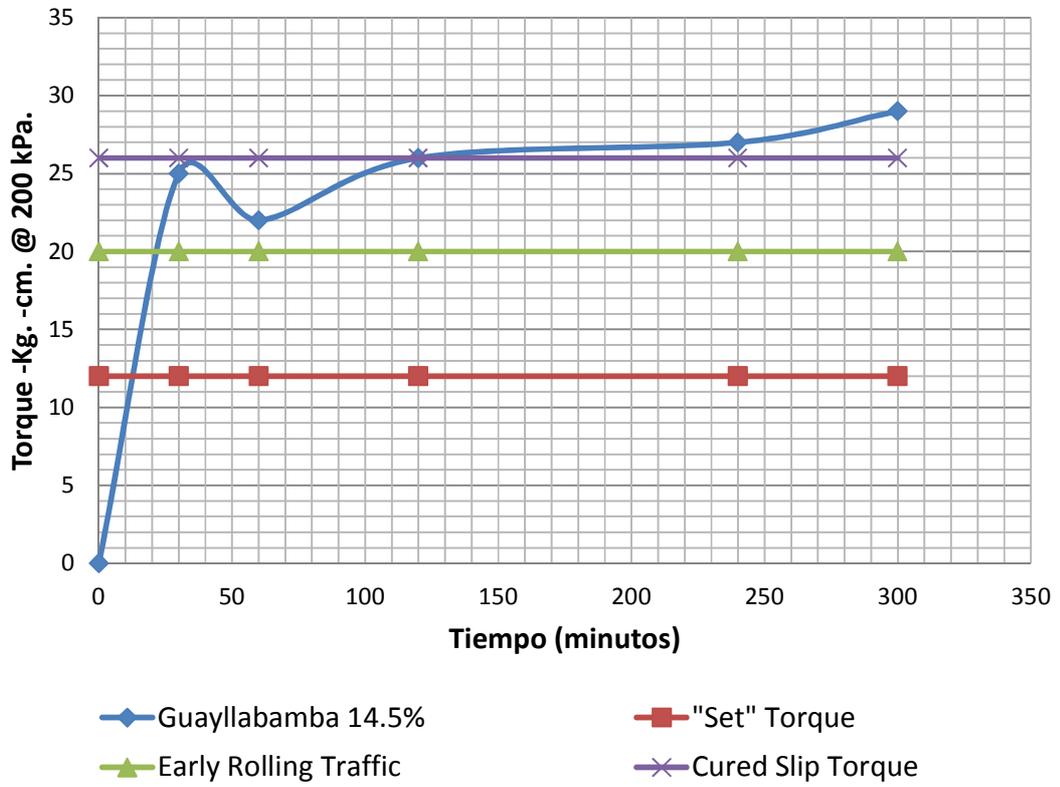
Guayllabamba 14,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	25
60	22
120	26
240	27
300	29

Tabla 6.40: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Cantera: Guayllabamba				
Tiempo	Guayllabamba 14,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	25	12	20	26
60	22	12	20	26
120	26	12	20	26
240	27	12	20	26
300	29	12	20	26

Tabla 6.41: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

### Cantera: Guayllabamba Ensayo de Cohesión ISSA TB139



Cuadro 6.18: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (3% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,33%
Polímero	En Emulsión	2,48%
	Sobre Asfalto	4,00%
Agua		32,39%

Tabla 6.42: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 4% polímero)	14,50%

Tabla 6.43: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	471 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	324,72 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	408,91 gr/m <sup>2</sup>

Tabla 6.44: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

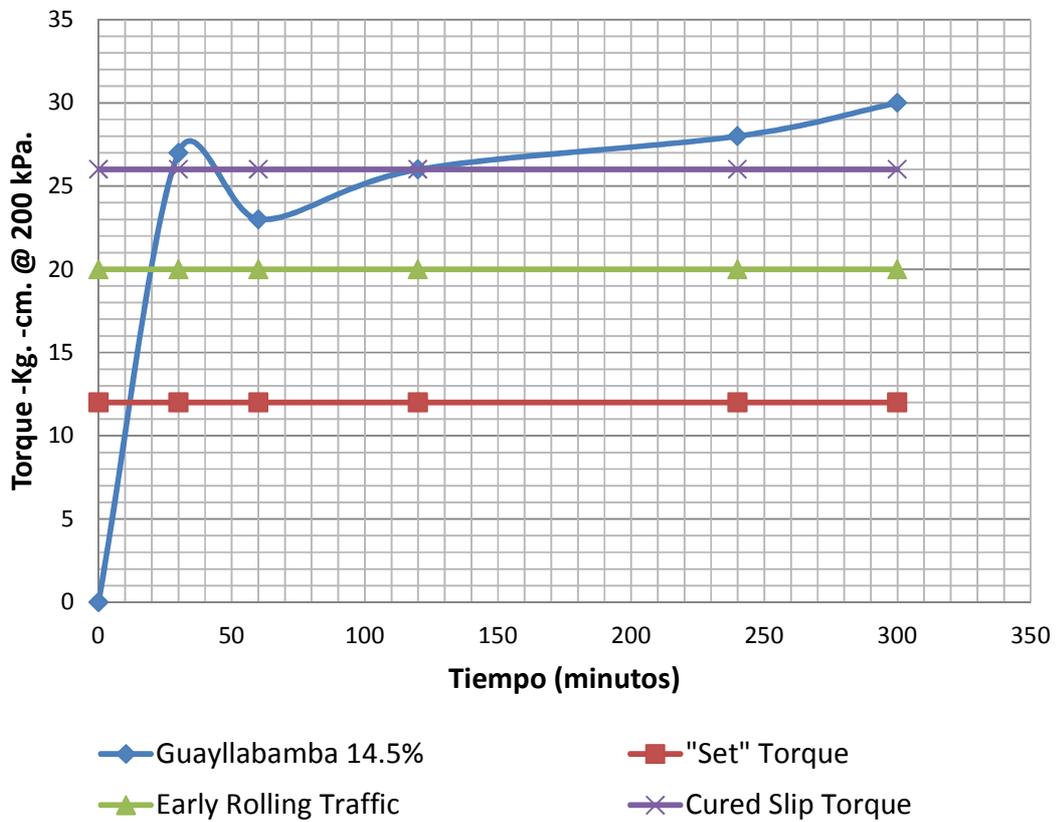
Guayllabamba 14,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	27
60	23
120	26
240	28
300	30

Tabla 6.45: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Cantera: Guayllabamba				
Tiempo	Guayllabamba 14,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	27	12	20	26
60	23	12	20	26
120	26	12	20	26
240	28	12	20	26
300	30	12	20	26

Tabla 6.46: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

### Cantera: Guayllabamba Ensayo de Cohesión ISSA TB139

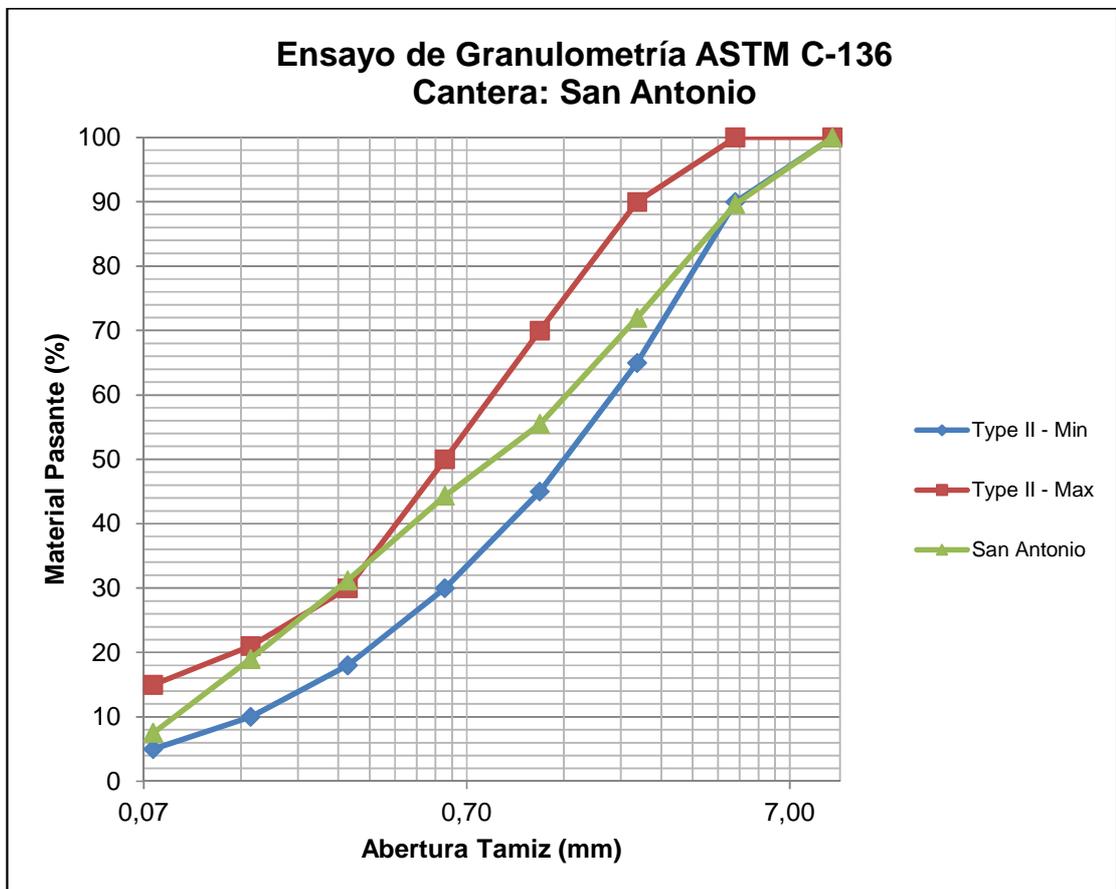


Cuadro 6.19: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (4% de Polímero).

### 6.3.2 Cantera: San Antonio.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultado
Gravedad Especifica (ASTM C-128)	2,69 gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de Arena (ASTM D-2419)	88,00%
Absorción de Azul de Metileno (ISSA TB-145)	12 mgr/gr
Abrasión (AASHTO T 96-77)	33,80%
Plasticidad (ASTM D 4318-00)	Material No Plástico

Tabla 6.47: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.20: Curva Granulométrica ASTM C 136.

- **Emulsión CQS sin Polímero:**

Caracterización de la Emulsión CQS	
Componente	Resultado
Asfalto	62,00%
Emulsificante	1,80%
Acido	1,29%
Agua	34,91%

Tabla 6.48: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual)	15,50%

Tabla 6.49: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	625 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	564,55 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	538,74 gr/m <sup>2</sup>

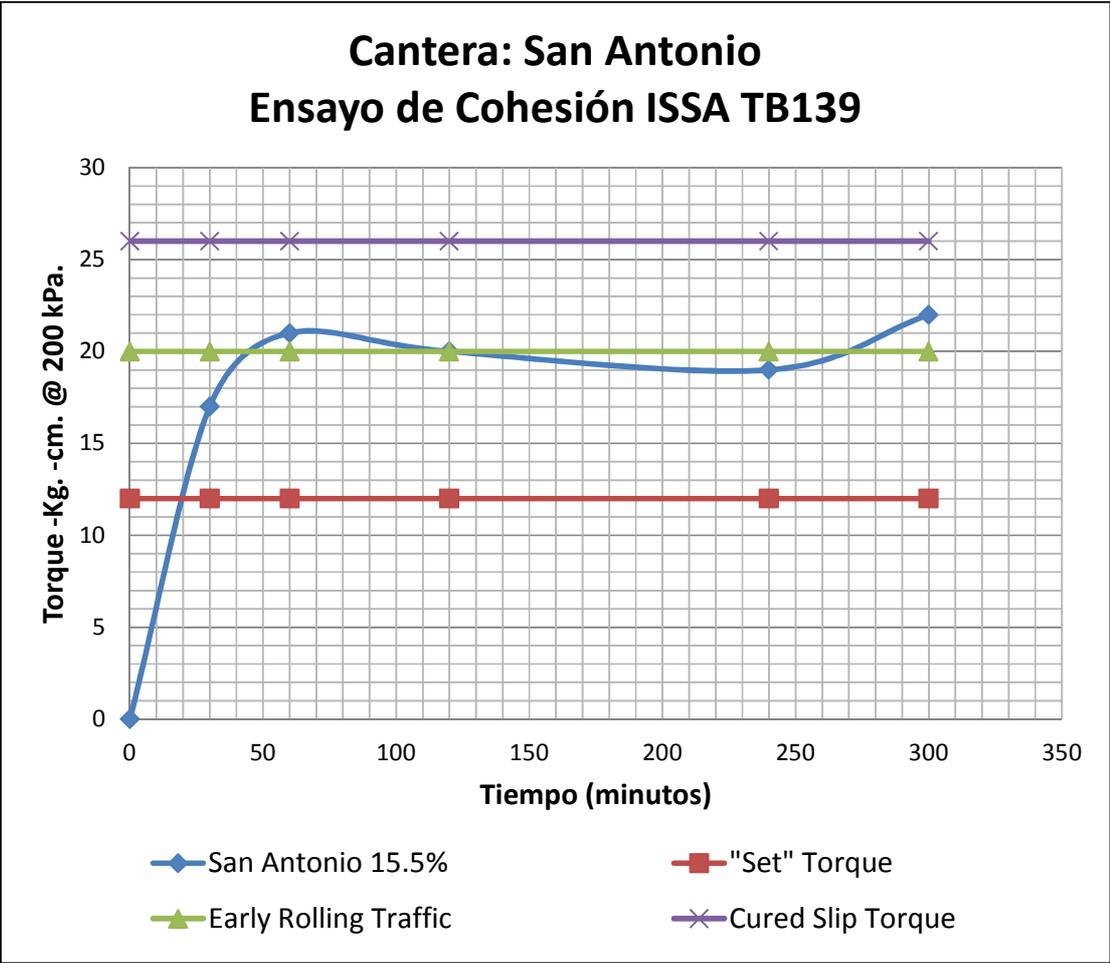
Tabla 6.50: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

San Antonio 15,50%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	17
60	21
120	20
240	19
300	22

Tabla 6.51: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.

Cantera: San Antonio				
Tiempo	San Antonio 15,50%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	17	12	20	26
60	21	12	20	26
120	20	12	20	26
240	19	12	20	26
300	22	12	20	26

Tabla 6.52: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica sin modificar.



Cuadro 6.21: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (Sin Polímero).

- **Emulsión CQS con 1% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,33%
Polímero	En Emulsión	0,62%
	Sobre Asfalto	1,00%
Agua		34,25%

Tabla 6.53: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 1% polímero)	15,00%

Tabla 6.54: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	600 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	516,20 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	506,33 gr/m <sup>2</sup>

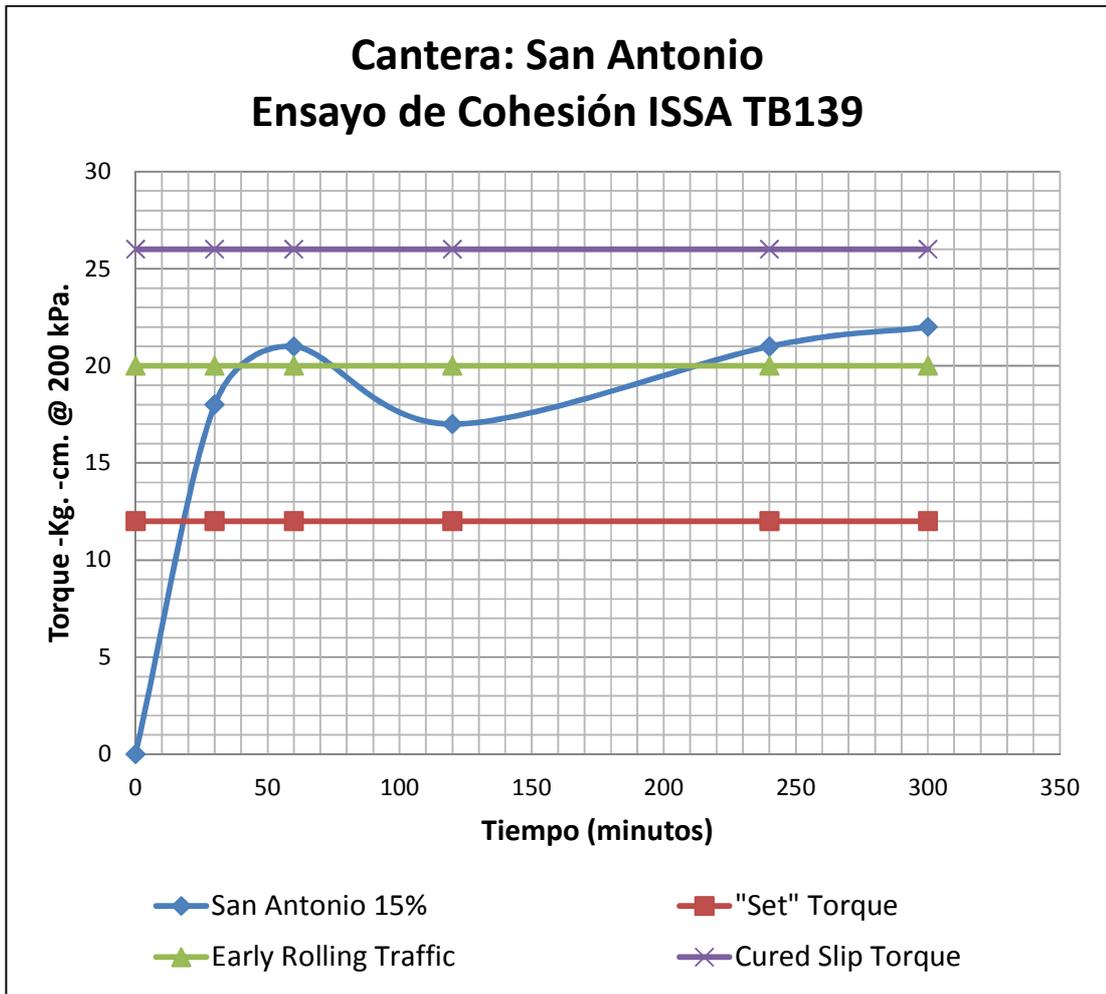
Tabla 6.55: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

San Antonio 15,00%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	18
60	21
120	17
240	21
300	22

Tabla 6.56: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.

Cantera: San Antonio				
Tiempo	San Antonio 15,00%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	18	12	20	26
60	21	12	20	26
120	17	12	20	26
240	21	12	20	26
300	22	12	20	26

Tabla 6.57: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 1% de polímero SBR.



Cuadro 6.22: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (1% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 2% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,32%
Polímero	En Emulsión	1,24%
	Sobre Asfalto	2,00%
Agua		33,64%

Tabla 6.58: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 2% polímero)	15,00%

Tabla 6.59: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	640 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	505,01 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	487,14 gr/m <sup>2</sup>

Tabla 6.60: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

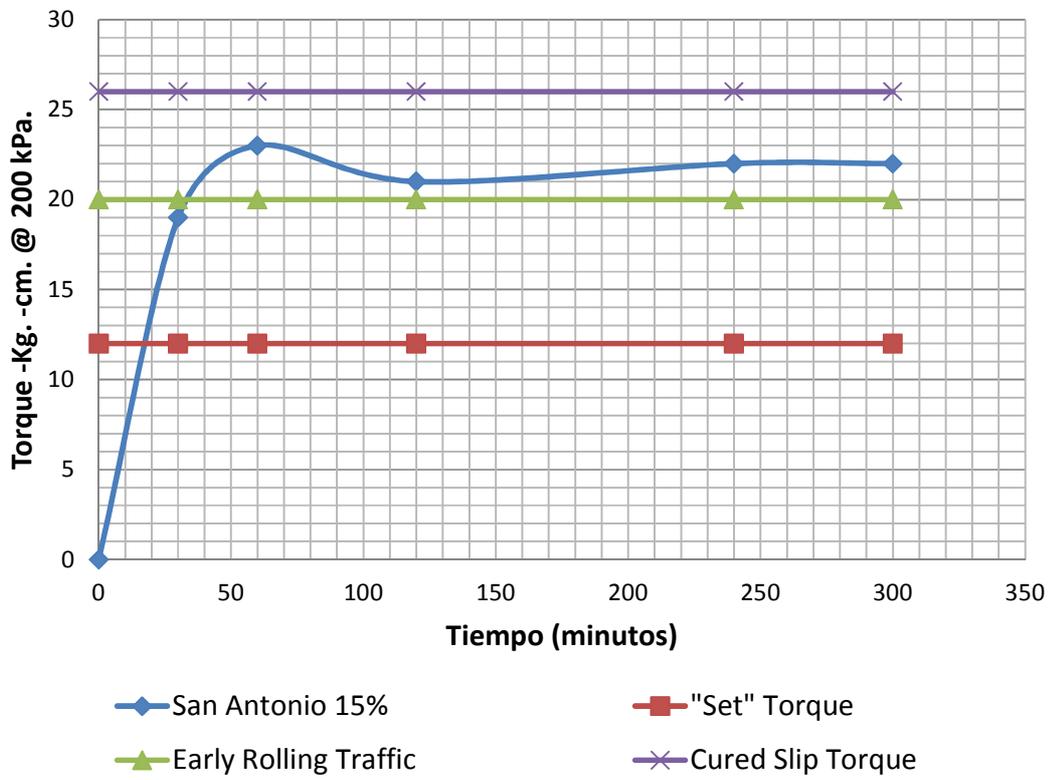
San Antonio 15,00%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	19
60	23
120	21
240	22
300	22

Tabla 6.61: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

Cantera: San Antonio				
Tiempo	San Antonio 15,00%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	19	12	20	26
60	23	12	20	26
120	21	12	20	26
240	22	12	20	26
300	22	12	20	26

Tabla 6.62: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 2% de polímero SBR.

### Cantera: San Antonio Ensayo de Cohesión ISSA TB139



Cuadro 6.23: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (2% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 3% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente		Resultado
Asfalto		62,00%
Emulsificante		1,80%
Acido		1,30%
Polímero	En Emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto	3,00%
Agua		33,04%

Tabla 6.63: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 3% polímero)	15,00%

Tabla 6.64: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 °C (ISSA TB-102)	670 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	475,74 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	456,88 gr/m <sup>2</sup>

Tabla 6.65: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

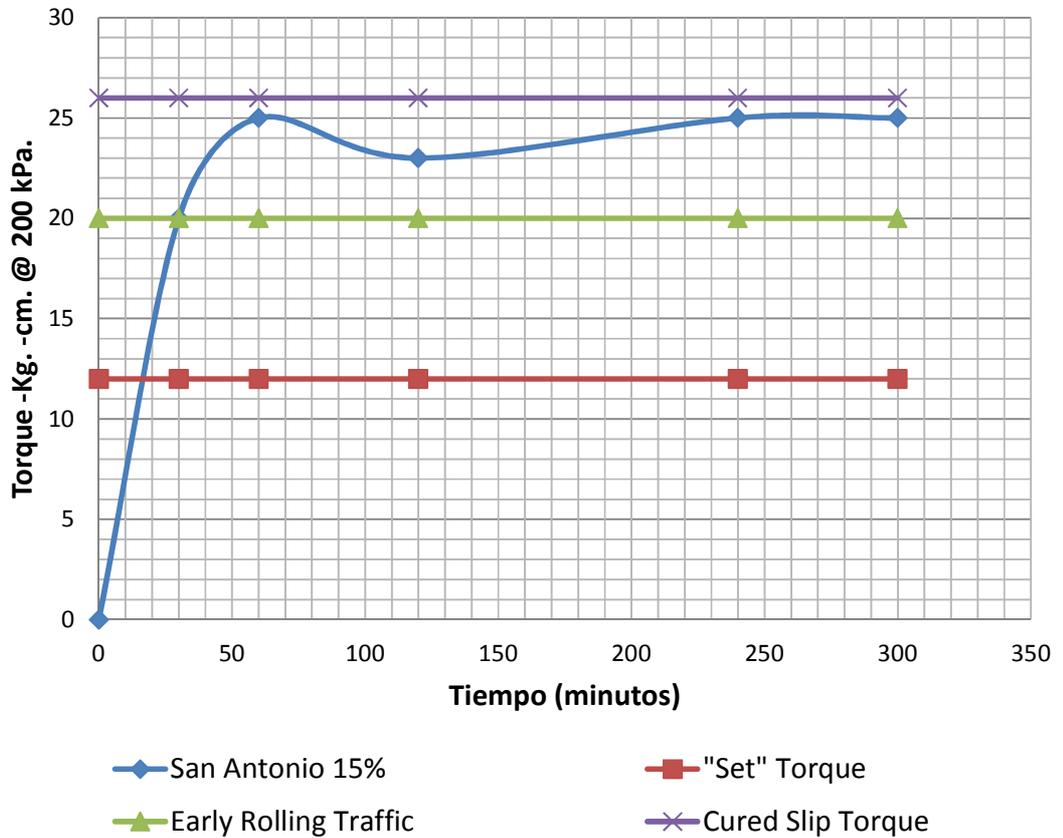
San Antonio 15,00%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	20
60	25
120	23
240	25
300	25

Tabla 6.66: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

Cantera: San Antonio				
Tiempo	San Antonio 15,00%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	20	12	20	26
60	25	12	20	26
120	23	12	20	26
240	25	12	20	26
300	25	12	20	26

Tabla 6.67: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 3% de polímero SBR.

**Cantera: San Antonio**  
**Ensayo de Cohesión ISSA TB139**



Cuadro 6.24: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (3% de Polímero).

