

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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.

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

**LUIS MIGUEL URGILES
GUARDERAS**

**LUIS GUSTAVO BOADA
PARRA**

SANGOLQUÍ, MARZO DEL 2011

RESUMEN

El proyecto de 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” se presenta como una guía para el diseño de Micropavimentos el cual se recomienda que no debe ser seguido al pie de la letra ya que el diseñador debe comprender que los materiales varían de acuerdo a su disponibilidad y de acuerdo al trabajo específico al cual se los va a someter.

Este proyecto comprende la caracterización de los agregados, emulsión asfáltica, el correcto uso de las normas para la aplicación de los ensayos para los componentes las mezclas y a dichas mezclas, sus costos e impacto ambiental; lo cual permitirá determinar un diseño óptimo para el agregado de cada una de las canteras.

En cada capítulo se resume la norma usada y a continuación se presentan los resultados obtenidos. Finalmente se presenta un análisis con los resultados obtenidos y se hacen recomendaciones con los cuales se podrá usar al máximo la información recogida en este Proyecto de Tesis.

ABSTRACT

The thesis Project “Design an Evaluation of Microsurfacing asphalt emulsion with modified polymers, to aggregate quarries of Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón in the Metropolitan District of Quito”, is presented as a guide for the design of Microsurfacing, which recommends that should not be followed as verbatim specifications, because the designer must understand that the material vary according to availability and according to the specific job to which going to submit.

This project involves the characterization of the aggregates, asphalt emulsion, the proper use of the standards for the implementation of the tests for the mixtures components and for the mixtures, their costs and environmental impact, which will determine an optical design for aggregate of each of the quarries.

Each chapter summarizes the standard used and then presents the results obtained. Finally, we present an analysis with the result and makes recommendations which will make maximum use of the information contained in this thesis project.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el (los) Sr(s).
LUIS MIGUEL URGILES GUARDERAS Y LUIS GUSTAVO BOADA PARRA
como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

25 de Marzo de 2011

Fecha

ING. FRANCO ROJAS RUALES

ING. PATRICIO ROMERO FLORES

REVISADO POR

ING JORGE ZUÑIGA

DEDICATORIA

Este Proyecto de Tesis está dedicado para:

Dios a quien le debo todo.

A mis padres, María Natividad y Pedro quienes han sabido guiarme, apoyarme y formarme para ser la persona que soy.

A mi hermana Daniela a quien tanto quiero y por quien hago mi mayor esfuerzo para darle el mejor ejemplo.

A toda mi familia y amigos en especial a María José quien me ha acompañado en los momentos más difíciles brindándome su apoyo y su cariño incondicional.

LUIS GUSTAVO BOADA PARRA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de tesis a Dios el cual me ha dado la vida, a mis Padres Bertha y Miguel por ser un apoyo incondicional y nunca dejarme desmayar, a mis hermanas Diana y Estefanía por estar cuando más lo he necesitado como hermanas y como amigas, y a toda mi demás familia y amigos por creer en mí y siempre alentarme a seguir adelante y no darme por vencido

LUIS MIGUEL URGILES GUARDERAS

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 necesite.

A mis abuelos en especial a mis abuelos paternos por apoyarme siempre y brindarme su ayuda cuando más lo necesite. A mis tíos y primos; a los que están lejos de aquí pero siempre estuvieron pendientes de mí brindándome su apoyo incondicional; y a los que estuvieron cerca y que nunca se negaron en prestarme su ayuda y me transmitieron su apoyo.

A mis directores de Tesis, Ing. Franco Rojas y Patricio Romero quienes nos facilitaron sus conocimientos, nos brindaron su apoyo y estuvieron pendientes para la realización y culminación de esta tesis.

A la Escuela Politécnica del Ejército en especial a la Facultad de Ingeniería Civil, a sus docentes quienes en su gran mayoría supieron transmitir sus conocimientos y forjarnos como buenos seres humanos.

A EMULDEC, empresa la cual nos abrió sus puertas facilitándonos sus conocimientos y equipo logístico, con el cual pudimos sacar adelante ésta tesis.

A mis verdaderos amigos quienes sin importar su condición, lugar o dificultad, me apoyaron y animaron a ser mejor cada día.