- **Emulsión CQS con 4% de Polímero SBR:**

Caracterización de la Emulsión CQS		
Componente	Resultado	
Asfalto	62,00%	
Emulsificante	1,80%	
Acido	1,33%	
Polímero	En Emulsión	2,48%
	Sobre Asfalto	4,00%
Agua	32,39%	

Tabla 6.68: Resultados de la caracterización de la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 4% polímero)	15,00%

Tabla 6.69: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla T= 18 C (ISSA TB-102)	652 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB-100)	457,31 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB-109)	441,75 gr/m <sup>2</sup>

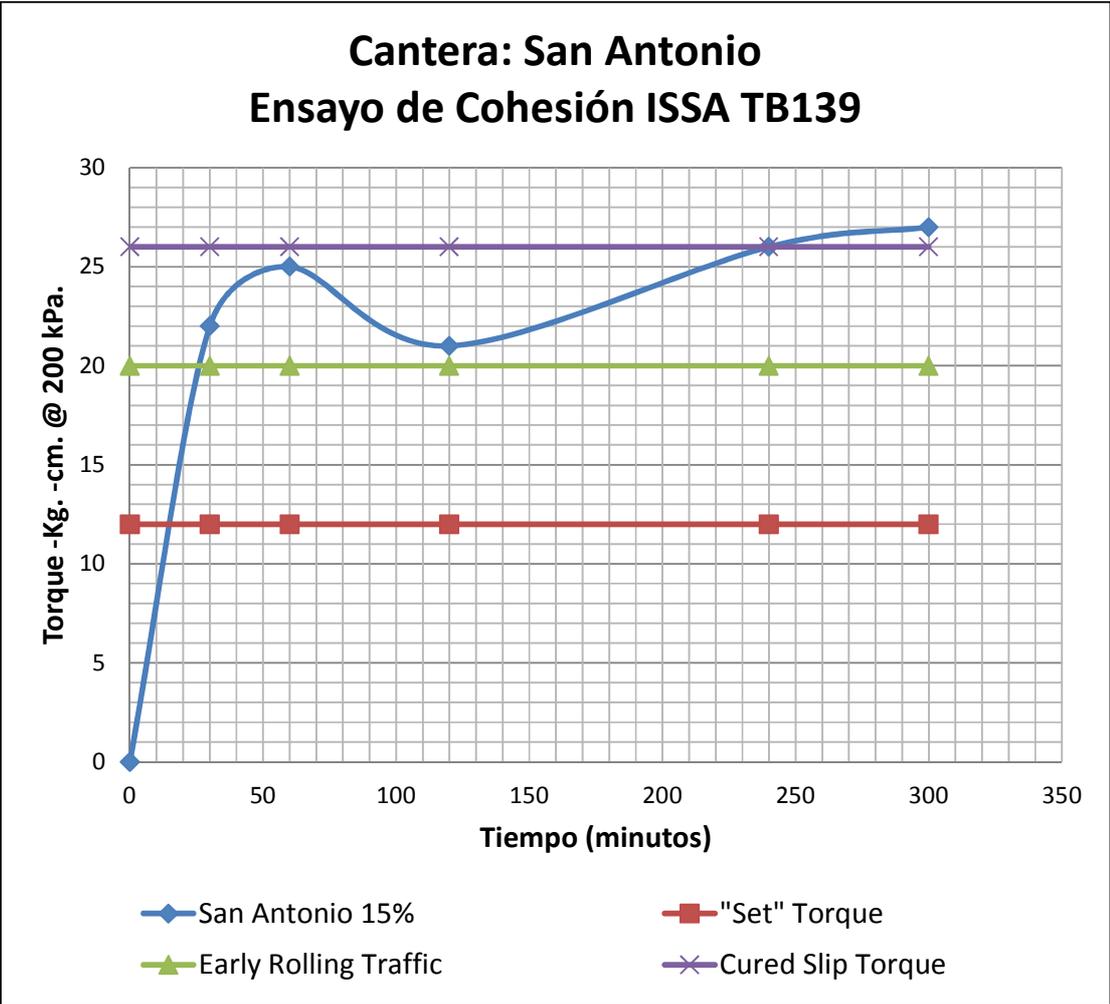
Tabla 6.70: Resultado Pruebas de Desempeño en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

San Antonio 15,00%	
Tiempo (min)	Carga Kg-cm
30	22
60	25
120	21
240	26
300	27

Tabla 6.71: Ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.

Cantera: San Antonio				
Tiempo	San Antonio 15,00%	Rotura de Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	12	20	26
30	22	12	20	26
60	25	12	20	26
120	21	12	20	26
240	26	12	20	26
300	27	12	20	26

Tabla 6.72: Resultados ensayo de Cohesión ISSA TB –139 a las 5 horas en la Emulsión Asfáltica modificada con 4% de polímero SBR.



Cuadro 6.25: Cohesión final del Micropavimento ISSA TB – 139 (4% de Polímero).

# **CAPITULO VII**

## **ANALISIS COMPARATIVO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

## **CAPÍTULO VII: ANALISIS COMPARATIVO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.**

En el presente capítulo se va a realizar un análisis comparativo del comportamiento de la mezcla asfáltica, sin modificar y modificada con diferentes porcentajes de polímeros, al ser sometida a diferentes pruebas de desempeño.

### **7.1 Ensayo de Adherencia empleando la Norma ASTM D 3625-01**

#### **7.1.1 Objetivo.**

Determinar el desprendimiento de la película asfáltica adherida en los materiales pétreos y consiste en someter a la acción del agua a temperatura de ebullición durante 10 minutos. Se evalúa visualmente el porcentaje de desgaste una vez sometida al ensayo.

#### **7.1.2 Procedimiento.**

- Colocar en el horno una muestra representativa del material pétreo a una temperatura de 135°C.
- Se toma 50 g de la muestra y se coloca paulatinamente la emulsión asfáltica, previamente determinada su cantidad. Mezcle hasta lograr homogeneidad en la muestra.



Figura 7.1: Material pétreo retenido tamiz No 4.

- Se deja en reposo la muestra durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez transcurrido este periodo de curado, se debe colocar la muestra en una bandeja con agua hirviendo, y mantener esta temperatura por un periodo de 10 minutos.



Figura 7.2: Muestra sumergida en agua a temperatura de ebullición

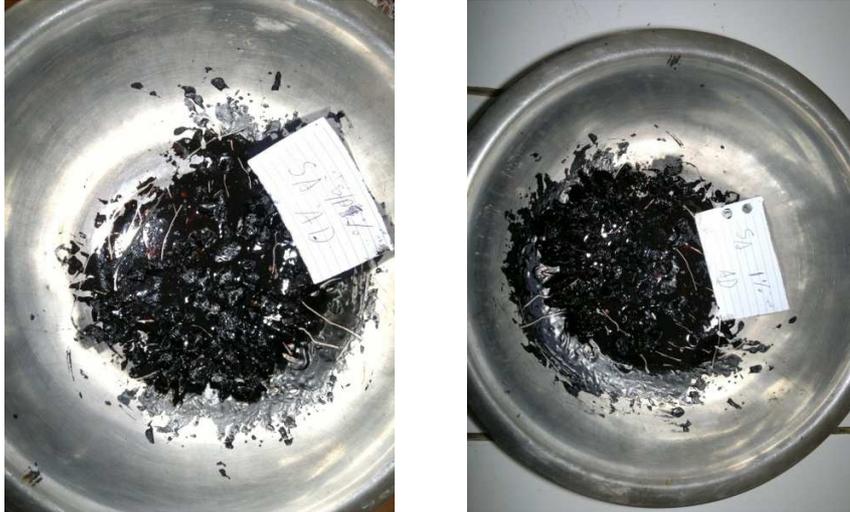


Figura 7.3: Curado de muestras previo al ensayo

- Escurra el agua de la bandeja y coloque la muestra sobre una superficie plana.
- Finalmente, permita que toda el agua se evapore del agregado y se registra como resultado, en por ciento, el desprendimiento de la película asfáltica en relación a la superficie total del agregado.

### 7.1.3 Resultados

- **Cantera de Guayllabamba**

Emulsión CQS Sin Polímero		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,68	gr
Emulsión	14,50%	
	7,49	gr
Desgaste	15,00	%

Tabla 7.1: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero



Figura 7.4: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero

Emulsión CQS Polímero al 1%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,82	gr
Emulsión	14,50%	
	7,37	gr
Desgaste	11,00	%

Tabla 7.2: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero



Figura 7.5: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 2%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,55	gr
Emulsión	14,50%	
	7,33	gr
Desgaste	9,00	%

Tabla 7.3: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero



Figura 7.6: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 3%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,05	gr
Emulsión	14,50%	
	7,26	gr
Desgaste	6,00	%

Tabla 7.4: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero



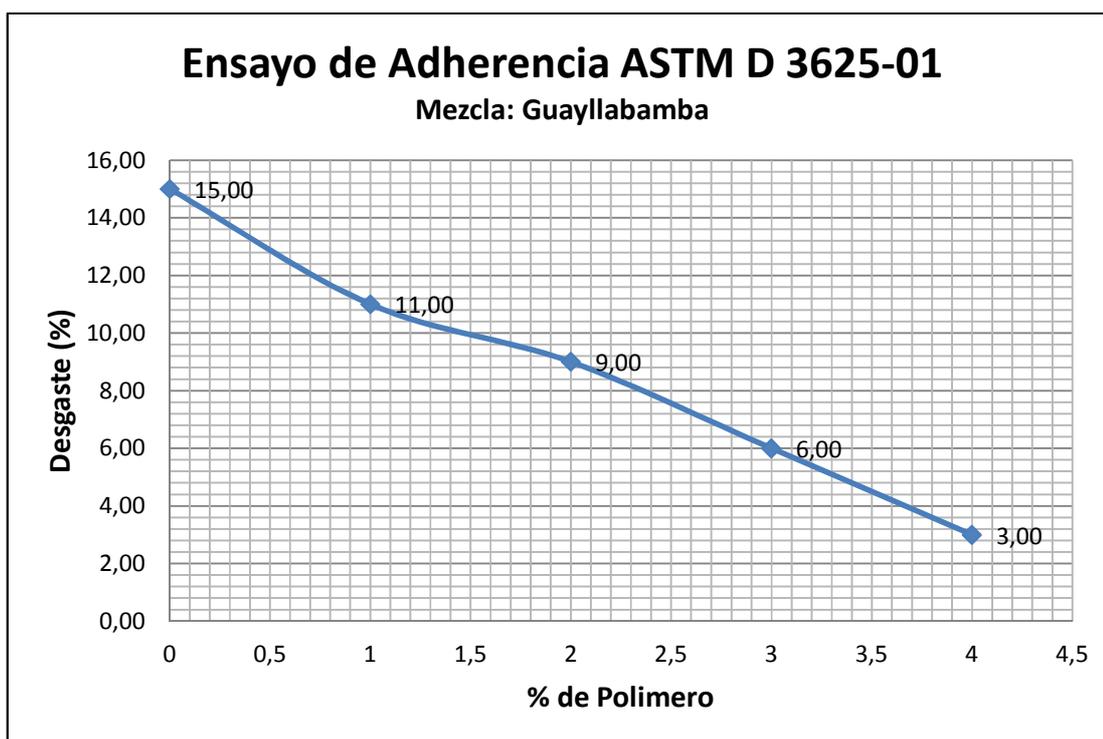
Figura 7.7: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 4%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,66	gr
Emulsión	14,50%	
	7,49	gr
Desgaste	3,00	%



Tabla 7.5: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero

Figura 7.8: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.1: Ensayo de Adherencia sobre el agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio**

<b>Emulsión CQS Sin Polímero</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,68	gr
Emulsión	15,50%	
	8,01	gr
Desgaste	17,00	%

Tabla 7.6: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero



Figura 7.9: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión sin polímero

<b>Emulsión CQS Polímero al 1%</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,82	gr
Emulsión	15,00%	
	7,62	gr
Desgaste	14,00	%

Tabla 7.7: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero



Figura 7.10: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 2%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,55	gr
Emulsión	15,00%	
	7,58	gr
Desgaste	11,00	%

Tabla 7.8: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero



Figura 7.11: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 3%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,05	gr
Emulsión	15,00%	
	7,51	gr
Desgaste	9,00	%

Tabla 7.9: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero



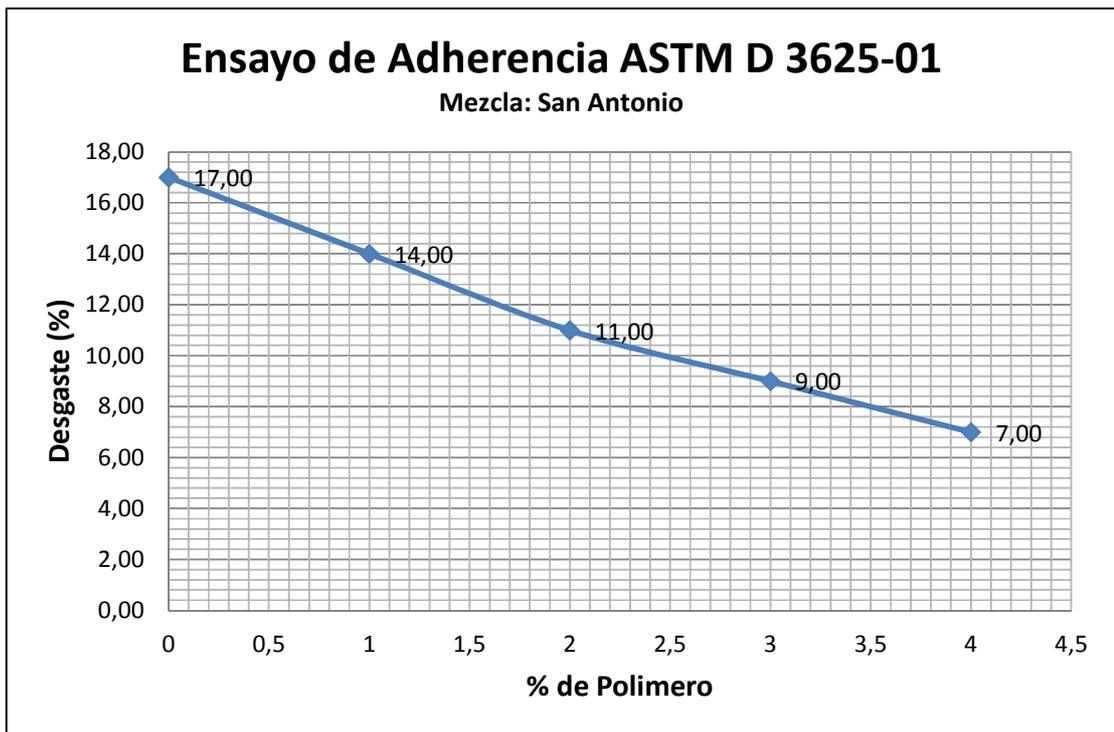
Figura 7.12: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

Emulsión CQS Polímero al 4%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,66	gr
Emulsión	15,00%	
	7,75	gr
Desgaste	7,00	%



Tabla 7.10: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero

Figura 7.13: Ensayo de Adherencia sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.2: Ensayo de Adherencia sobre el agregado de San Antonio

## **7.2 Ensayo de Desprendimiento por Fricción empleando la Norma M-MMP-4-04-009/03.**

### **7.2.1 Objetivo.**

Determinar el desprendimiento de la película asfáltica adherida en los materiales pétreos y consiste en someter a la acción del agua y varios ciclos de agitación dentro de un frasco de vidrio. Se evalúa visualmente el porcentaje de desgaste una vez sometida al ensayo.

### **7.2.2 Procedimiento.**

- Colocar en el horno una muestra representativa del material pétreo a una temperatura de 135°C.
- Una vez calentado el material, se coloca paulatinamente la emulsión asfáltica, previamente determinada su cantidad. Mezcle hasta lograr homogeneidad en la muestra.



Figura 7.14: Colocación de emulsión asfáltica sobre material caliente

- Se toma 50 g de la muestra y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Posteriormente, se coloca esta fracción de la muestra en un frasco de vidrio de 6,5 cm de diámetro y 16 cm de altura. Añada 200 cm<sup>3</sup> de agua pura o destilada a 25°C, dejando reposar durante 24 horas.



Figura 7.15: Agitación del agregado pétreo

- Transcurrido dicho tiempo y si el agregado no presenta desprendimiento de la película asfáltica, se debe agitar vigorosamente el frasco de un lado a otro en una distancia de 50 cm. a razón de 60 ciclos por minuto, durante 3 periodos de 5 minutos cada uno.
- Finalmente, sostenga el frasco a una altura superior al nivel de la cabeza del observador para realizar la evaluación visual.



Figura 7.16: Registro visual de la película asfáltica desprendida del material

- Se registra como resultado, en por ciento, el desprendimiento de la película asfáltica en relación a la superficie total del agregado.

### 7.2.3 Resultados.

- **Cantera de Guayllabamba.**

Emulsión CQS Sin Polímero		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,13	gr
Emulsión	14,50%	
	7,27	gr
Desgaste	18,00	%

Tabla 7.11: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión sin polímero

Emulsión CQS con 1 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,52	gr
Emulsión	14,50%	
	7,47	gr
Desgaste	13,00	%

Tabla 7.12: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

Emulsión CQS con 2 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,28	gr
Emulsión	14,50%	
	7,44	gr
Desgaste	10,00	%

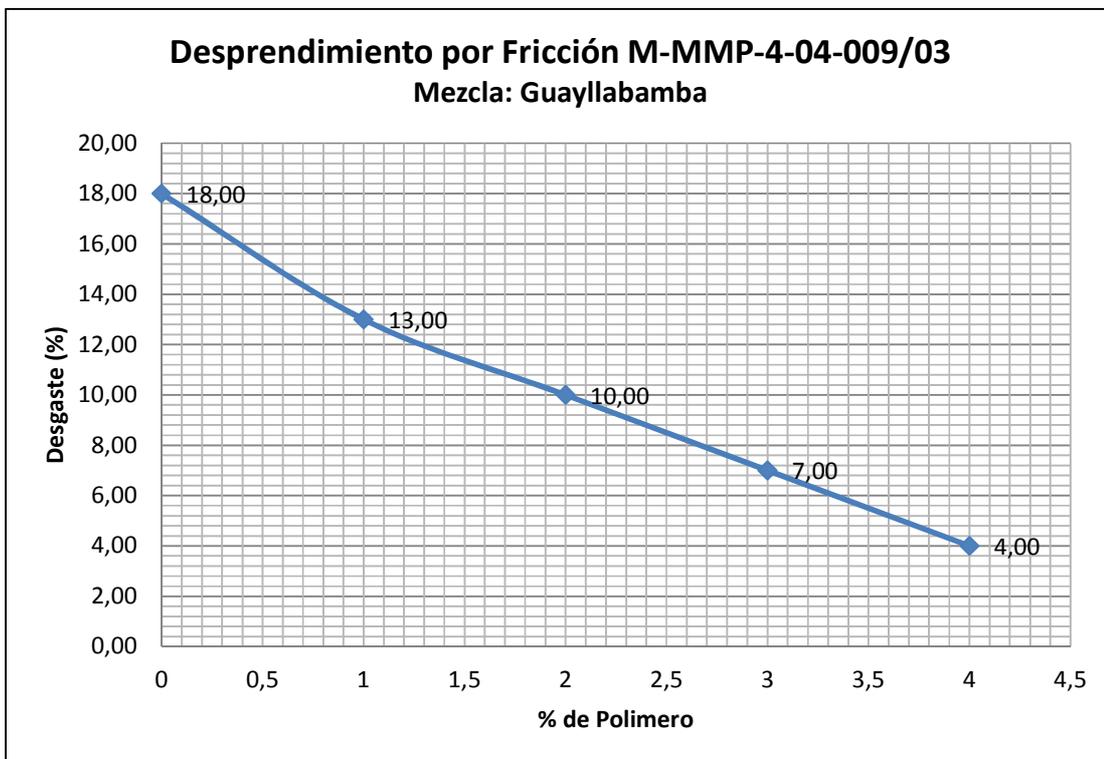
Tabla 7.13: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

Emulsión CQS con 3 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,21	gr
Emulsión	14,50%	
	7,43	gr
Desgaste	7,00	%

Tabla 7.14: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

Emulsión CQS con 4 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,53	gr
Emulsión	14,50%	
	7,47	gr
Desgaste	4,00	%

Tabla 7.15: Ensayo de Fricción sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.3: Ensayo de Desprendimiento por Fricción sobre el agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio**

Emulsión CQS Sin Polímero		
	Cantidad	Unidad
Agregado	50,13	gr
Emulsión	15,50%	
	7,77	gr
Desgaste	25,00	%

Tabla 7.16: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión sin polímero

Emulsión CQS con 1 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,52	gr
Emulsión	15,00%	
	7,73	gr
Desgaste	18,00	%

Tabla 7.17: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

Emulsión CQS con 2 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,28	gr
Emulsión	15,00%	
	7,69	gr
Desgaste	12,00	%

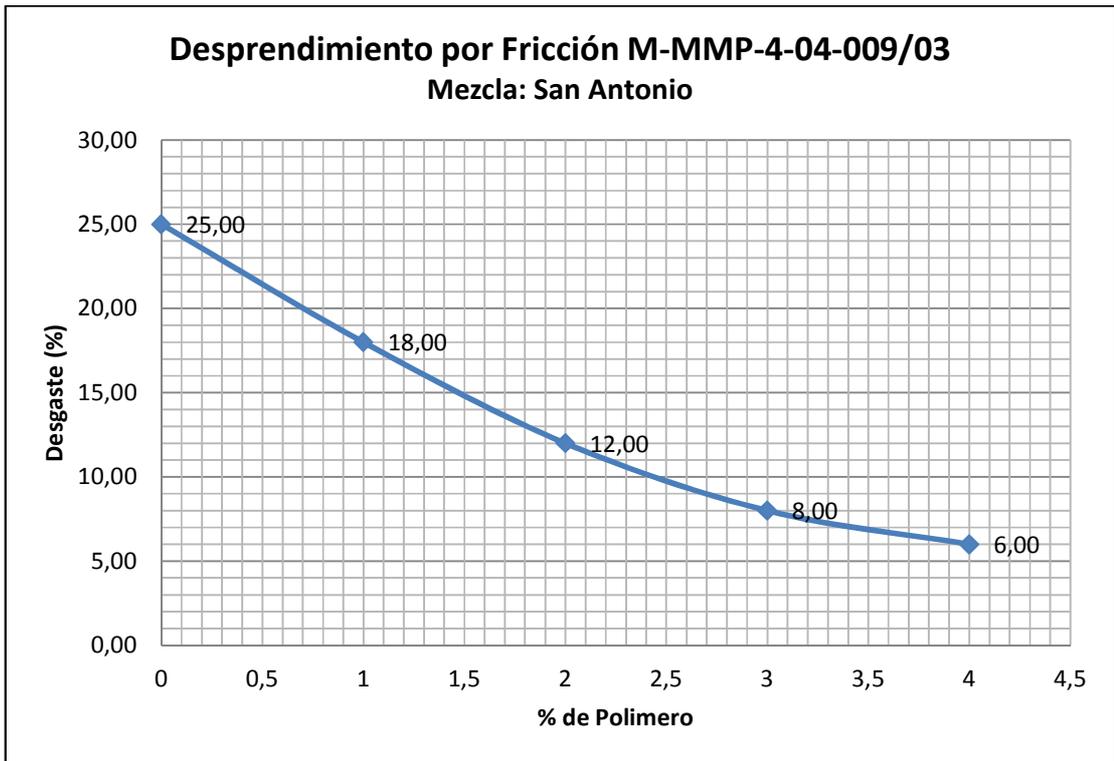
Tabla 7.18: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

Emulsión SCQ con 3% de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,21	gr
Emulsión	15,00%	
	7,68	gr
Desgaste	8,00	%

Tabla 7.19: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

Emulsión CQS con 4 % de Polímero SBR		
	Cantidad	Unidad
Agregado	51,53	gr
Emulsión	15,00%	
	7,73	gr
Desgaste	6,00	%

Tabla 7.20: Ensayo de Desprendimiento por fricción en el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.4: Ensayo de Desprendimiento por Fricción sobre el agregado de San Antonio

### **7.3 Ensayo de Vialit empleando la Norma NLT-313.**

#### **7.3.1 Objetivo.**

Valorar la adhesividad así como la resistencia al desprendimiento, que existe entre el material pétreo y la emulsión asfáltica, tanto con áridos inicialmente en estado seco como en estado húmedo. De igual forma tiene utilidad para valorar la mejora de adhesividad que se puede conseguir con la adición de un aditivo.

El método consiste en colocar sobre una placa una determinada cantidad de emulsión, sobre la cual se deposita el árido. Una vez curada la emulsión, se deja caer sobre la placa una bola de acero. Se determina el porcentaje de árido que permanece adherido a la placa.

#### **7.3.2 Preparación de la Muestra.**

- Se selecciona 100 agregados comprendidos entre 6.3 – 9.5 mm y son lavados. se coloca en el horno a una temperatura de 50°C y son secados durante 24 horas.
- Se coloca 79 g de emulsión asfáltica sobre la bandeja de acero inoxidable.



Figura 7.17: Agregado seleccionado y Vertido de emulsión asfáltica sobre placa metálica

### 7.3.3 Procedimiento.

- Una vez formada la matriz dentro del plato, se debe colocar en el horno por 48 horas a una temperatura de 60°C.



Figura 7.18: Curado de la muestra y Matriz de agregados sobre la emulsión asfáltica

- Se retira la muestra del horno y se le permite enfriar durante 30 minutos a temperatura ambiente. A continuación, se coloca la muestra en un congelador a una temperatura de  $-22^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos.



Figura 7.19: Muestra sumergida en agua a  $-22^{\circ}\text{C}$

- Al término de su curado, se procede a colocar la muestra en posición invertida en el equipo de prueba.
- Coloque la bola de acero inoxidable de 500 g en la placa en forma de V, y permítale caer libremente sobre la muestra. Se debe completar este paso un total de 3 veces, y no debe llevar más de 10 segundos terminar el proceso.



Figura 7.20: Caída libre de la bola de acero sobre la placa invertida

- Se retira la muestra del equipo y se cuenta el número de piedras adheridas al plato, registrándolas como porcentaje de agregado retenido.



Figura 7.21: Material desprendido luego de ensayar

### 7.3.4 Resultados.

- **Cantera de Guayllabamba.**

<b>Emulsión CQS Sin Polímero</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (14,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	5,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	5,00	%

Tabla 7.21: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión sin polímero

<b>Emulsión CQS con 1 % de Polímero SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (14,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	3,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	3,00	%

Tabla 7.22: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

<b>Emulsión CQS con 2 % de Polímero SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (14,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	1,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	1,00	%

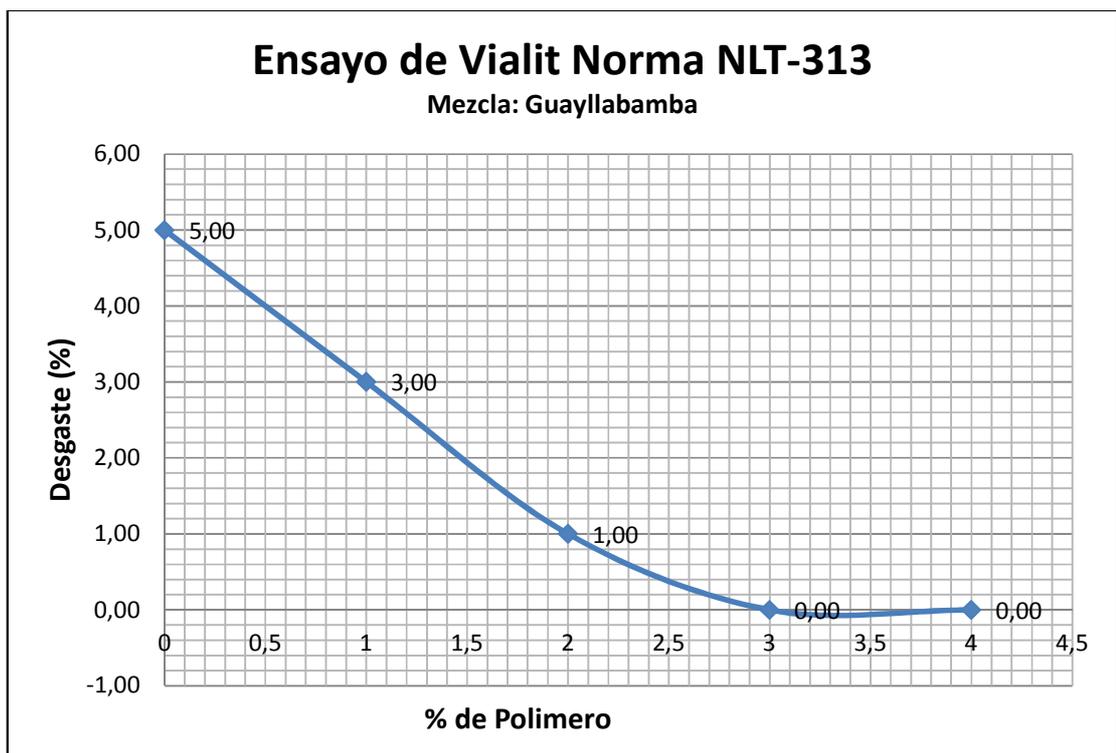
Tabla 7.23: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

<b>Emulsión CQS con 3 % de Polímero SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (14,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	0,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	0,00	%

Tabla 7.24: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

<b>Emulsión CQS Polímero al 4% SBR</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (14,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	0,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	0,00	%

Tabla 7.25: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.5: Ensayo de Vialit sobre el agregado de Guayllabamba

- **Cantera de San Antonio**

<b>Emulsión CQS Sin Polímero</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (15,5 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	8,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	8,00	%

Tabla 7.26: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión sin polímero

<b>Emulsión CQS Polímero SBR al 1%</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (15 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	5,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	5,00	%

Tabla 7.27: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 1 % de polímero

<b>Emulsión CQS Polímero SBR al 2%</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (15 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	4,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	4,00	%

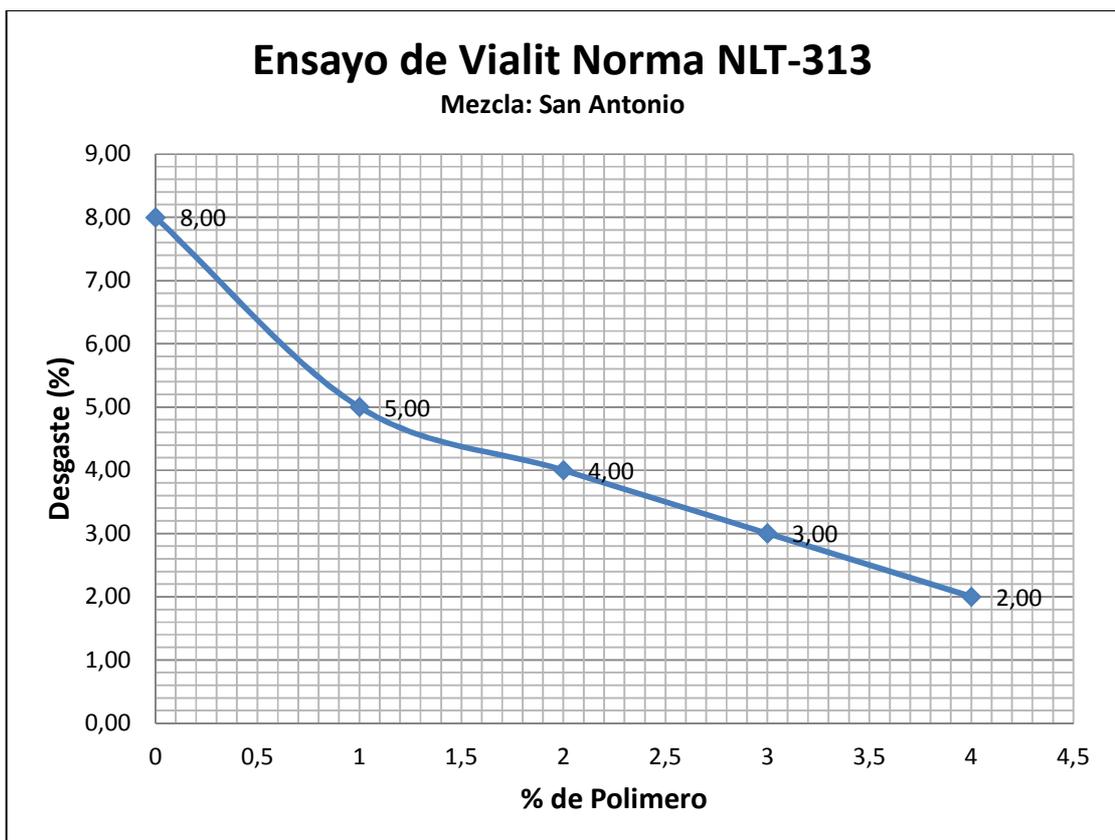
Tabla 7.28: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 2 % de polímero

<b>Emulsión CQS Polímero SBR al 3%</b>		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (15 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	3,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	3,00	%

Tabla 7.29: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 3 % de polímero

Emulsión CQS Polímero SBR al 4%		
	Cantidad	Unidad
Agregado	100	u
Emulsión (15 %)	79,00	gr
Agregado Desprendido	2,00	u
Porcentaje de Agregado Desprendido	2,00	%

Tabla 7.30: Ensayo de Vialit sobre el agregado empleando emulsión con 4 % de polímero



Cuadro 7.6: Ensayo de Vialit sobre el agregado de San Antonio

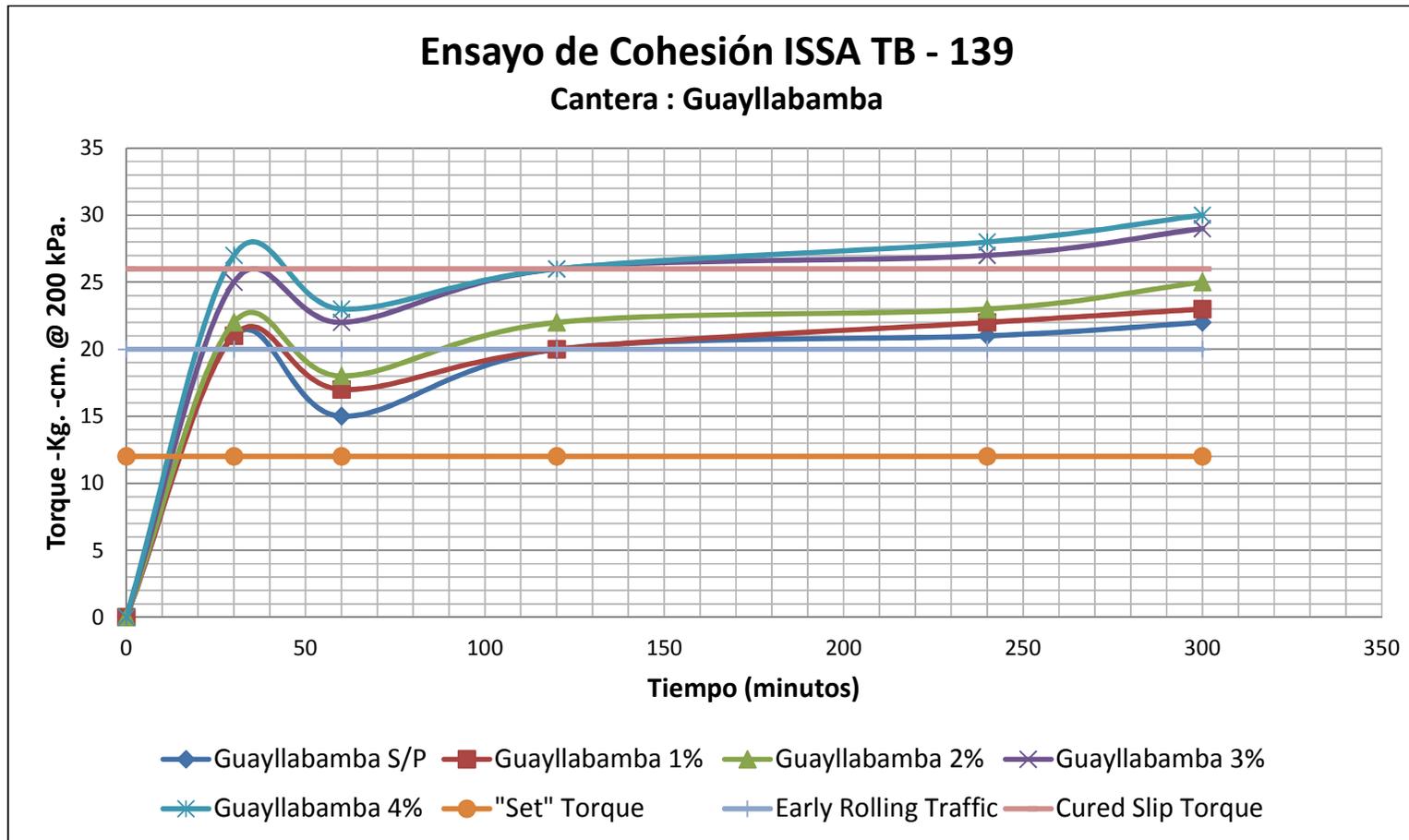
## 7.4 Resultado de los Ensayos de Desempeño en el Micropavimento.

### 7.4.1. Cantera de Guayllabamba.

#### 7.4.1.1. Ensayo de Cohesión ISSA TB – 139.

Tiempo (min)	Sin Polímero	1%	2%	3%	4%	Rotura de la Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	0	0	0	0	12	20	26
30	21	21	22	25	27	12	20	26
60	15	17	18	22	23	12	20	26
120	20	20	22	26	26	12	20	26
240	21	22	23	27	28	12	20	26
300	22	23	25	29	30	12	20	26

Tabla 7.31: Ensayo de Cohesión en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.

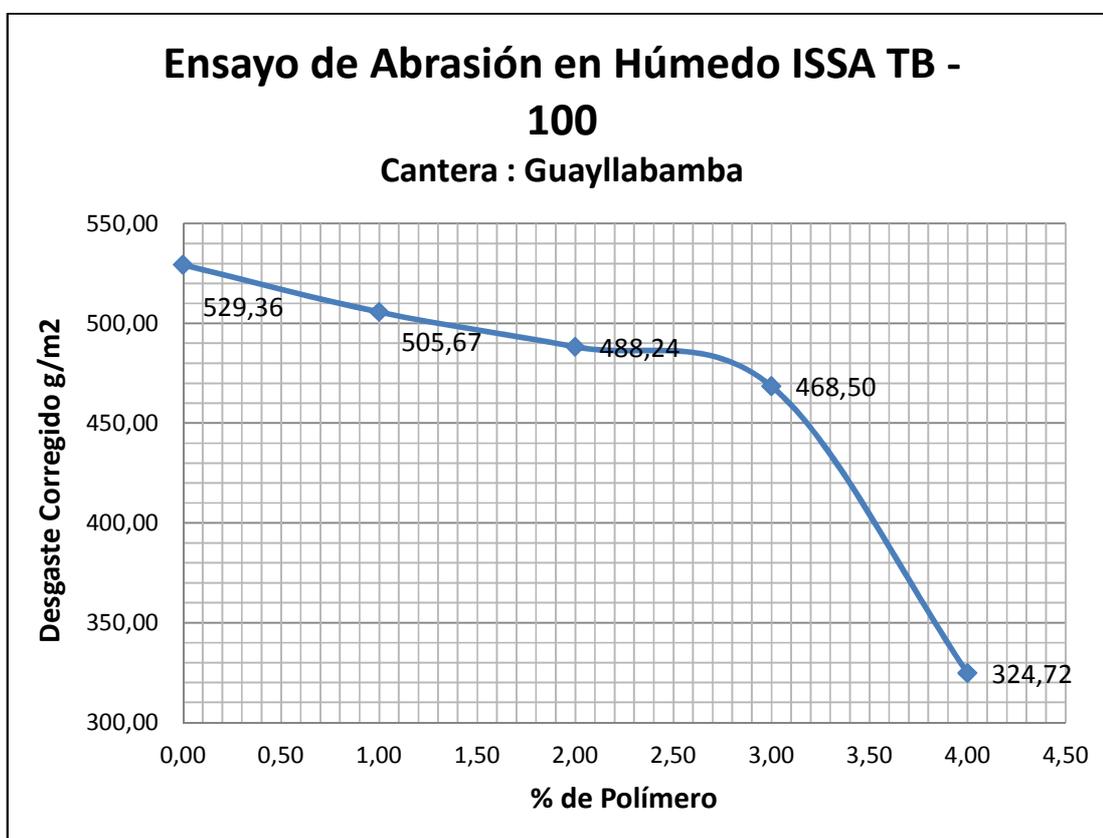


Cuadro 7.7: Ensayo de Cohesión en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.

**7.4.1.2. Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100.**

Desgaste	% Polímero
529,36	0,00
505,67	1,00
488,24	2,00
468,50	3,00
324,72	4,00

Tabla 7.32: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

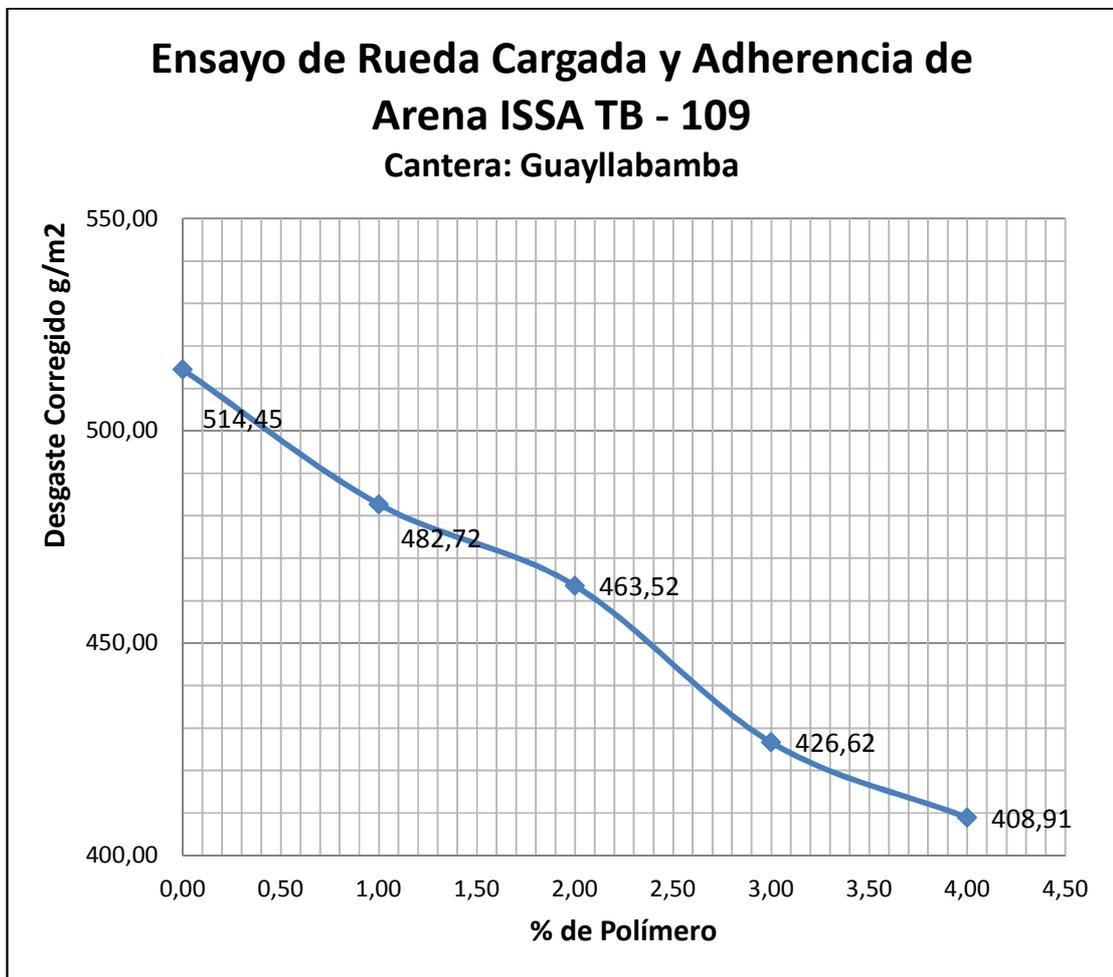


Cuadro 7.8: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

**7.4.1.3. Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB – 109.**

Desgaste	% Polímero
514,45	0,00
482,72	1,00
463,52	2,00
426,62	3,00
408,91	4,00

Tabla 7.33: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR



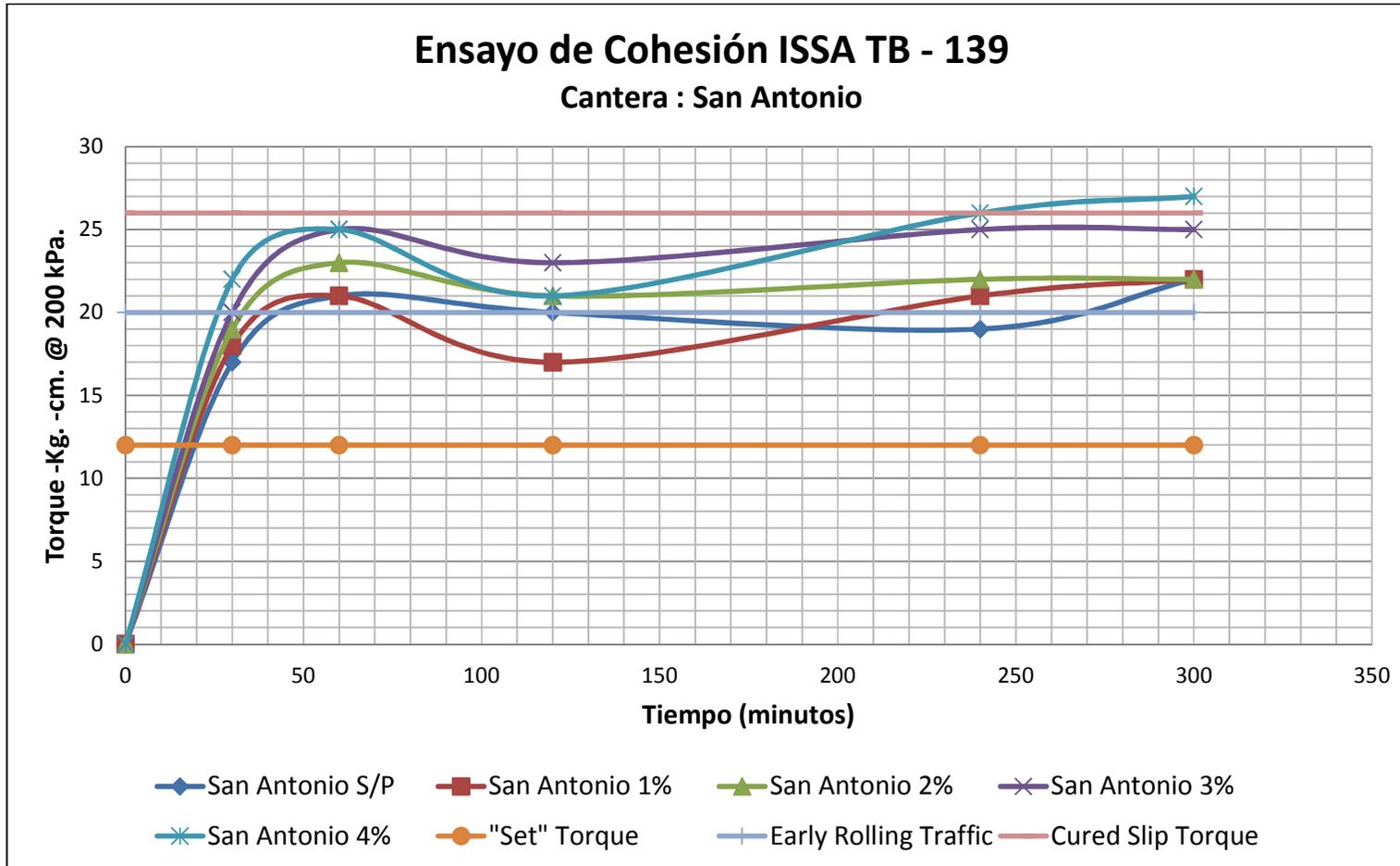
Cuadro 7.9: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de Guayllabamba – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.

## 7.4.2 Cantera de San Antonio

### 7.4.2.1. Ensayo de Cohesión ISSA TB - 139

Tiempo	Sin Polímero	1%	2%	3%	4%	Rotura de la Mezcla	Apertura al Tráfico	Curado de la Mezcla
0	0	0	0	0	0	12	20	26
30	17	18	19	20	22	12	20	26
60	21	21	23	25	25	12	20	26
120	20	17	21	23	21	12	20	26
240	19	21	22	25	26	12	20	26
300	22	22	22	25	27	12	20	26

Tabla 7.34: Ensayo de Cohesión en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

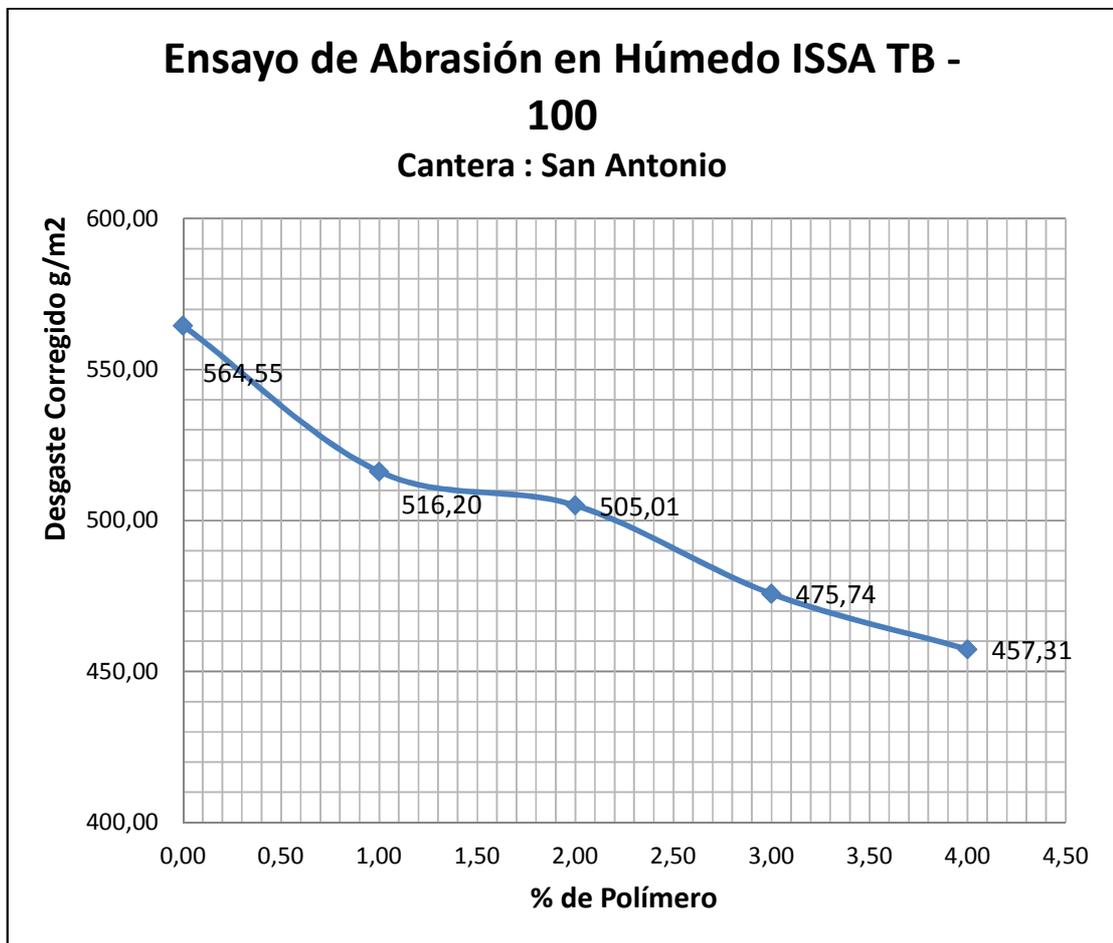


Cuadro 7.10: Ensayo de Cohesión en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

#### 7.4.2.2. Ensayo de Abrasión en Húmedo ISSA TB – 100.

Desgaste	% Polímero
564,55	0,00
516,20	1,00
505,01	2,00
475,74	3,00
457,31	4,00

Tabla 7.35: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

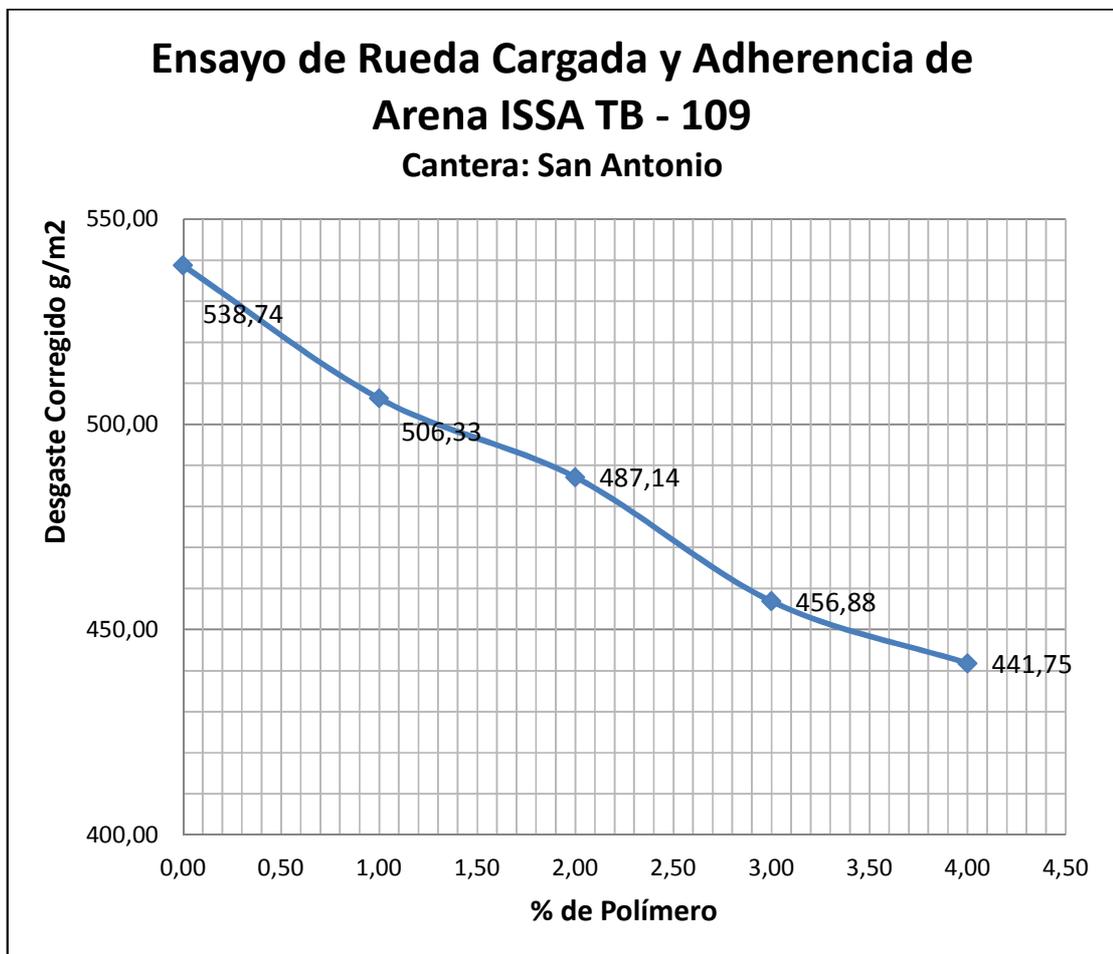


Cuadro 7.11: Ensayo de Abrasión en Húmedo en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

### 7.4.2.3. Ensayo de Rueda Cargada y Adherencia de Arena ISSA TB – 109.

Desgaste	% Polímero
538,74	0,00
506,33	1,00
487,14	2,00
456,88	3,00
441,75	4,00

Tabla 7.36: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR.



Cuadro 7.12: Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena en Mezcla de San Antonio – Diferentes porcentajes de Polímero SBR

# **CAPITULO VIII**

## **ANÁLISIS DE COSTOS**

## CAPITULO VIII: ANÁLISIS DE COSTOS

En el presente capítulo se va a realizar un análisis comparativo, entre la aplicación de diferentes métodos utilizados en la conservación del pavimento, representado en costos. Entre los métodos de conservación del pavimento que se van a analizar se encuentran los siguientes:

- Rehabilitación y Mejora Estructural
- Rehabilitación y Mejora De La Integridad Superficial
- Rehabilitación y Mejora De La Adherencia
- Rehabilitación y Mejora De La Regularidad Superficial

Para el presente análisis se tomara como referencia una VIA CLASE III <sup>9</sup>, en una longitud de 1 Km, para lo cual se considera cantidades de obra referenciales mencionados en la tabla 8.2.