LUIS GUSTAVO BOADA PARRA

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por mi vida y por todo lo que me ha dado ya que gracias a Él he podido culminar mi carrera, a mis Padres y Hermanas por estar a mi lado y siempre alentarme y apoyarme en los momentos más difíciles, y a mi Tía Beatriz y Mariana Guarderas por su ayuda cuando lo necesitaba.

También agradezco a todos los profesores de la carrera de Ingeniería Civil por sus enseñanzas las cuales han sido la base para este proyecto, a mi Director de Proyecto Franco Rojas, por sus directrices y enseñanza y a mi Codirector Patricio Romero por su apoyo para la aprobación y elaboración de este proyecto.

Un agradecimiento especial a EMULDEC por facilitarnos el uso de su laboratorio ya que sin este el proyecto de tesis no se habría realizado.

LUIS MIGUEL URGILES GUARDERAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
LUIS GUSTAVO BOADA PARRA	V
DEDICATORIA	VI
LUIS MIGUEL URGILES GUARDERAS.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
LUIS GUSTAVO BOADA PARRA	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
LUIS MIGUEL URGILES GUARDERAS.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XXVI
ÍNDICE DE CUADROS	XXXIII
NOMENCLATURA	XXXVI
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2

1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Área de Influencia.....	3
1.3	Objetivos del Proyecto.....	4
1.3.1	Objetivo General del Proyecto.....	4
1.3.2	Objetivos Específicos del Proyecto.....	4
1.4	Justificación e Importancia.....	5
CAPÍTULO II: GENERALIDADES.....		7
2.1	Micropavimentos.....	7
2.1.1	Reseña Histórica del Micropavimento.....	11
2.1.2	Diferencia entre Micropavimento y Mortero Asfáltico (Slurry Seal).....	12
2.1.3	Tipos de Micropavimentos.....	13
2.2	Descripción de la Zona de Influencia.....	15
2.2.1	Características Socio-Económicas.....	15
2.2.2	Características biofísicas.....	25
2.3	Canteras.....	34
2.3.1	Guayllabamba.....	36
2.3.2	Pifo.....	38
2.3.3	Pintag.....	40
2.3.4	San Antonio.....	42
2.3.5	Nayón.....	44
2.4	Normatividad.....	46
2.4.1	Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Filler).....	46
2.4.2	Normatividad para el Asfalto Emulsificado.....	47

2.4.3	Normatividad para el Residuo en la Emulsión.	47
2.4.4	Normatividad para el Diseño en la Mezcla.	48
CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS Y MINERAL DE		
RELLENO Ó FILLER.		50
3.1	Agregados Minerales.	50
3.1.1	Muestreo de los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM D 75 -03.	51
3.1.2	Ensayo de Densidad, densidad relativa (Gravedad específica), y la absorción de Agregado Fino para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM C 128. 55	
3.1.2.1	Resultados de los ensayos.	62
3.1.3	Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA AASHTO T 96 – 77. 67	
3.1.3.1	Resultados de los ensayos.	72
3.1.4	Ensayo de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA – ASTM D 2419.	75
3.1.4.1	Resultados de los ensayos.	84

3.1.5	Ensayo Granulométrico para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM C 136 y C 117.87	
3.1.5.1	Granulometría C 136	88
3.1.5.1.1	Resultados de los ensayos.	90
3.1.5.2	Granulometría C 117	97
3.1.5.2.1	Resultados de los ensayos.	100
3.1.6	Ensayo de Absorción de Azul de Metileno de los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ISSA TB - 145	101
3.1.6.1	Resultados de los ensayos.	105
3.2	Mineral de Relleno (Filler)	106
3.2.1	Resultados de los ensayos.	107

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN, AGUA Y ADITIVOS.

.....		109
4.1	Emulsión Asfáltica	109
4.1.1	¿Emulsión Asfáltica?	110
4.1.2	Tipo de Emulsiones Asfálticas.	111
4.1.3	Los Emulsificantes.	113
4.1.4	Proceso de “Ruptura o rompimiento” de las Emulsiones Asfálticas.	115
4.1.5	Proceso de Manufactura de las Emulsiones Asfálticas.	117
4.1.6	Ensayo para determinar el porcentaje de asfalto residual con la norma ASTM D 6934 – 04.	119

4.1.6.1	Resultado del ensayo.....	121
4.1.7	Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol con la norma ASTM D 88 – 94....	122
4.1.7.1	Resultado del ensayo.....	127
4.1.8	Ensayo de Tamiz N°20 con la norma ASTM D 6933 – 04.	128
4.1.8.1	Resultado del ensayo.....	131
4.1.9	Ensayo de reblandecimiento del bitumen (residuo de la emulsión) con la norma ASTM D 36 – 95.	132
4.1.9.1	Resultado Del ensayo.	136
4.1.10	Ensayo de penetración en el residuo con la norma ASTM D 5 – 05.	137
4.1.10.1	Resultado Del ensayo.	143
4.2	El Agua.	144
4.2.1	El Agua Potable en el Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q).....	144
4.3	Los Aditivos.....	146
CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DE LAS MEZCLAS		148
5.1	Determinación del Porcentaje Teórico de Emulsión para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón.....	148
5.1.1	Resultados de los ensayos.	150
5.2	Contenido de Humedad Óptimo (Consistencia de la Mezcla) para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB - 106.	160
5.2.1	Resultados de los ensayos.	163

5.3	Ensayo de Cohesión para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-139.	166
5.3.1	Resultados de los ensayos.	171
5.4	Ensayo de Abrasión en Húmedo para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-100.	181
5.4.1	Resultados de los ensayos.	188
5.5	Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-109.	198
5.5.1	Resultados de los ensayos.	204
CAPÍTULO VI: DISEÑO DEFINITIVO DEL MICROPAVIMENTO		215
6.1	Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB – 111.	220
6.1.1	Resultados de los ensayos.	223
6.2	Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito.	234
6.3	Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Pifo del Distrito Metropolitano de Quito.	237
6.4	Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Pintag del Distrito Metropolitano de Quito.	240

6.5	Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de San Antonio del Distrito Metropolitano de Quito. ..	243
6.6	Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Nayón del Distrito Metropolitano de Quito.....	246

CAPITULO VII: PROCESO CONSTRUCTIVO, COSTOS E IMPACTO

AMBIENTAL 250

7.1	Proceso constructivo del Micropavimento.....	250
7.1.1	Condiciones atmosféricas.....	250
7.1.2	Equipo.....	251
7.1.3	Preparación de la superficie.....	260
7.1.4	Aplicación.....	264
7.1.5	Calidad de la construcción.....	272
7.1.5.1	Sellado/Texturizado.....	272
7.1.5.2	Recuperación de Ahuellamientos.....	281
7.1.5.3	Pases de Pre-nivelación.....	287
7.1.6	Recomendaciones y Otros Usos.....	288
7.1.7	Diseños alternos y aspectos constructivos.	291
7.1.8	Especificaciones.	293
7.2	Costos.....	295
7.3	Impacto en el Medio Ambiente de Emulsiones Asfálticas.	297

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 300

8.1.	Introducción.	300
8.2.	Conclusiones.	300

8.2.1.	<i>Emulsión Asfáltica CQS-P.</i>	300
8.2.2.	<i>El Agua y aditivos.</i>	301
8.2.3.	<i>Guayllabamba.</i>	301
8.2.4.	<i>Pifo.</i>	303
8.2.5.	<i>Pintag.</i>	305
8.2.6.	<i>San Antonio.</i>	307
8.2.7.	<i>Nayón.</i>	308
8.3.	Recomendaciones.	312
	HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS	322

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa del Distrito Metropolitano de Quito. (Fuente: www.wikimedia.org)	3
Figura 2.1: Vía con Micropavimento (Fuente: http://www.forconstructionpros.com/publication).....	7
Figura 2.2: Ingredientes para la mezcla del Micropavimento	8
Figura 2.3: Evolución de la población por parroquia en el D.M.Q (1990-2001) (Fuente: INEC 2001)	17
Figura 2.4: Densidad de la población por parroquia en el D.M.Q (1990-2001) (Fuente: INEC 2001)	19
Figura 2.5: Topografía del D.M.Q. (Fuente: IGN, MDMQ 2011).....	25
Figura 2.6: Mapa de Pendientes del D.M.Q. (Fuente: AIQ, Quito, 1991)	26
Figura 2.7: Mapa de la Red Hidrológica del D.M.Q. (Fuente: IGN - DMPT).....	28
Figura 2.8: Mapa de la Pluviosidad del D.M.Q. (Fuente: Poumut y Leiva 1989) ...	30
Figura 2.9: Mapa de las cuencas hidrográficas del D.M.Q. (Fuente: DMPT)	33
Figura 2.10: Cantera de Guayllabamba.	36
Figura 2.11: Cantera de Pifo.	38
Figura 2.12: Cantera de Pintag.	40
Figura 2.13: Cantera de San Antonio.	42