CLASE DE CARRETERA	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE ESPALDON (m)
R-I o R-II TPDA > 8000	7,30	3,00
I 3000<TPDA<8000	7,30	2,50
II 1000<TPDA<3000	7,30	2,50
III 300<TPDA<1000	6,70	1,50
IV 100<TPDA<300	6,00	0,60
V TPDA<100	4,00	No se considera

Tabla 8.1: Clases de Carreteras (Fuente: Apuntes Cátedra Vías I, Sección Transversal del Camino, Ing. Patricio Romero)

<sup>9</sup>Apuntes Catedra Vías I, Sección Transversal del Camino, Ing. Patricio Romero

Para estimar las cantidades referenciales se ha tomado porcentajes promedios para cada problema que presenta el pavimento.

- ✓ Sellado de Fisuras: 0,40 m/m<sup>2</sup> de pavimento.
- ✓ Bacheo Menor: 16 m<sup>3</sup> de reposición en 1 Km de vía.
- ✓ Piel de Cocodrilo: 10 % del total de la superficie
- ✓ Bacheo Mayor: 12 m<sup>3</sup> de reposición en 1 Km de vía.

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Sellado de Fisuras	3880	m
Bacheo Menor	16	m <sup>3</sup>
Piel de Cocodrilo	48,50	m <sup>2</sup>
Bacheo Mayor	12	m <sup>3</sup>

Tabla 8.2: Cantidades Referenciales

### 8.1. Rubros Básicos empleados en la Preservación del Pavimento

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Rubro:</b> Fresado de Pavimento Asfáltico					
<b>Unidad:</b> m3					
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
FRESADORA	1	83,45	83,45	20,00	4,172
VOLQUETA DE 12 M3	3	25,69	77,06	20,00	3,853
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1	17,73	17,73	20,00	0,887
HERRAMIENTA MENOR					0,000
SUBTOTAL EQUIPOS					8,912
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Fresadora de pavimento asfáltico	1	2,810	2,810	20,00	0,141
Chofer Licencia TIPO E	3	4,020	12,060	20,00	0,603
Ayudante maquinaria	2	2,720	5,440	20,00	0,272
Operador Barredora autopropulsada	1	2,790	2,790	20,00	0,140
				20,00	
SUBTOTAL MANO DE OBRA					1,155
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
PUNTAS DE TUNGSTENO	UNIDAD	0,042	7,45	0,313	
BASES DE PUNTAS ( PORTAPUNTAS )	UNIDAD	0,012	17,55	0,211	
SUBTOTAL DE MATERIALES					0,524
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL DE TRANSPORTE					0,000
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>10,590</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	2,316
OTROS PRECIOS				0	0,000
COSTO TOTAL DEL RUBRO				12,906	
VALOR SIN IVA				<b>12,91</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Sellado de Fisuras Superficiales

**Unidad:** m

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
COMPRESOR DE AIRE 375 cfm.	0,5	13,10	6,55	90,00	0,073
CAMIONETA	0,5	5,22	2,61	90,00	0,029
HERRAMIENTA MENOR					0,007
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>0,109</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/H ORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Compresor	1	2,790	2,790	90,00	0,031
Peón	2	2,690	5,380	90,00	0,060
Licencia TIPO E	1	4,020	4,020	90,00	0,045
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>0,135</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	0,080	0,29	0,023	
ARENA PARA HORMIGON	M3	0,005	8,00	0,040	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>					<b>0,063</b>
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	0,080	0,05	0,004	
ARENA PARA HORMIGON	M3	0,005	5,28	0,026	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>					<b>0,004</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>0,311</b>
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	0,068
OTROS PRECIOS				0	0,000
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>0,379</b>
<b>VALOR SIN IVA</b>					<b>0,38</b>

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Bacheo Asfáltico Menor  
**Unidad:** m3

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
CORTADORA DE ASFALTO	1	3,13	3,13	3,76	0,83
RETROEXCAVADORA	0,5	20,86	10,43	3,76	2,77
RODILLO VIBRATORIO LISO CS-431	0,5	26,60	13,30	3,76	3,53
VOLQUETA DE 8 M3	0,25	15,86	3,97	3,76	1,05
HERRAMIENTA MENOR					0,267
SUBTOTAL EQUIPOS					<b>8,459</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador equipo liviano	1	2,720	2,720	3,76	0,723
Operador Rodillo autopropulsado	0,5	2,790	1,395	3,76	0,371
Operador Retroexcavadora	0,5	2,810	1,405	3,76	0,373
Chofer Licencia TIPO E	0,25	4,020	1,005	3,76	0,267
Ayudante maquinaria	1	2,720	2,720	3,76	0,723
Maestro de obra	1	2,790	2,790	3,76	0,741
Peón	3	2,690	8,070	3,76	2,145
SUBTOTAL MANO DE OBRA					<b>5,343</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
MEZCLA ASFALTICA EN FRÍO	M3	1,020	78,70	80,274	
DISCO DE CORTE	UNIDAD	0,025	350,00	8,750	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	8,000	0,29	2,307	
SUBTOTAL DE MATERIALES				<b>91,331</b>	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	1,02	0,050	0,050	
SUBTOTAL DE TRANSPORTE				<b>0,050</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>105,183</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	
OTROS PRECIOS				0	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>128,184</b>	
VALOR SIN IVA				<b>128,18</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Asfalto para Riego de Adherencia

**Unidad:** lt

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1	28,01	28,01	600,00	0,047
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1	17,73	17,73	600,00	0,030
HERRAMIENTA MENOR					0,000
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>0,076</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/H ORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Distribuidor asfalto	1	2,790	2,790	600,00	0,005
Operador Barredora autopropulsada	1	2,790	2,790	600,00	0,005
Peón	2	2,690	5,380	600,00	0,009
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>0,018</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	0,840	0,29	0,242	
DIESEL	LTS	0,210	0,25	0,052	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>				<b>0,294</b>	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
ASFALTO DILUIDO( ESMERALDAS)	LTS	0,840	0,05	0,042	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>				<b>0,042</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>0,430</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	0,094
OTROS PRECIOS				0	0,000
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>0,524</b>	
VALOR SIN IVA				<b>0,52</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Capa de Sello de Mortero Asfáltico (SLURRY SEAL)

**Unidad:** m2

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1	17,73	17,73	300,00	0,059
TANQUERO DE AGUA DE 6000 LTS	1	15,86	15,86	300,00	0,053
MAQUINA PAVIMENTADORA DE MORTERO ASFALTICO	1	81,15	81,15	300,00	0,271
CARGADORA FRONTAL	1	23,08	23,08	300,00	0,077
HERRAMIENTA MENOR					0,004
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>0,464</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/H ORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Barredora autopropulsada	2	2,790	5,580	300,00	0,019
Operador Máquina Pavimentadora	1	2,790	2,790	300,00	0,009
Maestro de obra	4	2,790	11,160	300,00	0,037
Operador Cargadora frontal	1	2,810	2,810	300,00	0,009
Peón	3	2,690	8,070	300,00	0,027
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>0,101</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
EMULSION ASFALTICA	LTS	1,060	0,36	0,386	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,008	8,00	0,064	
AGUA	M3	0,000	3,00	0,001	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>					<b>0,451</b>
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
EMULSION ASFALTICA	LTS	5,900	0,040	0,236	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,050	0,032	0,002	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>					<b>0,238</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>1,254</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	0,274
OTROS PRECIOS				0	0,000
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>1,528</b>	
VALOR SIN IVA				<b>1,53</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm

**Unidad:** m2

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
PLANTA ASFALTICA 120 TON.	1	125,17	125,17	310,00	0,404
PLANTA ELECTRICA 175 KVA	1	26,67	26,67	310,00	0,086
TERMINADORA DE ASFALTO	1	81,15	81,15	310,00	0,262
RODILLO VIBRATORIO LISO	1	26,60	26,60	310,00	0,086
RODILLO NEUMATICO	1	32,60	32,60	310,00	0,105
CARGADORA FRONTAL	1	23,08	23,08	310,00	0,074
HERRAMIENTA MENOR					0,008
SUBTOTAL EQUIPOS					1,025
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Acabadora Pav. Asfáltico	1	2,79	2,79	310,00	0,009
Operador Planta asfáltica	1	2,79	2,79	310,00	0,009
Operador Cargadora frontal	1	2,81	2,81	310,00	0,009
Operador Rodillo autopropulsado	2	2,79	5,58	310,00	0,018
Ayudante maquinaria	2	2,72	5,44	310,00	0,018
Maestro de obra	1	2,79	2,79	310,00	0,009
Peón	10	2,69	26,90	310,00	0,087
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,158
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	6,050	0,29	1,744	
MATERIAL PARA CARPETA	M3	0,070	8,00	0,560	
DIESEL	LTS	1,500	0,25	0,368	
ADITIVO DE ADHERENCIA	LTS	0,067	4,68	0,313	
SUBTOTAL DE MATERIALES				2,986	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
ASFALTO DILUIDO( ESMERALDAS)	LTS	6,05	0,050	0,299	
SUBTOTAL DE TRANSPORTE				0,299	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>4,468</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	
OTROS PRECIOS				0	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				5,445	
VALOR SIN IVA				<b>5,45</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Bacheo Asfáltico Mayor  
**Unidad:** m3

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
CORTADORA DE ASFALTO	1	3,13	3,13	2,50	1,252
RETROEXCAVADORA	0,5	20,86	10,43	2,50	4,172
RODILLO VIBRATORIO LISO	0,5	26,60	13,30	2,50	5,320
VOLQUETA DE 8 M3	0,25	15,86	3,97	2,50	1,586
HERRAMIENTA MENOR					0,267
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>12,597</b>

MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador equipo liviano	1	2,720	2,720	2,50	1,088
Operador Rodillo autopropulsado	0,5	2,790	1,395	2,50	0,558
Operador Retroexcavadora	0,5	2,810	1,405	2,50	0,562
Chofer Licencia TIPO E	0,25	4,020	1,005	2,50	0,402
Ayudante maquinaria	1	2,720	2,720	2,50	1,088
Maestro de obra	1	2,790	2,790	2,50	1,116
Peón	3	2,690	8,070	2,50	3,228
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>8,042</b>

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
MEZCLA ASFALTICA	M3	1,020	78,70	80,274
DISCO DE CORTE	UNIDAD	0,025	350,00	8,750
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	8,000	0,29	2,307
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>				<b>91,331</b>

TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
ASFALTO DILUIDO ( ESMERALDAS)	LTS	1,02	0,050	0,050
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>				<b>0,050</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>112,020</b>
INDIRECTOS Y UTILIDADES	0,218679
OTROS PRECIOS	0
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>136,517</b>
VALOR SIN IVA	<b>136,52</b>

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Capa de Base recuperada con Emulsión Asfáltica  
**Unidad:** m3

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
MOTONIVELADORA	1	46,05	46,05	38,00	1,212
RODILLO VIBRATORIO LISO	1	26,60	26,60	38,00	0,700
TANQUERO DE AGUA DE 6000 LTS	1	15,86	15,86	38,00	0,417
TRACTOR AGRICOLA CON RASTRA DE DISCOS	1	15,86	15,86	38,00	0,417
RODILLO NEUMATICO	1	32,60	32,60	38,00	0,858
RECICLADORA CON UÑAS	1	146,03	146,03	38,00	3,843
HERRAMIENTA MENOR	5%				0,052
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>7,499</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Motoniveladora	1	2,790	2,790	38,00	0,073
Operador Rodillo autopropulsado	2	2,790	5,580	38,00	0,147
Chofer Licencia TIPO E	1	4,020	4,020	38,00	0,106
Ayudante maquinaria	5	2,720	13,600	38,00	0,358
Peón	4	2,690	10,760	38,00	0,283
Operador Recicladora de pavimento asfalt.	1	2,790	2,790	38,00	0,073
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>1,041</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
EMULSIÓN ASFÁLTICA	LTS	3,600	0,36	1,296	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>				<b>1,296</b>	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>				<b>0,000</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>9,836</b>
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	2,151
OTROS PRECIOS				0	0,000
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>11,987</b>	
<b>VALOR SIN IVA</b>				<b>11,99</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** MICROPAVIMENTO 3 % DE POLIMERO SBR

**Unidad:** m2

<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORARIO</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1	17,73	17,73	300,00	0,059
TANQUERO DE AGUA DE 6000 LTS	1	15,86	15,86	300,00	0,053
MAQUINA PAVIMENTADORA DE MORTERO ASFALTICO	1	81,15	81,15	300,00	0,271
CARGADORA FRONTAL	1	23,08	23,08	300,00	0,077
HERRAMIENTA MENOR					0,004
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>0,464</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/H ORA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>
Operador Barredora autopropulsada	2	2,790	5,580	300,00	0,019
Operador Máquina Pavimentadora	1	2,790	2,790	300,00	0,009
Maestro de obra	4	2,790	11,160	300,00	0,037
Operador Cargadora frontal	1	2,810	2,810	300,00	0,009
Peón	3	2,690	8,070	300,00	0,027
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>0,101</b>
<b>MATERIALES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
EMULSION ASFALTICA	LTS	1,060	1,12	1,187	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,008	8,00	0,064	
AGUA	M3	0,000	3,00	0,001	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>				<b>1,252</b>	
<b>TRANSPORTE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>	
EMULSION ASFALTICA	LTS	5,900	0,040	0,236	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,050	0,032	0,002	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>				<b>0,236</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>2,053</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	
OTROS PRECIOS				0	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>2,502</b>	
VALOR SIN IVA				<b>2,50</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** MICROPAVIMENTO 4% DE POLIMERO SBR

**Unidad:** m2

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
ESCOBA AUTOPROPULSADA	1	17,73	17,73	300,00	0,059
TANQUERO DE AGUA DE 6000 LTS	1	15,86	15,86	300,00	0,053
MAQUINA PAVIMENTADORA DE MORTERO ASFALTICO	1	81,15	81,15	300,00	0,271
CARGADORA FRONTAL	1	23,08	23,08	300,00	0,077
HERRAMIENTA MENOR					0,004
<b>SUBTOTAL EQUIPOS</b>					<b>0,464</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/H ORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Operador Barredora autopropulsada	2	2,790	5,580	300,00	0,019
Operador Máquina Pavimentadora	1	2,790	2,790	300,00	0,009
Maestro de obra	4	2,790	11,160	300,00	0,037
Operador Cargadora frontal	1	2,810	2,810	300,00	0,009
Peón	3	2,690	8,070	300,00	0,027
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>0,101</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
EMULSION ASFALTICA	LTS	1,060	1,35	1,431	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,008	8,00	0,064	
AGUA	M3	0,000	3,00	0,001	
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>				<b>1,496</b>	
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
EMULSION ASFALTICA	LTS	5,900	0,040	0,236	
AGREGADOS PARA EMULSION ASFALTICA	M3	0,050	0,032	0,002	
<b>SUBTOTAL DE TRANSPORTE</b>				<b>0,236</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>2,297</b>	
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	
OTROS PRECIOS				0	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				<b>2,799</b>	
VALOR SIN IVA				<b>2,80</b>	

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Transporte de mezcla asfáltica para bacheo  
**Unidad:** m3/km

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
VOLQUETA DE 12 M3	1	25,69	25,69	120,00	0,214
HERRAMIENTA MENOR					0,000
SUBTOTAL EQUIPOS					<b>0,214</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Chofer Licencia TIPO E	1	4,020	4,020	120,00	0,034
SUBTOTAL MANO DE OBRA					<b>0,034</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
SUBTOTAL DE MATERIALES					<b>0,000</b>
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL DE TRANSPORTE					<b>0,000</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>0,248</b>
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	0,054
OTROS PRECIOS				0	0,000
COSTO TOTAL DEL RUBRO					<b>0,302</b>
VALOR SIN IVA					<b>0,30</b>

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Rubro:** Transporte de mezcla asfáltica para capa de rodadura  
**Unidad:** m3/km

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO
VOLQUETA DE 12 M3	1	25,69	25,69	120,00	0,214
HERRAMIENTA MENOR					0,000
SUBTOTAL EQUIPOS					<b>0,214</b>
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO UNITARIO
Chofer Licencia TIPO E	1	4,020	4,020	120,00	0,034
SUBTOTAL MANO DE OBRA					<b>0,034</b>
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
SUBTOTAL DE MATERIALES					<b>0,000</b>
TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
SUBTOTAL DE TRANSPORTE					<b>0,000</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>0,248</b>
INDIRECTOS Y UTILIDADES				0,218679	0,054
OTROS PRECIOS				0	0,000
COSTO TOTAL DEL RUBRO				<b>0,302</b>	
VALOR SIN IVA				<b>0,30</b>	

## **8.2 Especificaciones Técnicas.** <sup>10</sup>

### **8.2.1 Fresado de Pavimento Asfáltico**

**Descripción.-** Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío, de acuerdo con los alineamientos y dimensiones indicados en los documentos del proyecto y las instrucciones del fiscalizador

**Equipo.-** El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Si durante el transcurso de los trabajos el Fiscalizador observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, ordenará su inmediata reparación o remplazo.

#### **Procedimiento de trabajo**

##### **Preparación de la superficie existente**

Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento deberá encontrarse limpia y, por lo tanto, el Constructor deberá adelantar las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

---

<sup>10</sup>. Especificaciones Técnicas MTOP-001F2000

## **Fresado del pavimento**

El fresado se efectuará sobre el área que apruebe el fiscalizador, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto existente.

El material extraído deberá ser transportado y acopiado en los lugares que indiquen los documentos del proyecto o que establezca el Fiscalizador y será de propiedad del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador. Durante el manipuleo del material fresado, deberá evitarse su contaminación con suelos u otros materiales extraños.

El trabajo de fresado se podrá realizar en varias capas, hasta alcanzar el espesor del proyecto, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas.

En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales, en sentido longitudinal, cuya altura supere cinco centímetros (5 cm), deberán ser suavizados de manera que no impliquen peligro para el tránsito automotor. Igual precaución se tomará en los bordes transversales que queden al final de cada jornada.

**Medición.-** La unidad de medida del pavimento asfáltico fresado será el metro cúbico ( $m^3$ ), aproximado al entero, de superficie fresada de acuerdo con las exigencias de esta especificación y las dimensiones y cotas señaladas en los documentos del proyecto u ordenadas por el Fiscalizador.

El área tratada se determinará multiplicando la longitud fresada por el ancho tratado y por el espesor fresado, el cual estará establecido en los planos del proyecto o será fijado por el Fiscalizador.

**Pago.-** El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y a satisfacción plena del Fiscalizador.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de limpieza previa que requiera la superficie, el fresado para alcanzar las cotas o espesores que indique el proyecto; cargue, transporte, descargue y acopio del material fresado en los sitios establecidos; la reparación a satisfacción de todos los elementos que hayan sido afectados por la ejecución de los trabajos; la señalización preventiva y el ordenamiento del tránsito público durante el lapso de ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del fresado del pavimento asfáltico.

### **8.2.2 Sellado de Fisuras Superficiales**

**Descripción.-** Cuando las superficies asfálticas presenten pequeñas áreas agrietadas o fisuras y grietas aisladas deberá colocarse un sello, con la aplicación de asfalto líquido y agregado fino para evitar la entrada de agua superficial y otro material ajeno que cause daño a la base.

**Equipo.-** El contratista dedicará a estos trabajos todo el equipo adecuado necesario para la debida y oportuna ejecución de los mismos. El equipo tendrá que ser mantenido en óptimas condiciones de funcionamiento, debiendo constar como mínimo de:

- Un distribuidor de asfalto equipado con un rociador manual a presión
- Un compresor con soplete
- Un camión volquete
- Un rodillo neumático
- Herramienta de mano

#### **Procedimiento de Trabajo.-**

- Cargar y transportar los materiales apropiados en lugares predeterminados.
- Colocar señales y elementos de seguridad.

- Barrer el material suelto del área a ser sellada.
- Regar con asfalto caliente un área rectangular por lo menos 20 cm mas ancha que el área deteriorada.
- Esparcir uniformemente el agregado fino sobre el asfalto.
- Rodillar el área
- Quitar señales y elementos de seguridad.

**Medición.-** La cantidad a pagarse por el trabajo de “Sellado de Fisuras Superficiales”, será los metros cuadrados medidos en obra después de rodillada la superficie, efectivamente ejecutados y aceptados de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales y las instrucciones del fiscalizador.

**Pago.-** Este precio y pago constituirá la compensación total por la superficie sellada, la producción y suministro de materiales; así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas necesarias para ejecutar los trabajos descritos.

### **8.2.3. Bacheo Asfáltico Menor.**

**Descripción.-** Cuando así se establezca en el proyecto o lo determine el fiscalizador, se realizará la reparación de las fallas en el pavimento, trabajo que consistirá en el suministro, transporte y colocación de material bituminoso y hormigón asfáltico, para la reparación de pequeñas áreas de superficies pavimentadas a nivel de carpeta asfáltica, para corregir baches, depresiones, roturas de borde y otros peligros potenciales de la calzada y espaldones.

**Materiales.-** La imprimación será realizada con asfalto diluido RC 250, en una cantidad de un litro por metro cuadrado.

Los agregados y el hormigón asfáltico deberán cumplir con lo señalado en las “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” MOP – 001 –F – 2002. Antes de añadir el asfalto a los agregados, estos deberán estar completamente limpios y secos.

**Equipo.-** El contratista deberá disponer de todo el equipo necesario para la debida ejecución de los trabajos, incluyendo la señalización adecuada, que deberá contar con la aprobación del fiscalizador.

- El equipo mínimo estará conformado por:
- Un tanque calentador de asfalto con una capacidad mínima de 500 lt.
- Un volquete de 6 m<sup>3</sup> de capacidad.

- Una plancha vibratoria y;
- Herramientas manuales.

### **Procedimiento de Trabajo.-**

- Colocar señales y elementos de seguridad
- Verificar que la muestra a emplear cumpla con las especificaciones y este en buenas condiciones de trabajabilidad.
- Marcar y cuadrar el área a bachear hasta llegar a una superficie firme, cuidando de dejar las paredes verticales. Esta área deberá ser completamente seca.
- Imprimir el área con un distribuidor a presión y con el asfalto caliente a la temperatura de aplicación, en una cantidad suficiente para no formar charcos pero si para cubrir de forma pareja toda el área. Imprimir también las paredes verticales.
- Depositar la mezcla asfáltica en capas de espesor uniforme, especialmente en las esquinas y junto a las paredes. Úsese un rastrillo para eliminar las posibles acumulaciones de piedras que se produzcan por segregación.
- Compactar cada capa desde los bordes hacia el centro, superponiendo la llana metálica del rodillo en cada pasada.
- Verificar que la superficie reparada este al nivel con la circundante.

- Quitar y desalojar todo el material suelto del área, las señales y elementos de seguridad.

**Medición.-** La cantidad a pagarse por el trabajo de “Bacheo con Hormigón Asfáltico”, serán los metros cuicos medidos en obra después de la compactación, de mezcla del espesor existente en la vía, efectivamente ejecutados y aceptados de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales y las instrucciones del fiscalizador.

**Pago.-** El pago constituirá la compensación total por la preparación de la superficie a bachearse; la producción y suministro de agregados; el suministro de material bituminoso; la dosificación y mezclado de los materiales; la distribución, conformación y compactación del hormigón asfáltico en los baches; así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas y operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

#### **8.2.4 Asfalto para Riego de Adherencia.**

**Descripción.-** Este trabajo consistirá en el suministro y distribución de material bituminoso sobre la superficie de un pavimento, a fin de conseguir adherencia entre este pavimento y una nueva capa asfáltica que se deberá colocar sobre él, de acuerdo con los requerimientos establecidos en los documentos contractuales. En la aplicación del riego de adherencia estará comprendida la limpieza de la superficie, que deberá realizarse inmediatamente antes del riego bituminoso.

**Materiales.-** El material bituminoso estará constituido por asfalto diluido o por emulsión asfáltica, cuyo tipo estará fijado en las disposiciones especiales del contrato.

Durante la aplicación puede presentarse la necesidad de cambiar el grado del asfalto establecido en las disposiciones generales, en cuyo caso el Fiscalizador podrá disponer el cambio hasta uno de los grados inmediatamente más próximos, sin que haya modificación en el precio unitario señalado en el contrato. Sin embargo, el Fiscalizador no deberá permitir el uso de mezclas heterogéneas en los asfaltos diluidos.

**Equipo.-** El Contratista deberá disponer del equipo necesario para la ejecución de este trabajo, el cual deberá ser aprobado por el Fiscalizador.

El equipo mínimo deberá constar de una barredora mecánica, un soplador incorporado o aparte y un distribuidor de asfalto a presión autopropulsado.

El distribuidor de asfalto a presión estará montado sobre neumáticos y provisto de una rueda adicional para accionar el tacómetro que permita un permanente control de operador al momento de la aplicación. El riego asfáltico se efectuará mediante una bomba de presión con fuerza motriz independiente, a fin de poder regularla con facilidad; el asfalto será aplicado uniformemente a través de una barra provista de boquillas que impidan la atomización. El tanque del distribuidor dispondrá de sistema de calentamiento regulado con recirculación para mantener una temperatura uniforme en todo el material bituminoso. El distribuidor deberá estar provisto además de un rociador manual.

**Procedimientos de trabajo.-** Antes de procederse a la aplicación del riego bituminoso, se comprobará que la superficie se halle totalmente seca, y deberá ser barrida y limpiada cuidadosamente para eliminar todo material extraño y trazas de polvo. Si en el contrato no se hubiera previsto el reacondicionamiento completo del pavimento, el Fiscalizador podrá disponer, en caso necesario, que se efectúe un bacheo previo a la limpieza, en cuyo caso se deberá pagar al Contratista el bacheo efectuado en base a los precios unitarios y cantidades de los rubros que se hubieren utilizado para dicho trabajo.

El material asfáltico será distribuido uniformemente sobre la superficie lista. La cantidad de aplicación será bastante reducida y dependerá del estado de la superficie a tratar. Dicha cantidad será indicada por el Fiscalizador y estará entre límites de 0.15 a 0.45 litros por metro cuadrado.

La distribución no deberá efectuarse cuando el tiempo esté lluvioso o con amenaza de lluvia inminente. La temperatura de aplicación estará en concordancia con el tipo y grado del material bituminoso para asfaltos diluidos y emulsiones, respectivamente.

Si se tratase de efectuar el riego de adherencia en zonas de superficie reducida o irregulares, la aplicación del material bituminoso podrá realizarse empleando el rociador manual a presión del distribuidor.

El asfalto regado para adherencia se dejará secar por unas horas, solamente hasta que adquiera su máxima adhesividad, y durante este período, que en ningún caso podrá ser superior a 24 horas, el Contratista deberá mantener protegido el riego y sin tránsito de ninguna naturaleza.

El Contratista deberá cuidar que no se manche con la distribución asfáltica las obras de arte, bordillos, aceras o árboles adyacentes, todo lo cual deberá ser protegido en los casos necesarios antes de proceder al riego. En ningún caso deberá descargarse el material bituminoso sobrante en canales, ríos o acequias.

**Medición.-** Las cantidades a pagarse por el riego de adherencia serán los litros de material asfáltico realmente distribuidos y aceptados por el Fiscalizador.

La medición del asfalto se efectuará reduciendo el volumen empleado a la temperatura de aplicación, al volumen a 15.6 °C.

Si se hubiere efectuado un bacheo previo del pavimento existente, los materiales empleados serán medidos de acuerdo con las estipulaciones correspondientes a cada material y serán pagados en base a los precios unitarios contractuales para los rubros respectivos.