Figura 2.14: Cantera de Nayón.	44
Figura 3.1: Arena (Agregado Mineral) triturada.	50
Figura 3.2: Muestreo desde la banda de transporte.	52
Figura 3.3: Muestreo desde la banda de transporte.	53
Figura 3.4: Muestreo desde el almacenaje.	54
Figura 3.5: Secado de la muestra.	56
Figura 3.6: Ensayo de humedad, colocación de agregado en el cono.	57
Figuras 3.7: Ensayo de humedad, desmolde de agregado.	58
Figura 3.8: Pesando el picnómetro con agua.	58
Figura 3.9: Eliminación de las burbujas de aire.	59
Figura 3.10: Pesando el picnómetro con agregado y agua.	60
Figura 3.11: Pesando el picnómetro con agua.	60
Figura 3.12: Maquina de los Ángeles.	67
Figura 3.13: Agregado tamizado y lavado.	68
Figura 3.14: Agregado y carga abrasiva.	70
Figura 3.15: Agregado ensayado.	71
Figura 3.16: Muestra a usar.	76
Figura 3.17: Sifonamiento.	77
Figura 3.18: Sifonamiento.	78

Figura 3.19: Vertido del agregado.....	79
Figura 3.20: Muestra en reposo.....	79
Figura 3.21: Agitación Manual.....	80
Figura 3.22: Muestra destapada y agua hasta la marca.....	81
Figura 2.23: Lectura de Arena.....	83
Figura 3.24: Tamices a usar.....	89
Figura 3.25: Agregado seco.....	97
Figura 3.26: Lavado del Material a través del tamiz N° 200.....	98
Figura 3.27: Agregado lavado, agua limpia.....	99
Figura 3.28: Agitación magnética.....	102
Figura 3.29: Adición de MB.....	102
Figura 3.30: Muestra colocada en el papel filtro.....	103
Figura 3.31: Ensayo de Azul de Metileno (MB).....	104
Figura 3.32: Punto inicial del Ensayo de MB.....	104
Figura 3.33: Punto final del Ensayo de MB.....	104
Figura 3.34: Punto final del Ensayo de MB. (Fuente: http://www.akiur.com/?p=54)	106
Figura 4.1: Diagrama esquemático de una Emulsión. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141).....	110

Figura: 4.2: Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141).....	114
Figura 4.3: Proceso de ruptura de la emulsión asfáltica. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)	116
Figura 4.4: Peso del contenedor y la vara.	119
Figura 4.5: Peso de la emulsión.	120
Figura 4.6: Viscosímetro calibrado a 25 ° C.	122
Figura 4.7: Tapón en la parte inferior del viscosímetro.	123
Figura 4.8: Llenado del viscosímetro hasta el borde de desbordamiento.	124
Figura 4.9: Soporte de termómetro.	125
Figura 4.10: Alineación del corcho con el vaso receptor.	125
Figura 4.11: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho.....	126
Figura 4.12: Peso del tamiz y la bandeja.	129
Figura 4.13: Vertido de la emulsión a través del tamiz.	129
Figura 4.14: Lavado del tamiz.	130
Figura 4.15: Tamiz lavado.	130
Figura 4.16: Peso del tamiz y la bandeja después del ensayo.	131
Figura 4.17: Muestras enrasadas.	133
Figura 4.18: Colocación de las bolas.	134