**Pago.-** Las cantidades de obra que hayan sido determinadas en la forma indicada en el numeral anterior, se pagarán a los precios señalados en el contrato, considerando los rubros siguientes.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por la limpieza de la superficie por tratarse, el suministro, transporte, calentamiento y distribución del material asfáltico; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

### **8.2.5 Capa de Sello de Mortero Asfáltico (SLURRY SEAL).**

**Descripción.-** Es la mezcla de agregados, emulsión asfáltica, agua, relleno mineral y aditivos debidamente proporcionados, mezclados y esparcidos sobre una superficie apropiadamente preparada.

#### **Equipo**

El equipo mínimo que deberá disponer el Contratista para la preparación, distribución y aplicación de la capa de mortero asfáltico es:

- Una pavimentadora de mortero asfáltico.
- Una barredora mecánica para la limpieza de la vía.
- Un sistema de mallas para el tamizado de los agregados en el banco de materiales.
- Una máquina cargadora frontal para alimentar el agregado tamizado.
- Máquina pavimentadora de Mortero Asfáltico

## **Procedimiento de Trabajo**

La superficie a pavimentarse con Mortero Asfáltico deberá ser preparada cuidadosamente, recuperando el perfil longitudinal y transversal con sistemas de bacheo y sellado de grietas utilizando el equipo, métodos y procedimientos adecuados.

Se deberá utilizar el barrido como método de limpieza, para eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al mortero. El riego de agua previo a la aplicación del mortero se recomienda como control de ruptura prematura de la mezcla y mejorador de adherencia a la superficie existente. Dependiendo de las condiciones climáticas, se aplicará el riego de pulverización con agua incluido en la máquina aplicadora.

Una vez que los componentes del Mortero Asfáltico son mezclados se inicia el proceso de ruptura de la mezcla. El tiempo de este proceso depende de la química de los agregados y finos, formulación de la emulsión, tipo y concentración de aditivos así como la temperatura ambiental. Para permitir el tendido del mortero asfáltico sobre la vía, se requiere un tiempo mínimo de mezclado de 120 a 300 segundos, durante el cual el mortero asfáltico permanece fluido y puede ser distribuido sobre la superficie.

Una vez colocado sobre la vía el mortero asfáltico continúa con el proceso de ruptura y agua clara es liberada. La terminación del proceso químico de ruptura del mortero asfáltico se logra cuando la coloración de la mezcla cambia de café a negro en pocos minutos.

El tiempo de apertura al tráfico se establece cuando la mayor parte de agua es expulsada de la mezcla, lo que ocurre en función del sistema de mortero asfáltico utilizado. Para morteros asfálticos tipo CSS, la apertura se establece en un tiempo aproximado de 2 a 4 horas. Para morteros asfálticos tipo CQS la apertura se establece en 60 minutos o menos.

El proceso de curado de una mezcla de morteros asfálticos se logra cuando la totalidad del agua en la mezcla es liberada, este proceso ocurre dentro de las primeras 48 horas después de su aplicación.

**Medición.-** Las cantidades a pagarse por la construcción de la capa de sello de mortero asfáltico, serán los metros cuadrados de superficie terminada, y aceptada.

**Pago.-** Las cantidades determinadas en la forma indicada en el numeral anterior, se pagarán a los precios señalados en el contrato para el rubro designado a continuación.

Este precio y pago constituirán la compensación total por la preparación de la superficie a sellarse, la producción y suministro de los agregados, el suministro de la emulsión asfáltica, aditivos, el mezclado, transporte, distribución y compactación del sello de mortero asfáltico; así como mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

### **8.2.6 Micropavimento 3 - 4% de Polímero SBR**

**Descripción.-** Es la mezcla de una emulsión catiónica modificada con polímeros, agregados triturados, agua, relleno mineral y otros aditivos, apropiadamente proporcionados y esparcidos sobre una superficie preparada. El objetivo de la utilización de polímeros en mezclas de Micro-Pavimentos es reducir la susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos en la vía, permitiendo rendimientos más elevados que en Morteros Asfálticos. Los micropavimentos se pueden aplicar en espesores de una sola capa o multi-capas, en proyectos de recuperación de ahuellamientos y repavimentación.

#### **Equipo**

El equipo mínimo que deberá disponer el Contratista para la preparación, distribución y aplicación de la capa de mortero asfáltico es:

- Una pavimentadora de mortero asfáltico.
- Una barredora mecánica para la limpieza de la vía.
- Un sistema de mallas para el tamizado de los agregados en el banco de materiales.
- Una máquina cargadora frontal para alimentar el agregado tamizado.
- Máquina pavimentadora de Mortero Asfáltico

## **Procedimiento de Trabajo**

La superficie a pavimentarse con Mortero Asfáltico deberá ser preparada cuidadosamente, recuperando el perfil longitudinal y transversal con sistemas de bacheo y sellado de grietas utilizando el equipo, métodos y procedimientos adecuados.

Se deberá utilizar el barrido como método de limpieza, para eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al mortero. El riego de agua previo a la aplicación del mortero se recomienda como control de ruptura prematura de la mezcla y mejorador de adherencia a la superficie existente. Dependiendo de las condiciones climáticas, se aplicará el riego de pulverización con agua incluido en la máquina aplicadora.

Una vez que los componentes del Mortero Asfáltico son mezclados se inicia el proceso de ruptura de la mezcla. El tiempo de este proceso depende de la química de los agregados y finos, formulación de la emulsión, tipo y concentración de aditivos así como la temperatura ambiental. Para permitir el tendido del mortero asfáltico sobre la vía, se requiere un tiempo mínimo de mezclado de 120 a 300 segundos, durante el cual el mortero asfáltico permanece fluido y puede ser distribuido sobre la superficie.

Una vez colocado sobre la vía el mortero asfáltico continúa con el proceso de ruptura y agua clara es liberada. La terminación del proceso químico de ruptura del mortero asfáltico se logra cuando la coloración de la mezcla cambia de café a negro en pocos minutos.

El tiempo de apertura al tráfico se establece cuando la mayor parte de agua es expulsada de la mezcla, lo que ocurre en función del sistema de mortero asfáltico utilizado. Para morteros asfálticos tipo CSS, la apertura se establece en un tiempo aproximado de 2 a 4 horas. Para morteros asfálticos tipo CQS la apertura se establece en 60 minutos o menos.

El proceso de curado de una mezcla de morteros asfálticos se logra cuando la totalidad del agua en la mezcla es liberada, este proceso ocurre dentro de las primeras 48 horas después de su aplicación.

**Medición.-** Las cantidades a pagarse por la construcción de la capa de sello de mortero asfáltico, serán los metros cuadrados de superficie terminada, y aceptada.

**Pago.-** Las cantidades determinadas en la forma indicada en el numeral anterior, se pagarán a los precios señalados en el contrato para el rubro designado a continuación.

Este precio y pago constituirán la compensación total por la preparación de la superficie a sellarse, la producción y suministro de los agregados, el suministro de la emulsión asfáltica, aditivos, el mezclado, transporte, distribución y compactación del sello de mortero asfáltico; así como mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

### **8.2.7 Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm**

**Descripción.-** Este trabajo consistirá en la construcción de capas de rodadura de hormigón asfáltico constituido por agregados en la granulometría especificada, relleno mineral, si es necesario, y material asfáltico, mezclados en caliente en una planta central, y colocado sobre una base debidamente preparada o un pavimento existente, de acuerdo con lo establecido en los documentos contractuales.

**Materiales** El tipo y grado del material asfáltico que deberá emplearse en la mezcla estará determinado en el contrato y será mayormente cemento asfáltico con un grado de penetración 60 - 70. En caso de vías que serán sometidas a un tráfico liviano o medio se permitirá el empleo de cemento asfáltico 85 – 100. Para vías o carriles especiales donde se espere el paso de un tráfico muy pesado, se admitirá el empleo de cementos asfálticos mejorados.

Los agregados que se emplearán en el hormigón asfáltico en planta podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente, arenas y relleno mineral. Los agregados estarán compuestos en todos los casos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, arcilla u otras materias extrañas.

Las mezclas asfálticas a emplearse en capas de rodadura para vías de tráfico pesado y muy pesado deberán cumplir que la relación entre el porcentaje en peso del agregado pasante del tamiz INEN 75micrones y el contenido de asfalto en porcentaje en peso del total de la mezcla (relación filler/betún), sea mayor o igual a 0,8 y nunca superior a 1,2.

En el contrato se determinará el tipo y graduación de los agregados, de acuerdo con las condiciones de empleo y utilización que se previene para la carpeta asfáltica.

#### **Equipo.-**

**Plantas mezcladoras.-** Las plantas para la preparación de hormigón asfáltico utilizadas por el Contratista, podrán ser continuas o por paradas, y deberán cumplir los requisitos que se establezcan más adelante para cada una de ellas específicamente, además de lo cual todas deberán satisfacer las exigencias siguientes:

- a) **Equipo para manejo del asfalto:** Los tanques para almacenamiento del asfalto deberán estar equipados con serpentines de circulación de vapor o aceite que permitan un calentamiento seguro, sin que existan probabilidades de producirse incendios u otros accidentes; y con dispositivos que posibiliten un control efectivo de temperaturas en cualquier momento.

Los tanques para almacenamiento deberán tener capacidad suficiente de reserva para al menos un día de trabajo sin interrupciones; el sistema de circulación a las balanzas de dosificación, mezcladora, etc., deberá tener capacidad suficiente para un caudal uniforme, y deberá estar provisto de camisas de aislamiento térmico y conservación de la temperatura. Deberá proveerse de dispositivos confiables para medición y muestreo del asfalto de los tanques.

- b) Secador:** La planta deberá estar equipada con un horno secador rotativo para agregados, con suficiente capacidad para proveer los agregados secos y a la temperatura necesaria, a fin de mantener a la mezcladora trabajando continuamente y a su máximo rendimiento. Dispondrá de dispositivos para medición de la temperatura de los agregados al salir del horno, que trabajen con un máximo de error de 5 °C.

El horno secador estará diseñado con una longitud y un número de revoluciones tales que permitan recibir los agregados y movilizarlos hacia la salida en una forma regular y continua, a fin de entregarlos al alimentador de las cribas totalmente secos y en la temperatura

**c) Cribas y tolvas de recepción:** La planta dispondrá de las cribas suficientes para tamizar el agregado proveniente del secador y separarlo en las graduaciones requeridas para alojarlas en las diferentes tolvas individuales de recepción.

Los tamices a utilizarse para la separación de las diferentes graduaciones, no permitirán que cualquier tolva reciba más de un 10% de material de tamaño mayor o menor que el especificado.

Las tolvas para almacenamiento del agregado caliente deberán tener tamaño suficiente, para conservar una cantidad de agregados que permita la alimentación de la mezcladora trabajando a su máximo rendimiento. Existirán al menos tres tolvas para las diferentes graduaciones, y una adicional para el relleno mineral que se utilizará cuando sea necesario. Cada tolva individual estará provista de un desbordamiento que impida la entrada del exceso de material de uno a otro compartimiento, y que descargue este exceso hasta el piso por medio de una tubería, para evitar accidentes.

Las tolvas estarán provistas de dispositivos para control de la cantidad de agregados y extracción de muestras en cualquier momento.

- d) Dispositivos para dosificación del asfalto:** La planta estará provista de balanzas de pesaje o de dispositivos de medición y calibración del asfalto, para asegurar que la dosificación de la mezcla se halle dentro de las tolerancias especificadas en la fórmula maestra de obra.

El asfalto medido, ya sea por peso o por volumen, deberá ser descargado a la mezcladora, mediante una abertura o una barra esparcidora cuya longitud será al menos igual a las tres cuartas partes de la longitud de la mezcladora, a fin de lograr una distribución uniforme e inmediata al mezclado en seco.

Los dispositivos para la dosificación estarán provistos de medios exactos de medición y control de temperaturas y pesos o volúmenes. La temperatura será medida en la cañería que conduce el asfalto a las válvulas de descarga a la entrada de la mezcladora.

- e) Colector de polvo:** La planta estará equipada con un colector de polvo de tipo ciclón que recolecte el polvo producido en el proceso de alimentación y mezclado.

Este colector estará diseñado en forma de poder devolver, en caso necesario, el polvo recolectado o parte de él a la mezcladora, o de conducirlo al exterior a un lugar protegido para no causar contaminación ambiental.

- f) **Laboratorio de campo:** Se deberá contar con el equipo necesario para poder realizar ensayos de la categoría 1 según la subsección 810-2.04, con el objetivo de que antes de descargar el cemento asfáltico a los reservorios desde el tanquero-cisterna este sea evaluado y certificado. Se contará también con el equipo necesario para evaluar la composición de las mezclas y la temperatura de fabricación de las mismas.
- g) **Medidas de seguridad:** Las plantas deberán disponer de escaleras metálicas seguras para el acceso a las plataformas superiores, dispuestas de tal manera de tener acceso a todos los sitios de control de las operaciones. Todas las piezas móviles como poleas, engranajes, cadenas, correas, etc., deberán hallarse debidamente protegidas para evitar cualquier posibilidad de accidentes con el personal. El espacio de acceso bajo la mezcladora para los camiones, deberá ser amplio, para maniobrar con facilidad a la entrada y a la salida. El contratista proveerá además de una plataforma de altura suficiente, para que el Fiscalizador pueda acceder con facilidad a tomar las muestras necesarias en los camiones de transporte de la mezcla.

## **Procedimientos de trabajo.**

**Fórmula Maestra de Obra.-** Antes de iniciarse ninguna preparación de hormigón asfáltico para utilizarlo en obra, el Contratista deberá presentar al Fiscalizador el diseño de la fórmula maestra de obra, preparada en base al estudio de los materiales que se propone utilizar en el trabajo. El Fiscalizador efectuará las revisiones y comprobaciones pertinentes, a fin de autorizar la producción de la mezcla asfáltica. Toda la mezcla del hormigón asfáltico deberá ser realizada de acuerdo con esta fórmula maestra, salvo que sea necesario modificarla durante el trabajo, debido a variaciones en los materiales.

La fórmula maestra establecerá:

- 1) Las cantidades de las diversas fracciones definidas para los agregados;
- 2) El porcentaje de material asfáltico para la dosificación, en relación al peso total de todos los agregados, inclusive el relleno mineral y aditivos para el asfalto si se los utilizare;
- 3) La temperatura que deberá tener el hormigón al salir de la mezcladora, y
- 4) La temperatura que deberá tener la mezcla al colocarla en sitio.

**Dosificación y Mezclado.-** Los agregados para la preparación de las mezclas de hormigón asfáltico deberán almacenarse separadamente en tolvas individuales, antes de entrar a la planta. La separación de las diferentes fracciones de los agregados será sometida por el Contratista a la aprobación del Fiscalizador. Para el almacenaje y el desplazamiento de los agregados de estas tolvas al secador de la planta, deberá emplearse medios que eviten la segregación o degradación de las diferentes fracciones.

Los agregados se secarán en el horno secador por el tiempo y la temperatura necesarios para reducir la humedad a un máximo de 1%; al momento de efectuar la mezcla, deberá comprobarse que los núcleos de los agregados cumplan este requisito. El calentamiento será uniforme y graduado, para evitar cualquier deterioro de los agregados. Los agregados secos y calientes pasarán a las tolvas de recepción en la planta asfáltica, desde donde serán dosificados en sus distintas fracciones, de acuerdo con la fórmula maestra de obra, para ser introducidos en la mezcladora.

- a) Dosificación:** El contratista deberá disponer del número de tolvas que considere necesarias para obtener una granulometría que cumpla con todos los requerimientos según el tipo de mezcla asfáltica especificada para el respectivo proyecto.

De ser necesario podrá utilizar relleno mineral, que lo almacenará en un compartimiento cerrado, desde donde se lo alimentará directamente a la mezcladora, a través de la balanza para el pesaje independiente de los agregados, en el caso de usarse plantas mezcladora por paradas. Si se utiliza una planta de mezcla continua, el relleno mineral será introducido directamente a la mezcladora, a través de una alimentadora continua eléctrica o mecánica, provista de medios para la calibración y regulación de cantidad .

- b) Mezclado:** La mezcla de los agregados y el asfalto será efectuada en una planta central de mezcla continua o por paradas. Según el caso, los agregados y el asfalto podrán ser dosificados por volumen o al peso.

La cantidad de agregados y asfalto por mezclar estará dentro de los límites de capacidad establecida por el fabricante de la planta, para la carga de cada parada o la razón de alimentación en las mezcladoras continuas. De todos modos, de existir sitios en donde los materiales no se agiten suficientemente para lograr una mezcla uniforme, deberá reducirse la cantidad de los materiales para cada mezcla.

La temperatura del cemento asfáltico, al momento de la mezcla, estará entre los 135 °C y 160 °C, y la temperatura de los agregados, al momento de recibir el asfalto, deberá estar entre 120 °C y 160 °C.

El tiempo de mezclado de una carga se medirá desde que el cajón de pesaje comience a descargar los agregados en la mezcladora, hasta que se descargue la mezcla. Este tiempo debe ser suficiente para que todos los agregados estén recubiertos del material bituminoso y se logre una mezcla uniforme; generalmente se emplea un tiempo de un minuto aproximadamente.

En caso de que la planta esté provista de dispositivos de dosificación y control automáticos, el contratista podrá utilizarlos ajustándolos a la fórmula maestra y calibrando los tiempos de ciclo.

Si se utilizan plantas de mezcla continua, se introducirá a la mezcladora cada fracción de agregados y el relleno mineral si es necesario, por medio de una alimentadora continua, mecánica o eléctrica, que los traslade de cada tolva individual con abertura debidamente calibrada. El asfalto se introducirá a la mezcladora por medio de una bomba, que estará provista de un dispositivo de calibración y de control de flujo.

La temperatura a la que se debe mezclar los agregados y el cemento asfáltico será proporcionado por el gráfico temperatura-viscosidad según el cemento asfáltico recibido en la planta.

Para mezclas cerradas y semis cerradas la temperatura de mezclado más adecuada es aquella en que la viscosidad del ligante está comprendida entre 1,5 y 3,0 Poises, mientras que para mezclas abiertas la viscosidad debe estar entre 3,0 y 10,0 Poises. Se tenderá a que la temperatura del cemento asfáltico y los agregados sea la misma .

**Distribución.-** La distribución del hormigón asfáltico deberá efectuarse sobre una base preparada, de acuerdo con los requerimientos contractuales, imprimada, limpia y seca, o sobre un pavimento existente.

Esta distribución no se iniciará si no se dispone en la obra de todos los medios suficientes de transporte, distribución, compactación, etc., para lograr un trabajo eficiente y sin demoras que afecten a la obra.

Además, el Fiscalizador rechazará todas las mezclas heterogéneas, sobrecalentadas o carbonizadas, todas las que tengan espuma o presenten indicios de humedad y todas aquellas en que la envoltura de los agregados con el asfalto no sea perfecta.

Una vez transportada la mezcla asfáltica al sitio, será vertida por los camiones en la máquina terminadora, la cual esparcirá el hormigón asfáltico sobre la superficie seca y preparada.

Para evitar el desperdicio de la mezcla debido a lluvias repentinas, el contratista deberá disponer de un equipo de comunicación confiable, entre la planta de preparación de la mezcla y el sitio de distribución en la vía .

La colocación de la carpeta deberá realizarse siempre bajo una buena iluminación natural o artificial. La distribución que se efectúe con las terminadoras deberá guardar los requisitos de continuidad, uniformidad, ancho, espesor, textura, pendientes, etc., especificados en el contrato.

El Fiscalizador determinará el espesor para la distribución de la mezcla, a fin de lograr el espesor compactado especificado. De todos modos, el máximo espesor de una capa será aquel que consiga un espesor compactado de 7.5 centímetros. El momento de la distribución se deberá medir los espesores a intervalos, a fin de efectuar de inmediato los ajustes necesarios para mantener el espesor requerido en toda la capa.

Las juntas longitudinales de la capa superior de una carpeta deberán ubicarse en la unión de dos carriles de tránsito; en las capas inferiores deberán ubicarse a unos 15 cm. de la unión de los carriles en forma alternada, a fin de formar un traslape. Para formar las juntas transversales de construcción, se deberá recortar verticalmente todo el ancho y espesor de la capa que vaya a continuarse.

En secciones irregulares pequeñas, en donde no sea posible utilizar la terminadora, podrá completarse la distribución manualmente, respetando los mismos requisitos anotados arriba.

**Compactación:** La mejor temperatura para empezar a compactar la mezcla recién extendida, dentro del margen posible que va de 163 a 85 °C, es la máxima temperatura a la cual la mezcla puede resistir el rodillo sin desplazarse horizontalmente.

Con la compactación inicial deberá alcanzarse casi la totalidad de la densidad en obra y la misma se realizará con rodillos lisos de ruedas de acero vibratorios, continuándose con compactadores de neumáticos con presión elevada. Con la compactación intermedia se sigue densificando la mezcla antes que la misma se enfríe por debajo de 85 °C y se va sellando la superficie.

Al utilizar compactadores vibratorios se tendrá en cuenta el ajuste de la frecuencia y la velocidad del rodillo, para que al menos se produzcan 30 impactos de vibración por cada metro de recorrido. Para ello se recomienda usar la frecuencia nominal máxima y ajustar la velocidad de compactación. Con respecto a la amplitud de la vibración, se deberá utilizar la recomendación del fabricante para el equipo en cuestión.

En la compactación de capas delgadas no se debe usar vibración y la velocidad de la compactadora no deberá superar los 5 km/hora. Además, ante mezclas asfálticas con bajas estabilidades el empleo de compactadores neumáticos deberá hacerse con presiones de neumáticos reducidas.

Con la compactación final se deberá mejorar estéticamente la superficie, eliminando las posibles marcas dejadas en la compactación intermedia. Deberá realizarse cuando la mezcla esté aún caliente empleando rodillos lisos metálicos estáticos o vibratorios (sin emplear vibración en este caso)

En capas de gran espesor o ante materiales muy calientes se recomienda dar las dos primeras pasadas sin vibración para evitar marcas difíciles de eliminar posteriormente. Ante esta situación, si se utilizaran rodillos neumáticos, se aconseja comenzar a compactar con presiones bajas en los neumáticos aumentando paulatinamente la misma según el comportamiento de la capa.

Se deben realizar tramos de prueba para establecer el patrón de compactación para minimizar el número de pasadas en la zona apropiada de temperatura y obtener la densidad deseada. El patrón de compactación podrá variar de proyecto en proyecto, según las condiciones climáticas, los equipos utilizados, el tipo de mezcla, el patrón de recorrido, etc. La secuencia de las operaciones de compactación y la selección de los tipos de compactadores tiene que proveer la densidad de pavimentación especificada.

A menos que se indique lo contrario, la compactación tiene que comenzar en los costados y proceder longitudinalmente paralelo a la línea central del camino, recubriendo cada recorrido la mitad del ancho de la compactadora, progresando gradualmente hacia el coronamiento del camino.

Cuando la compactación se realice en forma escalonada o cuando limite con una vía colocada anteriormente, la junta longitudinal tiene que ser primeramente compactada, siguiendo con el procedimiento normal de compactación. En curvas peraltadas, la compactación tiene que comenzar en el lado inferior y progresar hacia el lado superior, superponiendo recorridos longitudinales paralelos a la línea central.

Para impedir que la mezcla se adhiera a las compactadoras, puede que sea necesario mantener las ruedas adecuadamente humedecidas con agua, o agua mezclada con cantidades muy pequeñas de detergente u otro material aprobado. No se admitirá el exceso de líquido ni el empleo de fuel oil para este fin.

En los lugares inaccesibles a los rodillos se deberá efectuar la compactación de la mezcla con pisones mecánicos, hasta obtener la densidad y acabado especificados.

La capa de hormigón asfáltico compactada deberá presentar una textura lisa y uniforme, sin fisuras ni rugosidades, y estará construida de conformidad con los alineamientos, espesores, cotas y perfiles estipulados en el contrato. Mientras esté en proceso la compactación, no se permitirá ninguna circulación vehicular.

Cuando deba completarse y conformarse los espaldones adyacentes a la carpeta, deberán recortarse los bordes a la línea establecida en los planos.

El contratista deberá observar cuidadosamente la densidad durante el proceso de compactación mediante la utilización de instrumentos nucleares de la medición de la densidad para asegurar que se está obteniendo la compactación mínima requerida.

**Sellado.-** Si los documentos contractuales estipulan la colocación de una capa de sello sobre la carpeta terminada, ésta se colocará de acuerdo con los requerimientos correspondientes determinados en la subsección 405-6 y cuando el Fiscalizador lo autorice, que en ningún caso será antes de una semana de que la carpeta haya sido abierta al tránsito público.

**Medición.-** Las cantidades a pagarse por la construcción de las carpetas de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta, serán los metros cuadrados de superficie cubierta con un espesor compactado especificado. La medición se efectuará en base a la proyección en un plano horizontal del área pavimentada y aceptada por el Fiscalizador.

En casos especiales la medición para el pago podrá también ser efectuada en toneladas de mezcla efectivamente usada para la construcción de la carpeta, de acuerdo con los planos, especificaciones y más estipulaciones contractuales. En este caso, se computarán para el pago las toneladas pesadas y transportadas en los volquetes.

En todo caso, la forma de pago estará determinada en el contrato, sea en toneladas de hormigón suelto o en metros cuadrados de carpeta compactada al espesor requerido.

**Pago.-** Las cantidades determinadas en cualquiera de las formas establecidas en el numeral anterior, serán pagadas a los precios señalados en el contrato para los rubros siguientes.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por el suministro de los agregados y el asfalto, la preparación en planta en caliente del hormigón asfáltico, el transporte, la distribución, terminado y compactación de la mezcla, la limpieza de la superficie que recibirá el hormigón asfáltico; así como por la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

### **8.2.8 Transporte.**

**Descripción.-** Este trabajo consistirá en el transporte autorizado de los materiales necesarios para la construcción de la plataforma del camino, préstamo importado, mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado, material pétreo, capa de rodadura, construcción de subbase de agregados, base de agregados, y agregados para doble tratamiento bituminoso, para los cuales esta previsto el pago de transporte en los formularios de propuestas.

El material excavado de la plataforma del camino será transportado sin derecho a pago alguno en una distancia de 500m; pasados los cuales se reconocerá el transporte correspondiente.

**Medición.-** Las cantidades de transporte a pagarse serán los metros cúbicos por kilómetro o fracción de kilómetro. Medidos y aceptados, calculados como el resultado de multiplicar los metros cúbicos de material efectivamente transportado por la distancia en kilómetros de transporte de dicho volumen.

Los volúmenes para el cálculo de transporte de materiales de préstamo importado, el mejoramiento de la subrasante con el suelo seleccionado, la estabilización con material pétreo, serán los mismos volúmenes establecidos para su pago en conformidad con su rubro correspondiente, metro cúbico por kilómetro o fracción kilómetro.

El volumen para el transporte de capa de rodadura, sub base y de base se medirá en la calzada, luego de su compactación. La distancia de transporte medida en kilómetros, será la distancia que exista desde el centro de gravedad del sitio de obtención hasta el centro de gravedad del lugar de colocación de los materiales, pasando por la planta de procesamiento, siguiendo la medida a lo largo del eje del camino o por la ruta mas corta que señale el fiscalizador.

Si el contratista prefiere ocupar materiales provenientes de una fuente localizada a mayor distancia que aquellas que fueren fijadas en los planos, disposiciones especiales o por el fiscalizador, la distancia del transporte se medirá como si el material hubiera sido transportado desde el sitio fijado en los planos, disposiciones especiales o por el fiscalizador.

**Pago.-** Constituirá la compensación total por el transporte de los materiales, incluyendo la mano de obra, equipo, herramientas y operaciones conexas necesarias para ejecutar los trabajos descritos.

### **8.2.9 Recuperación de Pavimentos con Emulsiones Asfálticas en sitio.**

**Descripción.-** Este trabajo consistirá en la recuperación y reutilización en el mismo lugar de los agregados existentes en pavimentos antiguos, en los cuales se hallan constituyendo capas asfálticas de rodadura, y capas de bases asfálticas o capas de bases granulares, material granular o alguna combinación de ellos.

Estos agregados se emplearán como parte del material que se utilizará en la construcción de nuevas bases recicladas con procesos de mezclado con emulsiones asfálticas, las cuales serán colocadas sobre las capas subyacentes del pavimento antiguo, en cumplimiento de las disposiciones contractuales y con las alineaciones, pendientes y secciones transversales constantes en los planos del contrato.

**Materiales.-** La trituración de la capa a recuperar se efectuará obligatoriamente mediante el empleo de un recuperador de caminos constituido por un tambor de puntas de carbono, de tungsteno o diamante, que permita obtener materiales con tamaños cercanos a los de una base granular. Su granulometría puede corregirse añadiéndose un nuevo agregado triturado en la cantidad necesaria.

Para rejuvenecer el asfalto adherido al material extraído de la capa de rodadura se empleará en la mezcla un agente suavizador o rejuvenecedor, que puede ser una emulsión de resinas de petróleo o azufre.

**Equipo.-** El contratista deberá disponer del equipo necesario cuyo estado, potencia y capacidad productiva garantice el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Si durante el transcurso de los trabajos el fiscalizador observa deficiencias o mal funcionamiento del equipo, ordenara su inmediata reparación o remplazo.

El equipo mínimo a utilizarse será: un recuperador mecánico, que desgarre y desmenuce el material existente, inyecte la emulsión, mezcle y lo deposite en la vía para el resto de las actividades de compactación y conformación, un tanquero para emulsión, motoniveladora, rodillos lisos tandem y rodillos neumáticos. Además, será necesario una distribuidora de agregados cuando se requiera adicionar material granular con el fin de cumplir con una de las fajas granulométricas especificadas.

#### **Procedimientos de trabajo.**

**Mezclado y distribución.** Se efectuará en el sitio. El Contratista previamente deberá preparar la fórmula de trabajo de acuerdo a los requerimientos del diseño y con la aprobación del Fiscalizador. La máquina distribuirá el material mezclado con emulsión sobre la vía en forma regular, iniciándose el proceso de compactación, luego el perfilado y por último la compactación final.

Cuando sea necesario añadir material granular, se lo realizará por medio de un distribuidor de agregados, en las cantidades indicadas en el diseño o fórmula maestra, previo al inicio del reciclado

**Compactación.** Inmediatamente después de haber quedado distribuida la mezcla se procederá con la compactación inicial con rodillo vibratorio. Luego se realizará una conformación superficial con motoniveladora para obtener una superficie regular y uniforme, de acuerdo con la alineación, gradiente y sección transversal especificada. Luego se realizará la compactación final con rodillos lisos y/o neumáticos.

En el caso en que se contemple colocar una capa de rodadura sobre la capa reciclada, será necesario dejar transcurrir el tiempo hasta que el porcentaje de humedad libre de la mezcla recuperada sea igual o menor al 1 %, previo al riego de adherencia. En el caso de que vaya a permanecer por un tiempo mayor sin protección será necesario colocar un sello asfáltico convencional, más aún si es temporada invernal.

**Extracción de los materiales.-** La recuperación de los materiales de la carpeta asfáltica de rodadura con o sin base se efectuará mediante el uso de un tractor, motoniveladora con un desgarrador o una fresadora. El material así obtenido podrá: 1) ser llevado a una planta de trituración primero y después a una planta asfáltica o ser llevado directamente a la planta asfáltica si su granulometría lo permite para ser mezclado con materiales vírgenes si se lo considera necesario y ser devueltos a la vía como una base asfáltica mezclada en planta en frío o una mezcla asfáltica mezclada en planta en frío para carpeta de rodadura; o 2) ser dejado en sitio y si se considera necesario se mezclará con materiales vírgenes, siguiendo el procedimiento constructivo normal de bases .

A fin de completar la cantidad de agregado necesario para la capa de base, de acuerdo con el diseño, se desgarrará a continuación el espesor necesario de la capa de base existente, y este material será recuperado y conducido a la instalación de mezclado en planta o acumulado fuera de la vía, en el caso de utilizar el procedimiento de mezclado en sitio.

**Tratamiento de las capas inferiores.-** Las capas del pavimento que quedarán en sitio deberán ser revisadas por el Fiscalizador, a fin de ordenar la ejecución de los trabajos que fueren necesarios, como conformación y compactación, antes de la colocación de la nueva capa de base reciclada.

**Mejoramiento de los agregados.-** El laboratorio realizará los estudios necesarios para determinar las proporciones a utilizarse de los materiales recuperados de la carpeta y de la base antiguas, a fin de obtener la granulometría requerida, la cual deberá ser chequeada antes y durante la distribución de la mezcla para la base en la vía.

En caso necesario, se podrá añadir a los dos tipos de agregados recuperados, un porcentaje de agregado nuevo, preparado con una granulometría que complete los requerimientos del diseño.

**Medición.-** Las cantidades a pagarse por la construcción de la capa recuperada con emulsión será el número de metros cúbicos de mezcla puesta en obra, compactada y aprobada por el fiscalizador, así como el número de litros de emulsión incorporados a la mezcla.

El cómputo de la cantidad de emulsión empleada se determinará por medición directa de la máquina. La cantidad de material que en algunos casos sea necesario añadir, se determinará sobre la base del volumen suelto real colocado.

**Pago.** Las cantidades determinadas, se pagarán a los precios señalados en el contrato para los rubros designados a continuación.

El pago efectuado y los precios contractuales constituirán la compensación total por el desgarramiento, recuperación, inyección, mezclado, colocación, conformación y compactación de la mezcla; así como también por la mano de obra, equipos, herramientas, tratamiento de materiales y operaciones conexas, en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

### **8.2.10 Bacheo Asfáltico Mayor**

**Descripción.-** Cuando así lo establezca en el proyecto o lo determine el ingeniero fiscalizador, se realizara la reparación de las fallas mayores en el pavimento y en las capas de base, subbase y subrasante, trabajo que consistirá en el suministro, transporte y colocación de material bituminoso y/o hormigón asfáltico, para la reparación de superficies pavimentadas a nivel de la estructura del pavimento, para corregir baches, depresiones, roturas de borde y otros peligros potenciales de la calzada y espaldones, para así obtener una superficie de rodadura lisa con debido soporte estructural.

**Materiales.-** La imprimación será realizada con asfalto diluido tipo RC 250, los agregados y hormigón asfáltico deberán cumplir con las “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes”.

**Equipo.-** El contratista deberá dedicar a este trabajo todo el equipo adecuado necesario para la debida y oportuna ejecución de los mismos. El equipo deberá ser mantenido en optimas condiciones de funcionamiento, debiendo constar como mínimo de: un camión volquete, un rodillo, una planta asfáltica, herramientas de mano y de ser necesario una terminadora de concreto asfáltico.

## **Procedimiento de Trabajo.-**

- Colocar señales y elementos de seguridad.
- Verificar que la mezcla a emplear cumpla con las especificaciones y este en buenas condiciones de trabajabilidad.
- Marcar y cuadrar el área a bachear hasta llegar a una superficie firme, cuidando de dejar las paredes verticales. Esta área estar completamente seca. Extraer todo el material suelto incluyendo la base y subbase si es necesario, y compactar estas capas.
- Verificar que el material para reponer la base y subbase sea el especificado y tenga la humedad necesaria.
- Depositar el material de base y subbase y compactar conforme a las especificaciones.
- Imprimir el área con un distribuidor a presión y con el asfalto caliente a la temperatura de aplicación, en una cantidad suficiente para no formar charcos, pero si para cubrir en forma pareja toda el área.
- Depositar la mezcla asfáltica en capas de espesor uniforme, especialmente en las esquinas y junto a las paredes. Úsese un rastrillo para eliminar las posibles acumulaciones de piedras que se produzcan por segregación.
- Compactar cada capa desde los bordes hacia el centro, superponiendo la llanta metálica del rodillo en cada pasada. Verificar que la superficie reparada este a nivel con la circundante.

**Medición.-** Serán los metros cúbicos medidos en obra después de la compactación, la mezcla del espesor existente en la vía, efectivamente ejecutados y aceptados de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales.

**Pago.-** este precio y pago constituirá la compensación total por la reparación de la superficie a bachearse; la producción y suministro de agregados; el suministro del material bituminoso; la dosificación y mezclado de los materiales; la distribución, conformación y compactación del hormigón asfáltico en los baches; así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

### 8.3 Rehabilitación y Mejora Estructural

<b>REHABILITACION Y MEJORA ESTRUCTURAL</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Bacheo Asfáltico Mayor	m3	12	136,52	1.638,20
Fresado de Pavimento Asfáltico	m3	485	12,91	6.259,56
Asfalto para Riego de Adherencia	lt	2.910	0,52	1.524,18
Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm	m2	9.700	5,45	52.821,24
Transporte de mezcla asfáltica para capa de rodadura	m3*km	24.250	0,30	7.315,79
Transporte de mezcla asfáltica para saneo profundo	m3*km	600	0,30	181,01
<b>TOTAL</b>				<b>69.739,99</b>

Tabla 8.3: Presupuesto – Rehabilitación y Mejora Estructural

#### 8.4 Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficie

<b>REHABILITACION Y MEJORA DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Capa de Base recuperada con Emulsión Asfáltica	m3	485	11,99	5.813,64
Asfalto para Riego de Adherencia	lt	2.910	0,52	1.524,18
Capa de base de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm	m2	9.700	5,45	52.821,24
Transporte de mezcla asfáltica para capa de rodadura	m3*km	24.250	0,30	7.315,79
<b>TOTAL</b>				<b>67.474,86</b>

Tabla 8.4: Presupuesto – Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficie

### 8.5 Rehabilitación y Mejora de la Adherencia

<b>REHABILITACION Y MEJORA DE LA ADHERENCIA</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Capa de Base recuperada con Emulsión Asfáltica	m3	48,5	11,99	581,36
Sellado de Fisuras Superficiales	m	3.880	0,38	1.470,42
Bacheo Asfáltico Menor	m3	8	128,18	1.025,47
Slurry- Seal	m2	9.700	1,53	14.822,99
<b>TOTAL</b>				<b>17.900,24</b>

Tabla 8.5: Presupuesto – Rehabilitación y Mejora de la Adherencia

## 8.6 Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial

REHABILITACION Y MEJORA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Capa de Base recuperada con Emulsión Asfáltica	m3	48,5	11,99	581,36
Sellado de Fisuras Superficiales	m	3.880	0,38	1.470,42
Bacheo Asfáltico Menor	m3	8	128,18	1.025,47
Micropavimento( Tipo II emulsión CQS Polímeros 3 % SBR)	m2	9.700	2,50	24.269,62
<b>TOTAL</b>				<b>27.346,87</b>

Tabla 8.6: Presupuesto - Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial (Micropavimento- Polímero 3%)

REHABILITACION Y MEJORA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
Capa de Base recuperada con Emulsión Asfáltica	m3	48,5	11,99	581,36
Sellado de Fisuras Superficiales	m	3.880	0,38	1.470,42
Bacheo Asfáltico Menor	m3	8	128,18	1.025,47
Micropavimento( Tipo II emulsión CQS Polímeros 4 % SBR)	m2	9.700	2,80	27.151,63
<b>TOTAL</b>				<b>30.228,88</b>

Tabla 8.7: Presupuesto - Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial (Micropavimento- Polímero 4%)

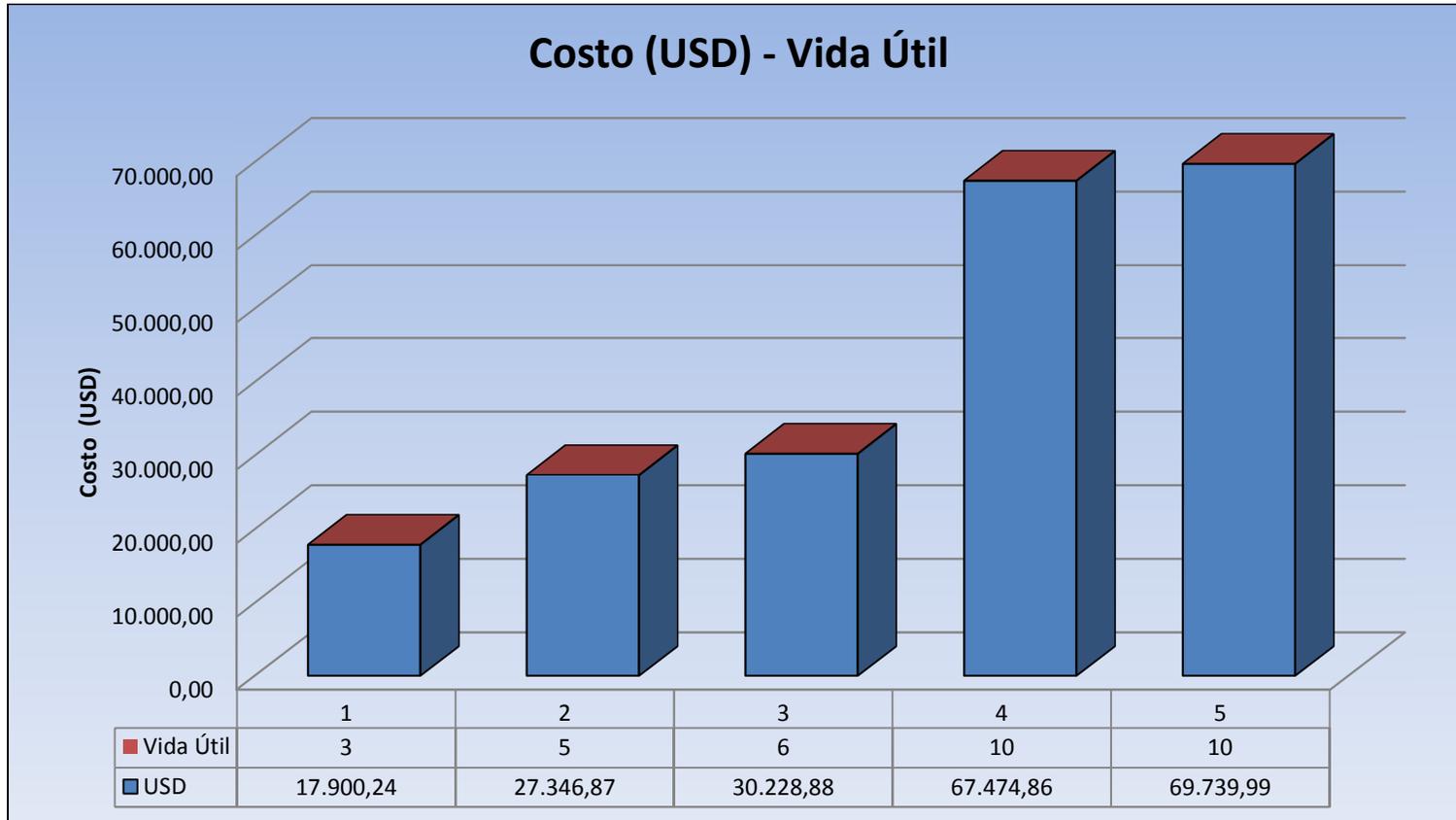
**8.7 Cuadros Comparativos entre los Diferentes Métodos.**

<b>ANALISIS DE COSTOS</b>			
<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo/km</b>	<b>Vida Útil</b>
1	REHABILITACION Y MEJORA DE LA ADHERENCIA	17.900,242	3
2	REHABILITACION Y MEJORA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL (Micropavimento 3% Polímero)	27.346,872	5
3	REHABILITACION Y MEJORA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL (Micropavimento 4% Polímero)	30.228,877	6
4	REHABILITACION Y MEJORA DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL	67.474,858	10
5	REHABILITACION Y MEJORA ESTRUCTURAL	69.739,985	10

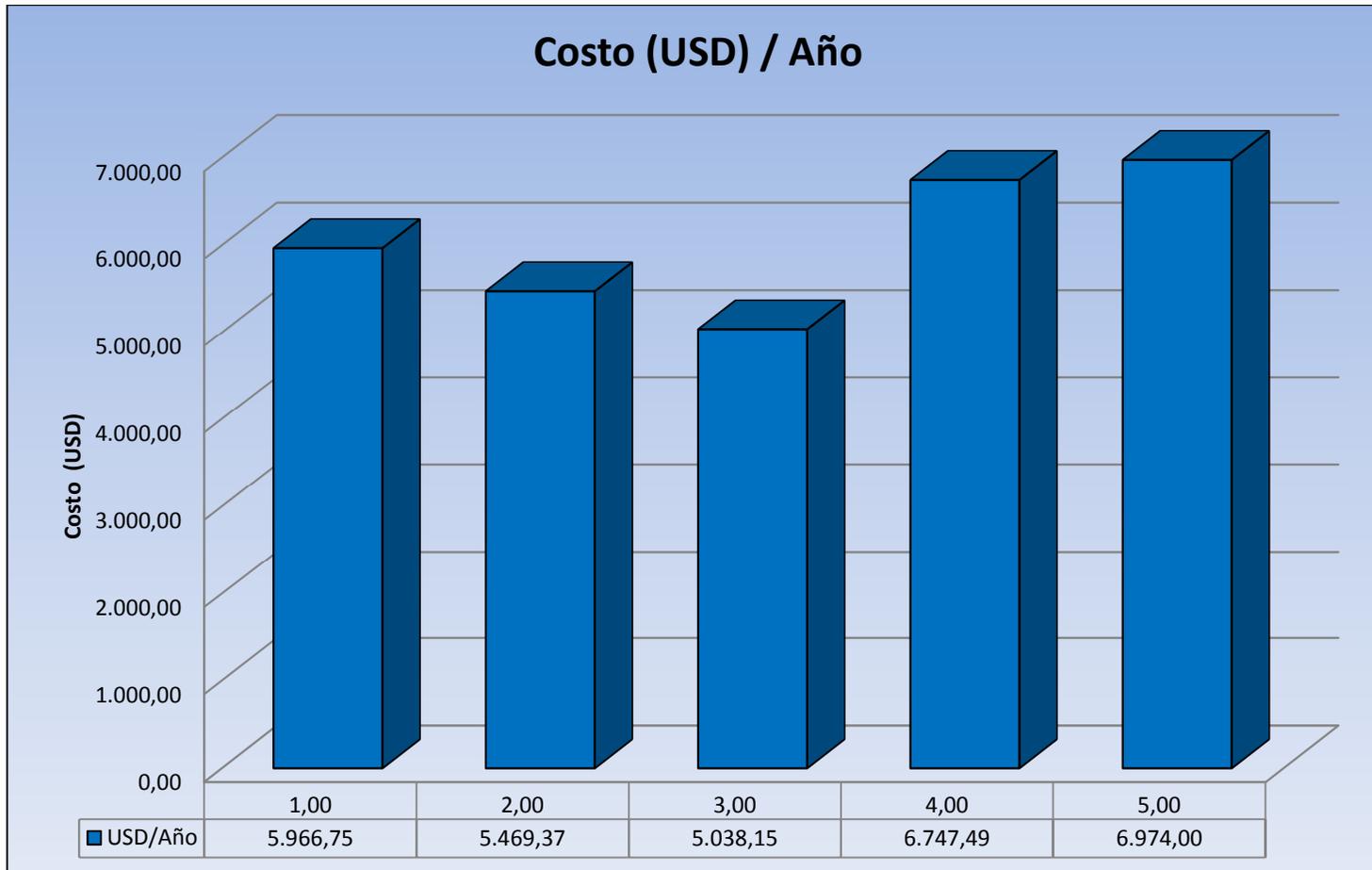
Tabla 8.8: Costos de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento.



Cuadro 8.1: Costos de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento.



Cuadro 8.2: Vida Útil de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento.



Cuadro 8.3: Costo Anual de los diferentes métodos para la Conservación del Pavimento.

Para la aplicación de micropavimentos se deberá considerar como porcentaje mínimo un 3% de polímero SBR, lo cual no significa que sea un porcentaje óptimo, sino que asegura un desgaste permisible de la mezcla asfáltica.

Al colocar un 4 % de polímero SBR en la mezcla asfáltica, disminuimos el costo anual e incrementamos la vida útil del pavimento, considerándose como una mejor alternativa a ser empleada.

### **8.8 Intervención de Recursos Disponibles.**

Los administradores viales deberán establecer políticas de mantenimiento vial por medio de indicadores. Los mismos que posibilitarán conocer las condiciones y estado de servicio en que se encuentra su sistema vial.

En función de las políticas, objetivos y disponibilidad de recursos, podrán planificar los trabajos de mantenimiento a efectuar con el propósito de mantener niveles de servicio adecuados. El no prever una anticipada rehabilitación vial originará daños tanto estructurales como funcionales, representando mayores costos de reparación a largo plazo.

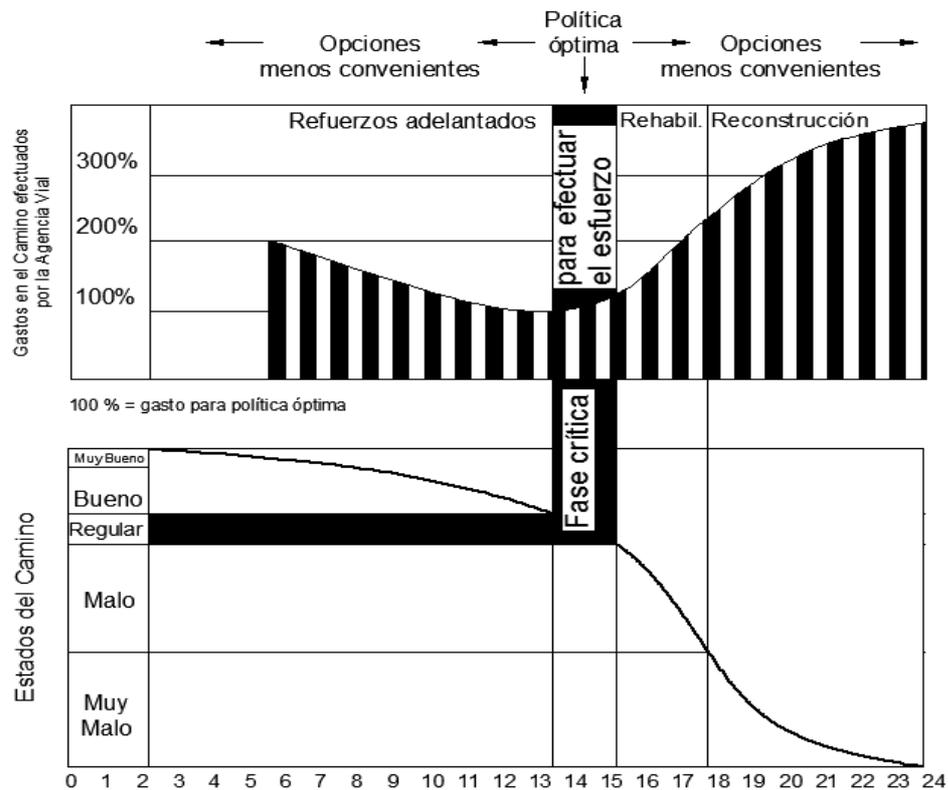
La curva de deterioro de los caminos inicia en un punto alto, como resultado del muy buen estado del camino nuevo después de su construcción inicial; luego desciende gradualmente, hasta llegar a un punto bajo, manifestando el pésimo estado del camino deteriorado.<sup>11</sup>

Los administradores viales normalmente intervienen antes del deterioro total del camino, ya sea renovando la superficie o, si es demasiado tarde, mediante su rehabilitación o reconstrucción.

Después de efectuarse esta intervención, el camino vuelve a ser muy bueno, hecho que queda expresado por una subida abrupta de la curva, hasta un nivel alto. Con el transcurrir del tiempo, todo el proceso se repite, y la curva toma la forma de una sierra invertida, en la cual los dientes representan las intervenciones que devuelven el camino a un mejor estado.

---

<sup>11</sup> "Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales", Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.



Cuadro 8.4: Curva de deterioro del camino - Gastos efectuados (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.)

La mejor política de intervención de recursos se da cuando el camino se encuentra en un estado regular, porque a largo plazo los costos para mejorar el estado del camino son los más bajos.

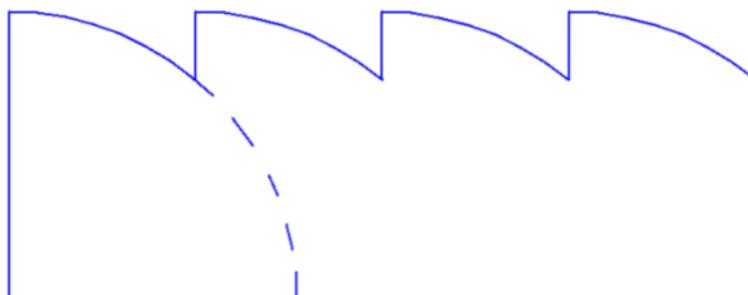


Figura 8.1: Ciclo Tipo de Conservación (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.)

En cambio, si la política es rehabilitar el camino cuando pasa del estado malo al estado muy malo, los costos a largo plazo son alrededor de 2,5 veces más altos que en el caso de la política óptima.

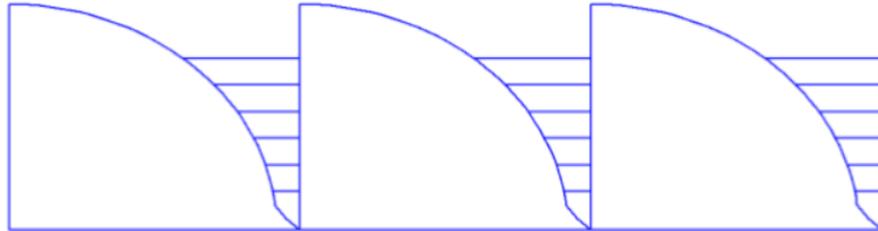


Figura 8.2: Ciclo de Reconstrucción (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.)

- **Rehabilitación y Mejora Estructural:**

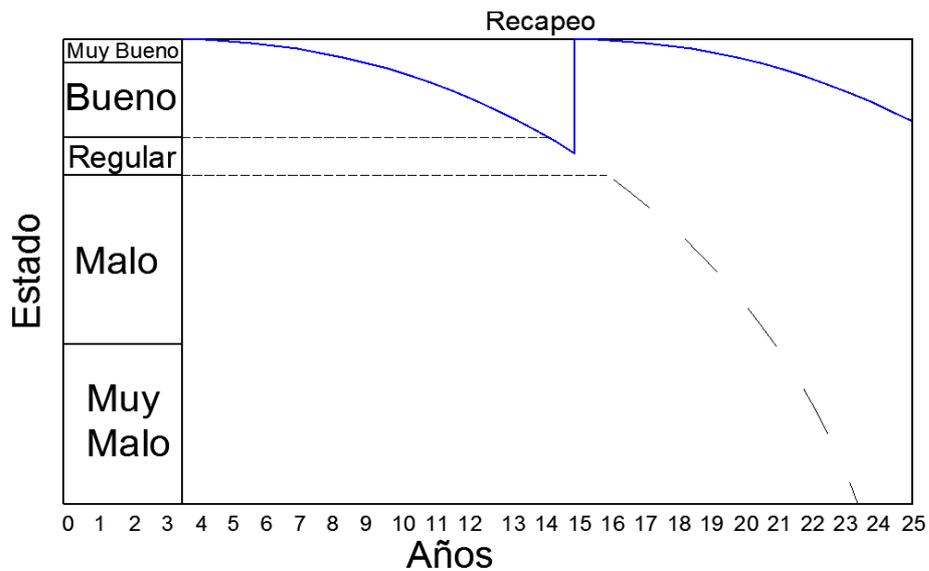


Figura 8.3: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora Estructural

Al aplicarse una rehabilitación y mejora estructural mediante un Recapeo, estamos recuperando el estado del camino a un nivel “Muy Bueno”, extendiendo su tiempo de servicio a 10 años, antes de ser intervenido nuevamente.

### Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficial:

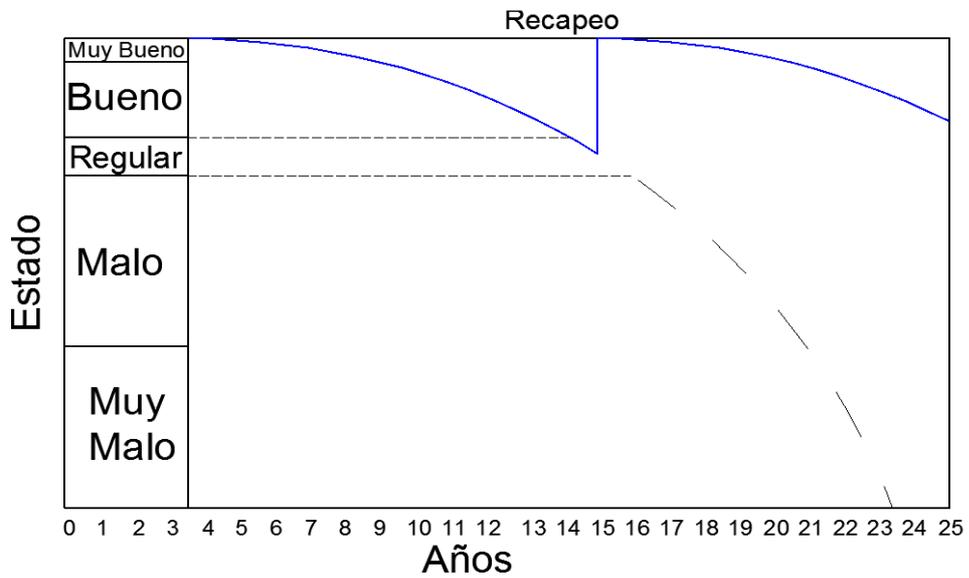


Figura 8.4: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficial

Al aplicarse una rehabilitación y mejora de la integridad superficial mediante un Reciclado de la Carpeta Asfáltica, estamos recuperando el estado del camino a un nivel “Muy Bueno”, extendiendo su tiempo de servicio a 10 años, antes de ser intervenido nuevamente.

- **Rehabilitación y Mejora de la Adherencia**

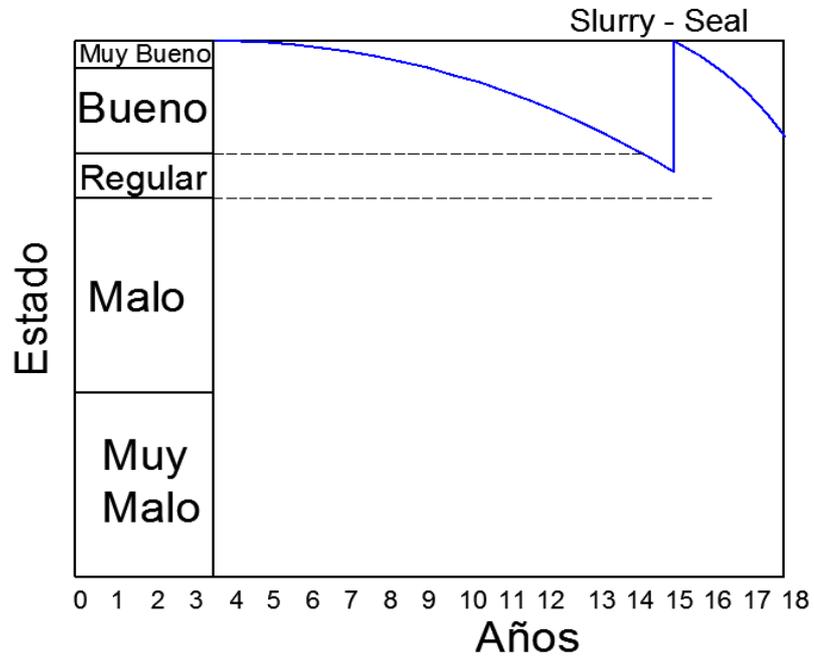


Figura 8.5: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Adherencia

Al aplicarse una rehabilitación y mejora de la adherencia mediante la aplicación de un Mortero Asfáltico, estamos recuperando el estado del camino a un nivel "Muy Bueno", extendiendo su tiempo de servicio a 3 años, antes de ser intervenido nuevamente.

- **Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial**

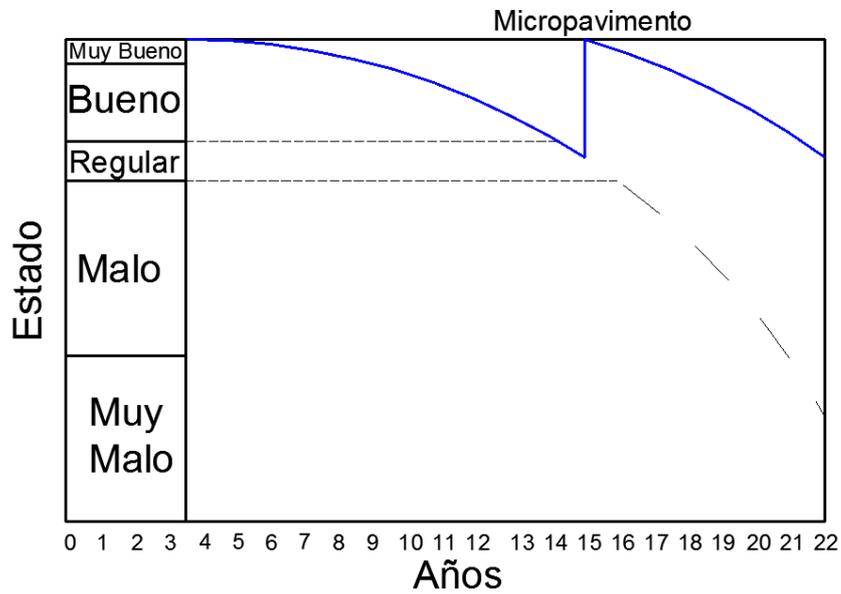


Figura 8.6: Estado de la vía al aplicar una Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial

Al aplicarse una rehabilitación y mejora de la regularidad superficial mediante la aplicación de un Micropavimento, estamos recuperando el estado del camino a un nivel “Muy Bueno”, extendiendo su tiempo de servicio a 5 - 7 años, antes de ser intervenido nuevamente.

## 8.9 Estado del Camino.<sup>12</sup>

Un camino a lo largo de su vida útil, atraviesa diferentes etapas, considerando “Muy Bueno” aquel estado en que el camino presenta características muy aptas, similares a las de un pavimento recién construido. Por otro lado, el estado “Muy Malo” representa una reconstrucción total del camino, lo cual los administradores viales deben evitar.

**“Muy Bueno”** es al mismo tiempo “muy apto” para servir al usuario que quiere transitar con su vehículo. La calidad del camino sigue siendo la misma que tenía cuando estaba nuevo. Por este motivo, su valor es igual al valor de un camino nuevo de iguales características. Si un camino no es nuevo pero se encuentra en “muy buen” estado, ello puede obedecer al escaso uso que se le ha dado, o bien a la excelente conservación de que ha sido objeto, o a ambas cosas al mismo tiempo.

**“Bueno”** representa caminos pavimentados, en su mayor parte libres de defectos, que sólo requieren un mantenimiento de rutina y quizás un tratamiento superficial. Caminos sin pavimentar que necesitan sólo nivelación rutinaria y reparaciones localizadas.

---

<sup>12</sup>“Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.

**“Regular”** representa caminos pavimentados que presentan defectos y reducción de su capacidad estructural. Requieren renovación o refuerzo de la superficie, sin necesidad de demoler la estructura existente.

Caminos sin pavimentar, que requieren un re-perfilado o una renovación de la superficie y una reparación del drenaje en algunos lugares. Tiene una aptitud reducida para servir al usuario, pues las deficiencias que presenta dificultan su uso y lo hacen más costoso. En consecuencia, un camino clasificado como “regular” tiene menos valor que el camino clasificado como “muy bueno”.

La diferencia de valor entre ambos caminos corresponde al costo que supone mejorar el camino “regular”, para que vuelva a quedar “muy bueno” y pueda resistir el tránsito por algunos años más. Para conseguir este objetivo, suele ser suficiente renovar o reforzar la superficie y practicar otros trabajos menores.

**“Malo”** representa caminos pavimentados que presentan defectos de estructura y que requieren rehabilitación inmediata, previa demolición parcial de los tramos deficientes. Caminos sin pavimentar que requieren rehabilitación y trabajos de drenaje.

**“Muy malo”** representa caminos pavimentados que presentan graves defectos en la estructura y que requieren una reconstrucción, previa demolición de una gran parte de la estructura existente. Caminos sin pavimentar que requieren obras de reconstrucción e importantes trabajos de drenaje. Tiene una aptitud muy reducida para servir al usuario.

Su grado de deterioro es tal que los vehículos transitan con dificultad y a un costo muy elevado, por lo que el valor del mismo es mucho menor que el del camino clasificado como “muy bueno”. La diferencia de valor entre los dos caminos corresponde al costo que supone mejorar el camino “muy malo”, para que vuelva a ser “muy bueno”. Esto normalmente implica la rehabilitación o la reconstrucción completa del camino, a un costo cercano al de un camino completamente nuevo.

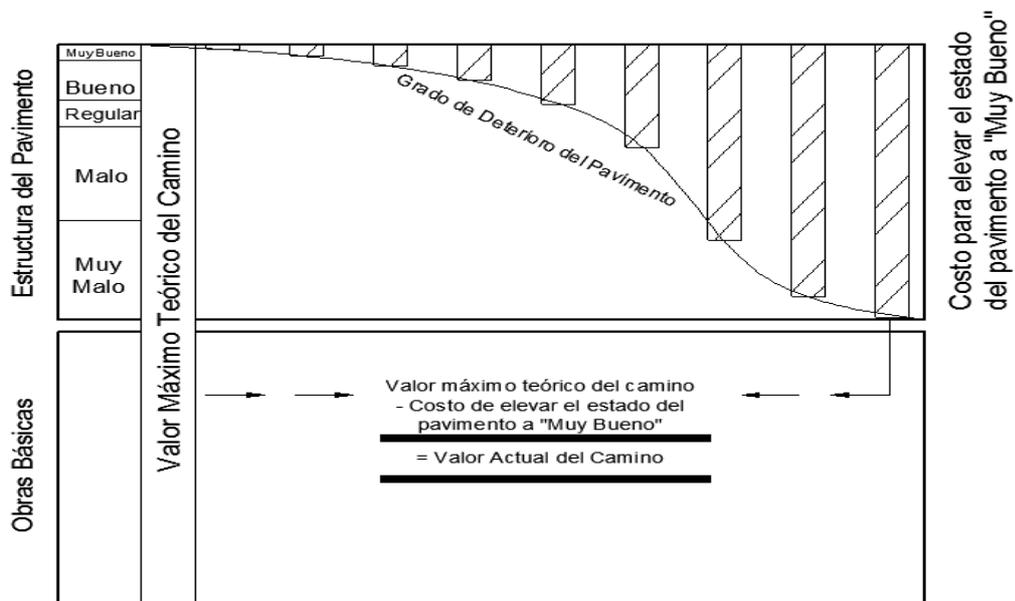


Figura 8.7: Estados del Camino (Fuente: Caminos un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales”, Andreas Schliessler, Santiago de Chile 1994.)

### 8.10 Patrimonio Nacional de Caminos.

El Patrimonio de Caminos es el conjunto de toda la infraestructura vial, de la cual se esperan beneficios para las generaciones actuales y futuras. El valor del patrimonio vial puede ser calculado en términos monetarios.

En el presente proyecto se ha considerado el cálculo del Valor Actual del tramo vial que conecta Quito (“El Trébol”) con el Valle de los Chillos (“San Rafael”). Se tomará como referencia los siguientes tipos de rehabilitación vial para realizar un análisis comparativo de costos.

**Valor Unitario Nuevo:** Para la construcción de una vía nueva se tomará un valor referencial de \$ 1'466.102,67 por kilómetro, obtenido en base a presupuestos presentados en diversos proyectos.

<b>PROYECTO</b>	<b>PRESUPUESTO (USD)</b>	<b>LONGITUD (km)</b>	<b>COSTO / KM (USD)</b>
Vía Portoviejo – Crucita Tramo: Portoviejo – Cruz Verde	13'205.388,77	14,17	931.925,81
Ampliación Colibrí - Pifo – Cusubamba	95'745.415,02	53	1'806.517,26
Ampliación Jambelí – Latacunga – Ambato	149'387.845,83	90	1'659.864,95
	<b>PROMEDIO</b>		<b>1'466.102,67</b>

Tabla 8.9: Costo Referencial de la construcción de 1 km de Vía

Mes	Sentido Quito-Valle				Sentido Valle-Quito				Tele Peaje	Total
	Livianos	Medianos	Pesados	Subtotal	Livianos	Medianos	Pesados	Subtotal		
Enero	519,678	80,652	4,572	604,902	552,662	84,501	4,912	642,075	253,143	1.500,120
Febrero	508,160	75,974	4,525	588,659	503,300	75,102	4,901	583,303	250,112	1.422,074
Marzo	569,530	76,291	4,995	650,816	531,901	81,014	6,001	618,916	271,671	1.541,403
Abril	322,101	59,675	3,912	385,688	324,512	54,502	4,901	383,915	168,777	938,380
Mayo	486,018	74,076	4,635	564,729	491,556	75,912	4,997	572,465	248,002	1.385,196
Junio	525,712	75,602	4,596	605,910	537,224	76,303	3,901	617,428	281,401	1.504,739
Julio	526,744	77,012	4,987	608,743	544,103	80,513	5,915	630,531	293,612	1.532,886
Agosto	504,986	75,101	4,412	584,499	512,914	84,912	5,814	603,640	269,232	1.457,371
Septiembre	496,801	78,901	5,801	581,503	517,997	83,203	5,499	606,699	298,242	1.486,444
Octubre	537,106	84,804	5,984	627,894	535,432	85,201	5,991	626,624	333,621	1.588,139
Noviembre	522,450	78,213	5,912	606,575	522,923	84,043	5,905	612,871	325,522	1.544,968
Diciembre	557,097	81,112	5,935	644,144	569,992	85,331	6,098	661,421	339,901	1.645,466
TA	6.076,383	917,413	60,266	7.054,062	6.144,516	950,537	64,835	7.159,888	3.333,236	17.547,186
TPDA	16.648	2.513	165.112	19,326	16.834	2.604	177.630	19,616	9,132	48,074

Tabla 8.10: Tráfico Promedio Diario Anual (Fuente: Reporte de Tráfico, Autopista General Rumiñahui 2011)

INFORMACIÓN BÁSICA DEL CAMINO							VALOR MÁXIMO TEORICO	
N° de Ident. Tramo	Tipo de Rehabilitación	Identificación Tramo		Longitud Pavim. (km)	Tipo de Camino	Volumen de Tránsito (TPDA)	Valor unit. Nuevo (US\$/km)	Valor Tramo nuevo (US\$)
		Desde	Hasta					
1	Rehabilitación y Mejora de la Adherencia	Trébol	San Rafael	11,73	Asfaltado	48074	\$ 1.466.102,67	\$ 51.592.152,96
2	Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial	Trébol	San Rafael	11,73	Asfaltado	48074	\$ 1.466.102,67	\$ 51.592.152,96
3	Rehabilitación y Mejora de la Regularidad Superficial	Trébol	San Rafael	11,73	Asfaltado	48074	\$ 1.466.102,67	\$ 51.592.152,96
4	Rehabilitación y Mejora Estructural	Trébol	San Rafael	11,73	Asfaltado	48074	\$ 1.466.102,67	\$ 51.592.152,96
5	Rehabilitación y Mejora de la Integridad Superficial	Trébol	San Rafael	11,73	Asfaltado	48074	\$ 1.466.102,67	\$ 51.592.152,96

Tabla 8.11: Valor Actual del Tramo Quito (“El Trébol”) – Valle de los Chillos (“San Rafael”).

.....continuación Tabla 8.11

VALOR MÍNIMO PERMISIBLE			DEFICIENCIA DE LOS TRAMOS			RESULTADO
Estado mín. Permissible	Valor mín. Permissible* (US\$/km)	Valor mín. Permissible Tramo (US\$)	Estado Actual Real	Valor Unitario Deficiencia** (US\$/km)	Valor Deficiencia del Tramo (US\$)	Valor Actual del Tramo (US\$)
Regular	\$ 113.000,00	\$ 5.301.960,00	Bueno	\$ 17.900,24	\$ 629.909,45	\$ 50.962.243,51
Regular	\$ 113.000,00	\$ 5.301.960,00	Bueno	\$ 27.346,87	\$ 962.336,36	\$ 50.629.816,60
Regular	\$ 113.000,00	\$ 5.301.960,00	Bueno	\$ 30.228,88	\$ 1.063.754,29	\$ 50.528.398,67
Regular	\$ 113.000,00	\$ 5.301.960,00	Bueno	\$ 69.739,99	\$ 2.454.150,25	\$ 49.138.002,71
Regular	\$ 113.000,00	\$ 5.301.960,00	Bueno	\$ 67.474,86	\$ 2.374.440,32	\$ 49.217.712,63

Tabla 8.11: Valor Actual del Tramo Quito (“El Trébol”) – Valle de los Chillos (“San Rafael”).

\* Valor mínimo permisible, corresponde al valor por kilómetro para el tipo de camino que se trate, en el estado mínimo permisible.

\*\* Valor unitario de Deficiencia, corresponde al costo unitario por kilómetro para elevar la calidad del camino a la categoría “muy bueno” (Valores provenientes de la Tabla 8.8).



Cuadro 8.5: Valor Actual del Tramo Quito (“El Trébol”) – Valle de los Chillos (“San Rafael”).

Con esto queda demostrado que una oportuna intervención por parte de los Administradores Viales para rehabilitar nuestras carreteras y recuperar su estado a un nivel “Muy Bueno”, mediante la aplicación de un Micropavimento modificado con Polímeros SBR, reduce los costos de Operación y Mantenimiento en USD 40.128 frente a una rehabilitación y mejora estructural del pavimento, siendo este el escenario mas desfavorable.

# **CAPITULO IX**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

En este capítulo se presentarán las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y culminación de este proyecto de tesis, las conclusiones presentadas se harán en base a los resultados obtenidos y así poder establecer un análisis comparativo entre la aplicación de emulsiones modificadas y emulsiones sin modificar.

### **9.1 Conclusiones.**

#### **9.1.1 Agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio.**

##### **9.1.1.1 Cantera de Guayllabamba:**

- El agregado presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión de 30,70%, valor permisible según lo recomendado por la norma ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 30% de desgaste, por lo tanto este agregado puede ser utilizado para el diseño de un micropavimento.
- En el ensayo de equivalente de arena se obtuvo un valor de 81,00%, cuyo resultado es mayor al mínimo recomendado en la norma ISSA A – 143, la cual establece un valor de 65%.
- En el ensayo de azul de metileno sobre el agregado se obtuvo un valor de 4 mgr/gr, por lo cual este tipo de agregado es considerado como poco reactivo.

- Al realizar el ensayo de plasticidad (ASTM D 4318-00), no se pudo determinar la plasticidad del agregado, por lo cual se puede considerar como un material no plástico.
- Al determinar la granulometría el porcentaje pasante por el tamiz N° 100 dio 9,39% valor permisible, según lo recomendado por la norma ISSA A – 143, la cual establece un valor mínimo del 10%.

		<i>Material</i>			<i>Especificaciones ISSA</i>	
		<i>Retenido Acumulado</i>		<i>Pasante</i>		
<i>Tamiz</i>	<i>(mm)</i>	<i>(gr)</i>	<i>(%)</i>	<i>(%)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	52,581	3,16	96,84	90	100
N°8	2,36	463,9575	27,85	72,15	65	90
N°16	1,18	808,352	48,53	51,47	45	70
N°30	0,60	1093,4588	65,65	34,35	30	50
N°50	0,30	1340,6745	80,49	19,51	18	30
N°100	0,15	1509,299	90,61	9,39	10	21
N°200	0,075	1573,623	94,47	5,53	5	15
		1665,672	100,00			

Tabla 9.1: Granulometría Guayllabamba.

- Mediante la clasificación SUCS se determino un suelo tipo SP SM, la cual corresponde a una arena mal graduada con limo.

### 9.1.1.2 Cantera de San Antonio:

- El agregado presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión de 33,80%, valor permisible según lo recomendado por la norma ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 30% de desgaste, por lo tanto este agregado puede ser utilizado para el diseño de un micropavimento.
- En el ensayo de equivalente de arena se obtuvo un valor de 88,00%, cuyo resultado es mayor al mínimo recomendado en la norma ISSA A – 143, la cual establece un valor de 65%.
- En el ensayo de azul de metileno sobre el agregado se obtuvo un valor de 12 mgr/gr, por lo cual este tipo de agregado es considerado como muy reactivo.
- Al realizar el ensayo de plasticidad (ASTM D 4318-00), no se pudo determinar la plasticidad del agregado, por lo cual se puede considerar como un material no plástico.
- Al determinar la granulometría el porcentaje pasante por el tamiz N<sup>o</sup> 4 dio 89,66%, el porcentaje pasante por el tamiz N<sup>o</sup> 50 dio 31,20% valores permisibles, según lo recomendado por la norma ISSA A – 143.

		<i>Material</i>			<i>Especificaciones ISSA</i>	
		<i>Retenido Acumulado</i>		<i>Pasante</i>		
<i>Tamiz</i>	<i>(mm)</i>	<i>(gr)</i>	<i>(%)</i>	<i>(%)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
3/8	9,50	0	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	223,2255	10,34	89,66	90	100
N°8	2,36	604,775	28,00	72,00	65	90
N°16	1,18	960,7775	44,49	55,51	45	70
N°30	0,60	1201,831	55,65	44,35	30	50
N°50	0,30	1485,8065	68,80	31,20	18	30
N°100	0,15	1749,2185	81,00	19,00	10	21
N°200	0,075	1996,693	92,46	7,54	5	15
		2159,557	100,00			

Tabla 9.2: Granulometría San Antonio

- Mediante la clasificación SUCS se determino un suelo tipo SP SM, la cual corresponde a una arena mal graduada con limo.

Caracterización del Agregado		
Ensayo	Guayllabamba	San Antonio
Gravedad Especifica (ASTM C-128)	2,65 gr/cm <sup>3</sup>	2,69 gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de Arena (ASTM D-2419)	81,00%	88,00%
Absorción de Azul de Metileno (ISSA TB-145)	4 mgr/gr	12 mgr/gr
Abrasión (AASHTO T 96-77)	30,70%	33,80%
Plasticidad (ASTM D 4318-00)	Material No Plástico	Material No Plástico

Tabla 9.3: Resultados caracterización de los Agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio

### 9.1.2 Emulsión Asfáltica CQS sin modificar.

- La emulsión CQS sin modificar presenta un contenido de asfalto residual del 61,09%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143.
- Se determino en el ensayo de Viscosidad Saybolt Furol un valor de 22,43 segundos, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 20 a 100 segundos.
- La emulsión CQS sin modificar presenta un valor de penetración en el residuo de 54 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 40 a 90 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- En el ensayo de Carga de Partícula, se obtuvo una emulsión del tipo catiónica, correspondiente a lo que establece la ISSA A – 143.
- En el ensayo de Asentamiento se obtuvo un valor de 1,84% a los cinco días de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 5%.
- En el ensayo de Estabilidad se obtuvo un valor de 0,37% a las 24 horas de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 1%.

- La emulsión CQS sin modificar presenta un punto de reblandecimiento promedio de 58,25 °C, con lo que se puede concluir que cumple con lo recomendado en la Norma ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de tamaño de partícula usando el tamiz N°20 un valor de 0,0033%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D 6933-08, el cual es de 0,1%, lo que nos garantiza que no van a existir problemas en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.
- Se determinó en el ensayo de Ductilidad una deformación de 15,25 cm.
- En el ensayo de Recuperación Elástica se obtuvo un valor de 1%.

### **9.1.3 Emulsión Asfáltica CQS con 1% de Polímero.**

- La emulsión CQS con 1% de polímero presenta un contenido de asfalto residual del 61,19%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de Viscosidad Saybolt Furol un valor de 22,80 segundos, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 20 a 100 segundos.
- La emulsión CQS con 1% de polímero presenta un valor de penetración en el residuo de 51,20 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 40 a 90 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- En el ensayo de Carga de Partícula, se obtuvo una emulsión del tipo catiónica, correspondiente a lo que establece la ISSA A – 143.

- En el ensayo de Asentamiento se obtuvo un valor de 1,94% a los cinco días de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 5%.
- En el ensayo de Estabilidad se obtuvo un valor de 0,42% a las 24 horas de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 1%.
- La emulsión CQS con 1% de polímero presenta un punto de reblandecimiento promedio de 61,63 °C, con lo que se puede concluir que cumple con lo recomendado en la Norma ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de tamaño de partícula usando el N°20 un valor de 0,004%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D 6933-08, el cual es de 0,1%, lo que nos garantiza que no van a existir problemas en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.
- Se determinó en el ensayo de Ductilidad una deformación de 19,50 cm.
- En el ensayo de Recuperación Elástica se obtuvo un valor de 1,50%.

#### **9.1.4 Emulsión Asfáltica CQS con 2% de Polímero.**

- La emulsión CQS con 2% de polímero presenta un contenido de asfalto residual del 60,93%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de Viscosidad Saybolt Furol un valor de 23,00 segundos, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 20 a 100 segundos.

- La emulsión CQS con 2% de polímero presenta un valor de penetración en el residuo de 49,60 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 40 a 90 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- En el ensayo de Carga de Partícula, se obtuvo una emulsión del tipo catiónica, correspondiente a lo que establece la ISSA A – 143.
- En el ensayo de Asentamiento se obtuvo un valor de 2,00% a los cinco días de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 5%.
- En el ensayo de Estabilidad se obtuvo un valor de 0,42% a las 24 horas de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 1%.
- La emulsión CQS con 2% de polímero presenta un punto de reblandecimiento promedio de 67,63 °C, con lo que se puede concluir que cumple con lo recomendado en la Norma ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de tamaño de partícula usando el tamiz N°20 un valor de 0,0037%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D 6933-08, el cual es de 0,1%, lo que nos garantiza que no van a existir problemas en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.
- Se determinó en el ensayo de Ductilidad una deformación de 21,75 cm.
- En el ensayo de Recuperación Elástica se obtuvo un valor de 3,00%.

### **9.1.5 Emulsión Asfáltica CQS con 3% de Polímero.**

- La emulsión CQS con 3% de polímero presenta un contenido de asfalto residual del 61,17%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de Viscosidad Saybolt Furol un valor de 23,20 segundos, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 20 a 100 segundos.
- La emulsión CQS con 3% de polímero presenta un valor de penetración en el residuo de 44,40 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 40 a 90 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- En el ensayo de Carga de Partícula, se obtuvo una emulsión del tipo catiónica, correspondiente a lo que establece la ISSA A – 143.
- En el ensayo de Asentamiento se obtuvo un valor de 2,12% a los cinco días de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 5%.
- En el ensayo de Estabilidad se obtuvo un valor de 0,43% a las 24 horas de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 1%.
- La emulsión CQS con 3% de polímero presenta un punto de reblandecimiento promedio de 68,75 °C, con lo que se puede concluir que cumple con lo recomendado en la Norma ISSA A – 143.

- Se determinó en el ensayo de tamaño de partícula usando el tamiz N°20 un valor de 0,004%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D 6933-08, el cual es de 0,1%, lo que nos garantiza que no van a existir problemas en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.
- Se determinó en el ensayo de Ductilidad una deformación de 22,00 cm.
- En el ensayo de Recuperación Elástica se obtuvo un valor de 3,50%.

#### **9.1.6 Emulsión Asfáltica CQS con 4% de Polímero.**

- La emulsión CQS con 4% de polímero presenta un contenido de asfalto residual del 61,15%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de Viscosidad Saybolt Furol un valor de 23,67 segundos, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 20 a 100 segundos.
- La emulsión CQS con 4% de polímero presenta un valor de penetración en el residuo de 42,20 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor de 40 a 90 décimas de milímetro a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- En el ensayo de Carga de Partícula, se obtuvo una emulsión del tipo catiónica, correspondiente a lo que establece la ISSA A – 143.
- En el ensayo de Asentamiento se obtuvo un valor de 2,40% a los cinco días de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 5%.

- En el ensayo de Estabilidad se obtuvo un valor de 0,44% a las 24 horas de reposo, valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, cuya norma establece un valor máximo de 1%.
- La emulsión CQS con 4% de polímero presenta un punto de reblandecimiento promedio de 72,50 °C, con lo que se puede concluir que cumple con lo recomendado en la Norma ISSA A – 143.
- Se determinó en el ensayo de tamaño de partícula usando tamiz N°20 un valor de 0,0043%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D 6933-08, el cual es de 0,1%, lo que nos garantiza que no van a existir problemas en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.
- Se determinó en el ensayo de Ductilidad una deformación de 24,75 cm.
- En el ensayo de Recuperación Elástica se obtuvo un valor de 5,50%.

### 9.1.7 Análisis comparativo entre Emulsiones CQS sin modificar y Emulsiones CQS con Polímero SBR.

Ensayo	Unidad	Emulsión sin polímero	Emulsión 1% Polímero	Emulsión 2% Polímero	Emulsión 3% Polímero	Emulsión 4% Polímero
% Asfalto Residual (ASTM D 6934 – 08 )	%	61,09	61,19	60,93	61,17	61,15
Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D 88 – 07)	seg.	22,43	22,80	23,00	23,20	23,67
Asentamiento (ASTM D 244-09)	%	1,84	1,94	2,00	2,12	2,40
Estabilidad (ASTM D 244-09)	%	0,37	0,42	0,42	0,43	0,44
Penetración (ASTM D 5 – 06)	mm/10	54,00	51,20	49,60	44,40	42,20
Reblandecimiento del Bitumen usando anillo y bola (ASTM D 36 – 06)	°C	58,25	61,63	67,63	68,75	72,50
Tamaño de partícula empleando el Tamiz N°20 (ASTM D 6933 – 08)	%	0,0033	0,0040	0,0037	0,0040	0,0043
Carga de Partícula (ASTM D 244-09)	Carga	Catiónica	Catiónica	Catiónica	Catiónica	Catiónica
Recuperación Elástica ASTM D 6084-06)	%	1,00	1,50	3,00	3,50	5,50
Ductilidad (ASTM D 113-07)	cm	15,25	19,50	21,75	22,00	24,75

Tabla 9.4: Resultados ensayos sobre la Emulsión Asfáltica CQS sin modificar y Emulsión Asfáltica CQS con Polímero.

- A medida que se coloca una mayor cantidad de polímero SBR en la emulsión, la viscosidad de ésta, aumenta de forma gradual y no tan significativa.
- Conforme se coloca una mayor cantidad de polímero SBR en la emulsión, la estabilidad de la misma a las 24 horas, aumenta de forma gradual y no tan significativa.
- A medida que se coloca una mayor cantidad de polímero SBR en la emulsión, el asentamiento de la misma a los 5 días, aumenta de forma gradual y no tan significativa.
- A razón de un incremento en el porcentaje de polímero SBR en la emulsión, el punto de reblandecimiento tiende a aumentar, siendo un indicativo de la tendencia del material a fluir en temperaturas elevadas cuando están en servicio.
- La penetración sobre el asfalto residual decrece a medida que se aumenta la cantidad de polímero SBR en la emulsión, esto se debe a la cohesión que brinda el polímero al ser utilizado.
- Valores inferiores a 0,1% en el ensayo de tamaño de partícula usando el tamiz No 20 garantiza que no exista problemas en el manejo y aplicación de la emulsión asfáltica.
- Debido a un incremento de polímero SBR en la emulsión, se presenta una mayor ductilidad.
- Debido a un incremento de polímero SBR en la emulsión, se presenta una mayor recuperación elástica.

## 9.1.8 Caracterización del micropavimento empleando agregados de la Cantera de Guayllabamba.

### 9.1.8.1 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica sin modificar

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual)	14,50%

Tabla 9.5: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 440 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 529,36 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.

- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 514,45 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 120 minutos de haber sido colocado el material.

#### **9.1.8.2 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 1% de Polímero SBR.**

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 1% polímero)	14,50%

Tabla 9.6: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 482 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.

- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 505,67 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 482,72 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 120 minutos de haber sido colocado el material.

#### **9.1.8.3 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 2% de Polímero SBR.**

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 2% polímero)	14,50%

Tabla 9.7: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 436 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 488,24 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 463,52 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 120 minutos de haber sido colocado el material.

#### 9.1.8.4 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 3% de Polímero SBR.

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 3% polímero)	14,50%

Tabla 9.8: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 452 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 468,50 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.

- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 426,62 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 30 minutos de haber sido colocado el material.

#### 9.1.8.5 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 4% de Polímero SBR.

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	10,00%
Emulsión CQS (62% asfalto residual + 4% polímero)	14,50%

Tabla 9.9: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 471 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 324,72 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 408,91 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 30 minutos de haber sido colocado el material.

### 9.1.9 Caracterización del micropavimento empleando agregados de la Cantera de San Antonio.

#### 9.1.9.1 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica sin modificar

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual)	15,50%

Tabla 9.10: Formulación para el Micropavimento sin emplear polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 625 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.

- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 564,55 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 538,74 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 300 minutos de haber sido colocado el material.

#### **9.1.9.2 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 1% de Polímero SBR.**

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 1% polímero)	15,00%

Tabla 9.11: Formulación para el Micropavimento empleando 1% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 600 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 516,20 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 506,33 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 240 minutos de haber sido colocado el material.

### 9.1.9.3 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 2% de Polímero SBR.

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 2% polímero)	15,00%

Tabla 9.12: Formulación para el Micropavimento empleando 2% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 640 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 505,01 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.

- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 487,14 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 60 minutos de haber sido colocado el material.

#### 9.1.9.4 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 3% de Polímero SBR.

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 3% polímero)	15,00%

Tabla 9.13: Formulación para el Micropavimento empleando 3% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 670 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 475,74 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 456,88 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 60 minutos de haber sido colocado el material.

#### **9.1.9.5 Micropavimento empleando Emulsión Asfáltica con 4% de Polímero SBR.**

- Con la formulación de trabajo obtenida, se garantiza la trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de su colocación en obra. Los porcentajes obtenidos para la formulación de trabajo son los siguientes:

Formulación para el Micropavimento	
Componente	Resultado
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	6,50%
Emulsión CQS (62% asfalto residual+ 4% polímero)	15,00%

Tabla 9.14: Formulación para el Micropavimento empleando 4% de polímero

- Se obtuvo un tiempo de mezcla de 652 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143, con lo cual se consigue una mezcla uniforme y un tiempo suficiente para la colocación de esta en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo se obtuvo un desgaste de 457,31 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que al ser tendido el micropavimento en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones máximas de desempeño, además se garantizará la vida útil estimada del micropavimento.
- En el ensayo de rueda cargada se obtuvo un desgaste de 441,75 gr/m<sup>2</sup>, menor a 538 gr/m<sup>2</sup>, máximo recomendado por la ISSA A – 143, lo cual nos indica que el micropavimento en obra resistirá las cargas de tránsito impuestas y no existirá exudación de asfalto.
- Mediante el ensayo de cohesión se pudo determinar que la apertura al tránsito se deberá realizar a los 30 minutos de haber sido colocado el material.

### **9.1.10 Análisis comparativo entre un Micropavimento sin modificar y un Micropavimento modificado con polímero.**

- A medida que se coloca una mayor cantidad de polímero SBR, los valores de cohesión tienden a aumentar permitiendo una apertura al tráfico más temprana.
- La utilización de polímeros en mezclas de micropavimentos permite reducir la susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos en la vía, permitiendo mayor durabilidad que un micropavimento sin la adición de polímero SBR por lo que se utilizan en proyectos de recuperación de ahuellamientos y repavimentación de vías de alto tráfico o vías ubicadas en zonas de altura.
- Las ventajas de un micropavimento modificado con polímeros SBR sobre un micropavimento sin la adición de polímeros son las siguientes:
  - Incrementa la durabilidad del pavimento en zonas de altura (reducción del envejecimiento por fatiga térmica.
  - Rápida apertura al tránsito ( se puede abrir a la hora de ser aplicada la mezcla)
  - Permite rellenar ahuellamiento, seguido de una segunda capa provee un apropiado drenaje al agua, reduciendo la posibilidad de hidroplaneo en la superficie.
  - Mejora las propiedades antiderrapantes (en zonas de curvas y pendientes pronunciadas) y provee mejor impermeabilidad.

- Al emplear micropavimentos modificados con polímeros SBR, se obtiene un desgaste menor al establecido por la ISSA TB – 143, mientras que al emplear micropavimento sin la adición de polímeros SBR, el desgaste obtenido es muy cercano al máximo permisible.
- El uso de micropavimentos es una tecnología bastante versátil y sencilla pero rigurosa en todas las fases de su aplicación como diseño, aceptación de materiales, producción de la mezcla y control de calidad de la misma.
- Las emulsiones asfálticas modificados con polímeros SBR contienen agentes mejorados de adherencia esto permite un enlace químico entre el asfalto y la superficie del agregado obteniéndose un cubrimiento del agregado con adhesión resistente al agua es decir una adhesión activa que se traduce en mayor resistencia al desprendimiento de la mezcla durante la puesta en servicio del pavimento.

Descripción	Componentes	Guayllabamba	San Antonio
Formulación de Trabajo sin Polímero	Agregado	100,00%	100,00%
	Cemento	1,00%	1,00%
	Agua	10,00%	6,50%
	Emulsión CQS (62% Asf. Res.)	14,50%	15,50%
Formulación de Trabajo con 1% de Polímero	Agregado	100,00%	100,00%
	Cemento	1,00%	1,00%
	Agua	10,00%	6,50%
	Emulsión CQS (62% Asf. Res.+ 1% Pol.)	14,50%	15,00%
Formulación de Trabajo con 2% de Polímero	Agregado	100,00%	100,00%
	Cemento	1,00%	1,00%
	Agua	10,00%	6,50%
	Emulsión CQS (62% Asf. Res.+ 2% Pol.)	14,50%	15,00%
Formulación de Trabajo con 3% de Polímero	Agregado	100,00%	100,00%
	Cemento	1,00%	1,00%
	Agua	10,00%	6,50%
	Emulsión CQS (62% Asf. Res.+ 3% Pol.)	14,50%	15,00%
Formulación de Trabajo con 4% de Polímero	Agregado	100,00%	100,00%
	Cemento	1,00%	1,00%
	Agua	10,00%	6,50%
	Emulsión CQS (62% Asf. Res.+ 4% Pol.)	14,50%	15,00%

Tabla 9.15: Resultados de las Formulaciones propuestas para el diseño del Micropavimento, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio

Descripción	Ensayo	Guayllabamba	San Antonio	
Pruebas de Desempeño sin Polímero	Tiempo de Mezcla	440 seg.	625 seg.	
	Abrasión en Húmedo	529,36 gr/m <sup>2</sup>	564,55 gr/m <sup>2</sup>	
	Rueda Cargada	514,45 gr/m <sup>2</sup>	538,74 gr/m <sup>2</sup>	
	Apertura al Transito	120 min.	300 min.	
	Cohesión (Kg-cm)	30'	21	17
		60'	15	21
		120'	20	20
		240'	21	19
		300'	22	22
Pruebas de Desempeño con 1% de Polímero	Tiempo de Mezcla	482 seg.	600 seg.	
	Abrasión en Húmedo	505,67 gr/m <sup>2</sup>	516,20 gr/m <sup>2</sup>	
	Rueda Cargada	482,72 gr/m <sup>2</sup>	506,33 gr/m <sup>2</sup>	
	Apertura al Transito	120 min.	240 min.	
	Cohesión (Kg-cm)	30'	21	18
		60'	17	21
		120'	20	17
		240'	22	21
		300'	23	22

Tabla 9.16: Resultados Pruebas de desempeño en el Micropavimento sin Polímero y Micropavimento con 1% de Polímero, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio

Descripción	Ensayo	Guayllabamba	San Antonio	
Pruebas de Desempeño con 2% de Polímero	Tiempo de Mezcla	436 seg.	640 seg.	
	Abrasión en Húmedo	488,24 gr/m <sup>2</sup>	505,01 gr/m <sup>2</sup>	
	Rueda Cargada	463,52 gr/m <sup>2</sup>	487,14 gr/m <sup>2</sup>	
	Apertura al Transito	120 min.	60 min.	
	Cohesión (Kg-cm)	30'	22	19
		60'	18	23
		120'	22	21
		240'	23	22
		300'	25	22
Pruebas de Desempeño con 3% de Polímero	Tiempo de Mezcla	452 seg.	670 seg.	
	Abrasión en Húmedo	468,50 gr/m <sup>2</sup>	475,74 gr/m <sup>2</sup>	
	Rueda Cargada	426,62 gr/m <sup>2</sup>	456,88 gr/m <sup>2</sup>	
	Apertura al Transito	30 min.	60 min.	
	Cohesión (Kg-cm)	30'	25	20
		60'	22	25
		120'	26	23
		240'	27	25
		300'	29	25

Tabla 9.17: Resultados Pruebas de desempeño en el Micropavimento con 2% de Polímero y Micropavimento con 3% de Polímero, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio

Descripción	Ensayo	Guayllabamba	San Antonio	
Pruebas de Desempeño con 4% de Polímero	Tiempo de Mezcla	471 seg.	652 seg.	
	Abrasión en Húmedo	324,72 gr/m <sup>2</sup>	457,31 gr/m <sup>2</sup>	
	Rueda Cargada	408,91 gr/m <sup>2</sup>	441,75 gr/m <sup>2</sup>	
	Apertura al Tránsito	30 min.	30 min.	
	Cohesión (Kg-cm)	30'	27	22
		60'	23	25
		120'	26	21
240'		28	26	
300'		30	27	

Tabla 9.18: Resultados Pruebas de desempeño en el Micropavimento con 4% de Polímero, empleando agregados de las Canteras de Guayllabamba y San Antonio

### 9.1.11. Análisis Comparativo de Costos

- Al realizar una rehabilitación y mejora de la regularidad superficial aplicando un Micropavimento modificado con 3% de polímero SBR, se obtiene un ahorro de aproximadamente 3000 dólares, frente a la aplicación de un Micropavimento modificado con 4% de polímero SBR.
- La rehabilitación y mejora de la adherencia de un pavimento es una alternativa económica para mejorar las características funcionales del mismo, sin embargo su aplicación no es recomendable en vías de alto tráfico.
- Realizar el reciclado de una vía, representa una alternativa conveniente tanto económica como sostenible ambientalmente frente a la reconstrucción total o parcial de la vía.
- Una rehabilitación y mejora de adherencia de un pavimento representa el valor actual más alto en comparación de las demás técnicas de rehabilitación.
- Resulta antieconómico permitir que un pavimento llegue a un estado “Muy Malo”, debido a los altos costos de reconstrucción o rehabilitación. El momento más idóneo para intervenir es cuando la vía presenta un estado “Regular”, siendo este el peor estado admisible.
- Un organizado plan de conservación vial refleja el desarrollo de la economía de un país, siendo los administradores viales los principales responsables de crear políticas que contribuyan a la implementación y cumplimiento del mismo

- La producción de la mezcla no requiere calentar los agregados ni el asfalto y las instalaciones para su producción son fácilmente transportables muy cerca de la zona de colocación de la misma, esto incide significativamente en la disminución de los costos para la carpeta asfáltica.
- Una oportuna intervención por parte de los Administradores Viales para rehabilitar nuestras carreteras y recuperar su estado a un nivel “Muy Bueno”, mediante la aplicación de un Micropavimento modificado con Polímeros SBR, reduce los costos de Operación y Mantenimiento en USD 40.128 frente a una rehabilitación y mejora estructural del pavimento, siendo este el escenario mas desfavorable.
- Un correcto plan de conservación vial da lugar a una mayor valorización de nuestras carreteras, teniendo que realizar una menor inversión para recuperar su estado a un nivel “Muy Bueno”.
- El cierre de las minas origino un incremento desmesurado en el costo de los agregados, lo cual repercutió negativamente en el sector de la construcción.
- El costo de producción del Micropavimento tuvo un incremento debido a la carencia de agregado pétreo durante la paralización del sector minero, afectando directamente a los costos de rehabilitación vial.

## 9.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un estudio riguroso del agregado para el cual se debe diseñar el tipo de emulsificante más apropiado.
- Se recomienda el uso de micropavimentos debido a que no contienen ningún contaminante, no emiten vapores tóxicos, no dejan residuos líquidos tóxicos y además no consumen energía que pueda contaminar el medio ambiente siendo totalmente compatibles con los mismos.
- Al no ser necesario calentar la emulsión asfáltica, la posibilidad de accidentes en la manipulación, producción y colocación se reducen al mínimo.
- Se recomienda utilizar el agregado de la cantera de Guayllabamba en el diseño de micropavimentos, debido a sus buenas características y comportamiento ante las pruebas de desempeño.
- Se recomienda colocar un porcentaje de polímero SBR de 3 % en la emulsión asfáltica como mínimo, teniendo en cuenta que al adicionar mas porcentaje de polímero, se incrementa el costo de la mezcla asfáltica y no hay un mejoramiento considerable en sus características.
- El agregado de la Cantera de San Antonio a pesar de mostrar buenos resultados en las pruebas de desempeño, no es muy recomendable para el diseño de Micropavimentos, debido a la reactividad de sus agregados, teniendo que aplicar una mayor cantidad de emulsión para su trabajabilidad, lo cual concurre en mayores costos para el proyecto.

### 9.3 BIBLIOGRAFIA.

- ISSA A 143 (Mayo de 2005); —Guía recomendada para Micropavimentos
- ASTM D 75 (2003); —Muestreo del agregado mineral
- ASTM C 128 (2004); —Ensayo de Densidad, densidad relativa (Gravedad específica).
- ASTM C 136 (2001); —Análisis Granulométrico de los agregados
- ASTM C 117 (2001); —Análisis Granulométrico de los agregados finos
- ASTM D 2487 (2002); —Clasificación de Suelos para propósitos de ingeniería (SUCS)
- ASTM D 2419 (2002); —Ensayo de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino
- ISSA TB-145; —Ensayo de Absorción de Azul de Metileno.
- ASTM D 4318 (2002); —Ensayo de Plasticidad del Material Pétreo.
- AASHTO T 96 (2002); —Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles
- ASTM D 244 (2009); —Ensayos de Asfalto Emulsificado
- ASTM D 2397 (1998); —Especificaciones para la emulsión catiónica
- ASTM D 977 (2003); —Especificaciones para la emulsión aniónica
- ASTM D 36 (2006); —Punto de ablandamiento por el uso del anillo y bola
- ASTM D 5 (2006); —Penetración 3,5 oz. (100 gr.) a los 5 segundos a 77°F (25°C)
- ASTM D 88 (2007); —Viscosidad Saybolt Furol

- ASTM D 6933 (2008); —Ensayo de Tamaño de Partícula usando el Tamiz N° 20
- ASTM D 6934 (2008); —Residuo por evaporación
- ASTM D 113 (2007); - Ensayo de Ductilidad
- ASTM D 6084 (2006); -Ensayo de Recuperación Elástica
- ISSA TB 100 (1990); Abrasión en Húmedo (Determina el porcentaje de asfalto mínimo en la mezcla)
- ISSA TB 109 (1990); El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)
- ISSA TB 111 (1999); Guía de Diseño para la producción de Slurry Seal
- ISSA TB 109 (1990); El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)II
- ISSA TB 113 (1990); —Tiempo de mezcla
- ISSA TB 139 (1990); —Ensayo de Cohesión
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
- <http://www.camineros.com/docs/cam043.pdf>; Enero 2010.
- Silvicultura urbana y periurbana en Quito, Ecuador: estudio de caso. <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>; Enero 2010.
- Bouldin, M. and Collins, A.; "Rheology and Micro-Structure of Polymer Asphalt Blends", Shell Development Co., Presented at the Meeting of Rubber Division, ACS, Las Vegas (1990)

- Krauss, G.; "Modification of Asphalt Block Polymer of Butadiene and Styrene", Rubber Chem. Tech., 55, 1389 (1982)
- Hull, D., "An Introduction of Composite Materials", Cambridge University Press, (1981)
- G. Hernández, R. Rodríguez, R. Blanco and V.M. Castaño, "Mechanical Properties of the Composite Asphalt-Styrene-Butadiene Copolymer at High Degree of Modification", Intern. J. Polymeric. Mater. 35, 129-144 (1997)
- CARRIÓN ESTUPIÑÁN Eduardo (2006); —Mantenimiento Vial
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, Departamento Académico de Mecánico de Suelos. <http://www.scribd.com/doc/7539254/Laboratorio-N3ENSAYO-DE-CALIDAD-DE-LOS-AGREGADOS>; Septiembre 2010.
- BERGKAMP; [http://www.bergkampinc.com/industry\\_links.html](http://www.bergkampinc.com/industry_links.html); Enero 2010.
- PAVEMENT PRESERVATION TREATMENT CONSTRUCTION GUIDE [http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter\\_8/index.htm](http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/index.htm); Enero 2010.
- Foundation for Pavement Preservation "Selecting a Preventive Maintenance Treatment For Flexible Pavements" Washington DC USA, Jun, 2000.
- Asphalt Emulsion Manufacturers Association, Asphalt Institute. A Basic Asphalt Emulsion Manual,' third edition.

- International Slurry Surfacing Association. Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal Surfaces. Leaflet A 105 1986
- International Slurry Surfacing Association. Recommended Performance Guidelines for Polymer Modified Microsurfacing. Leaflet A 143 (revised), January 1991.
- US. Department of Transportation, Federal Highway Administration State of the Practice Design, Construcción, and Performance of micro-surfacing, Publication Jun 1994
- Universidad Politécnica de Catalunya I Curso Internacional Intensivo de Pavimentos Asfálticos, Memoria del Curso Barcelona España Jul 2003.
- Groupe fayat Production Plants: Bitumen emulsion Modified bitumen . Presentación Técnica Informativa versión electrónica. Francia Abri 2002

## BIOGRAFÍA

### DATOS PERSONALES

**Nombres y Apellidos:** Oswaldo Santiago Guilcapi Chávez.

**Cédula de identidad:** 0603461583.

**Lugar y fecha de nacimiento:** Riobamba, 01 de Enero de 1989.

**Nacionalidad:** Ecuatoriana.

**Estado Civil:** Soltero.

**Dirección:** Riobamba, Olivos y Laureles, Sector Los Pinos.

**Teléfonos:** 022238216, 084787317

**E-Mail:** santiago\_g018@hotmail.com

### EDUCACIÓN

**Primaria:** Escuela Particular “Pensionado Olivo”, (Riobamba-Ecuador), 2000

**Secundaria:** Colegio Particular “San Felipe Neri” , (Riobamba-Ecuador), 2006

**Estudios Superiores:** Facultad de Ingeniería Civil. —Escuela Politécnica del Ejército (Sangolquí – Ecuador), 2010.

### CAPACITACIÓN

**Curso:** —Análisis Estructural en SAP2000; Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha; 2007.

**Certificación:** Certificación ACI, Técnico de Campo Grado I; Universidad Técnica Particular de Loja; 2011.

### EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante:

- Residente de Obra AV-ARQUITECTOS; (Pichincha-Ecuador); Agosto-October; 2009
- Arq. Santiago Santamaría; (Sucumbíos-Ecuador); 2010

- Residente de Obra Consorcio Arroyo-Gallo; (Pichincha-Ecuador); Febrero-Marzo; 2011
- Ministerio de Transporte y Obras Publicas, departamento de Estructuras; (Pichincha-Ecuador); Febrero-Agosto; 2011
- Emulsiones del Ecuador (Emuldec); (Pichincha-Ecuador); Febrero-Mayo; 2012

## **IDIOMAS**

Español

Inglés – Suficiencia del Idioma Inglés (ESPE)

## **OTROS CONOCIMIENTOS**

Manejo de AutoCad 2009 – ESPE.

Manejo de MatLab 2008 – ESPE.

Microsoft Office.

## BIOGRAFÍA

### DATOS PERSONALES

**Nombres y Apellidos:** Francisco Xavier Santamaría Loza.

**Cédula de identidad:** 1717845364.

**Lugar y fecha de nacimiento:** Quito, 05 de Octubre de 1988.

**Nacionalidad:** Ecuatoriana.

**Estado Civil:** Soltero.

**Dirección:** Sangolquí, España 920 y Atacazo, Sector Santa Rosa

**Teléfonos:** 095257358, 022335701

**E-Mail:** fxsantamaria\_88@hotmail.com.

### EDUCACIÓN

**Primaria:** U. E. “Fernández Salvador” (Quito-Ecuador), 1997  
U. E. “Borja 3” (Quito-Ecuador), 2000

**Secundaria:** Colegio “San Gabriel” (Quito-Ecuador), 2006

**Estudios Superiores:** Facultad de Ingeniería Civil. —Escuela Politécnica del Ejército (Sangolquí – Ecuador), 2012.

### CAPACITACIÓN

**Curso:** —Análisis Estructural en SAP2000; Escuela Politécnica del Ejército; 2008.

**Certificación:** Certificación ACI, Técnico de Campo Grado I; Universidad Técnica Particular de Loja; 2011

### EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante:

- Ing. Damián Duque; (Pichincha-Ecuador); Febrero-Agosto; 2010
- Arq. Santiago Santamaría; (Sucumbíos-Ecuador); 2010
- Ing. Juan Carlos Orozco; (Pichincha-Ecuador); Abril-Agosto; 2011

- Emulsiones del Ecuador (Emuldec); (Pichincha-Ecuador); Febrero-Mayo; 2012

## **IDIOMAS**

Español

Ingles – Suficiencia del Idioma Inglés; Escuela Politécnica del Ejército

## **OTROS CONOCIMIENTOS**

Manejo de AutoCad 2009 – Escuela Politécnica del Ejército.

Manejo de MatLab 2008 – Escuela Politécnica del Ejército.

Manejo de Microsoft Office.

## **HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS**

**ELABORADO POR:**

---

Sr. Oswaldo Guilcapi Chávez

---

Sr. Francisco Santamaría Loza

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL**

---

Ing. Jorge Zúñiga

**DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO**

---

Ing. Fanny Cevallos

Lugar y Fecha: Sangolquí, Agosto de 2012.