Figura 4.19: Colocación del agua y aparatos.	134
Figura 4.20: Inicio del ensayo.....	135
Figura 4.21: Ensayo en proceso.....	135
Figura 4.22: Fin del ensayo.	135
Figura 4.23: Preparación de la muestra para ensayo de penetración.	137
Figura 4.24: Equipo para ensayo de penetración.....	139
Figura 4.25: Penetrómetro en baño.....	140
Figura 4.26: Penetrómetro en baño con muestra	140
Figura 4.27: Dial del penetrómetro encerado.	141
Figura 4.28: Aguja cerca de la superficie de la muestra.....	141
Figura 4.29: Penetración en el asfalto luego de soltar la aguja.	142
Figura 4.30: Penetración en el asfalto a 250 C y 5 segundos.	143
Figura 4.31: Agua.....	144
Figura 5.1: ISSA TB – 106.	161
Figura 5.2: ISSA TB – 106.	162
Figura 5.3: Anillos y cartón asfaltado.	166
Figura 5.4: Pie de la maquina abajo.....	167
Figura 5.5: Torque o giro de 90°.....	168
Figura 5.6: Rotura de la muestra.....	169

Figura 5.7: Mezcla.....	182
Figura 5.8: Colocación de la Muestra.....	183
Figura 5.9: Moldeo de la Muestra.....	183
Figura 5.10: Desmolde de la Muestra	184
Figura 5.11: Muestras en agua a 25°C por una hora.	184
Figura 5.12: Muestra colocada en la máquina y lista para ensayar.....	185
Figura 5.13: Lavado de la muestra.....	186
Figura 5.15: Modelo de la Máquina Usada.....	187
Figura 5.16: Colocación de la muestra en el molde.	199
Figura 5.17: Nivelación de la muestra.	199
Figura 5.18: Muestra enfriándose.....	200
Figura 5.19: Colocación de la muestra.....	200
Figura 5.20: Encerado del máquina de ensayo.....	201
Figura 5.21: Máquina de ensayo realizando los 1000 ciclos.	201
Figura 5.22: Colocación del Marco y la arena caliente.....	202
Figura 5.23: 100 ciclos adicionales y limpieza de la arena no adherida.....	202
Figura 5.24: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.	208
Figura 5.25: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.	209
Figura 5.26: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.	209

Figura 7.1: Máquina típica de aplicación continua de micro-pavimentos (Fuente: Federal Highway Administration N0 FWHA-SA-94-051)	253
Figura 7.2: Esquema del proceso de producción de micro-pavimento. (Fuente; MS19.).....	255
Figura 7.3: Caja esparcidora (Fuente: http://www.bergkampinc.com/espanol/spreader_boxes.html)	256
Figura 7.4: Esquema del proceso de producción de micro-pavimento. (Fuente; ISSA.).....	257
Figura 7.5: Caja recuperadora de ahuellamientos (Fuente: http://www.bergkampinc.com/espanol/spreader_boxes.html)	259
Figura 7.6: Protección de alcantarillas. (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	260
Figura 7.7: Colocación del micropavimento	
(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	261
Figura 7.8: Retiró de la protección sobre la alcantarilla. (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	261
Figura 7.9: Fisura transversal (Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica Lic. Patricia Irrgang)	262
Figura 7.10: Sello de junta al ras de la superficie (Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica Lic. Patricia Irrgang)..	263

Figura 7.11: Riego de liga. (Fuente: https://imagenes.repsol.com/pe_es/ejecucion%20del%20riego252x189_tcm18-535278.JPG)	264
Figura 7.12: Colocación de micropavimento (Fuente: http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm)...	267
Figura 7.13: Micropavimento terminado lado izquierdo (Fuente: http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm)...	272
Figura 7.14: Caja esparcidora con banda de caucho (Fuente: http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm)...	274
Figura 7.15: Regla rodante de 3 metros (Fuente: NLT-134/98).....	275
Figura 7.17: junta transversal de alta calidad y junta transversal de baja calidad. (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	279
Figura 7.18: Bordes de alta calidad y bordes de baja calidad. (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	281
Figura 7.19: Principio de recuperación de ahuellamiento. (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	282
Figura 7.20: Recuperación de ahuellamiento. (Fuente: http://west-cansealcoating.com/micro_surfacing.html)	283
Figura 7.21: Recuperación de ahuellamiento (Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)	284

Figura 7.22: Superficies adecuadas y aptas para la recuperación de ahuellamiento con micropavimento.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm) 285

Figura 7.23: Compactador neumático. (Fuente:

<http://www.viarural.com.es/agroindustria/maquinaria-construccion/caterpillar/compactadores/ps-200b.jpg>) 286

Figura 7.24: Colocación de micropavimento sobre pavimento rígido.

(Fuente: <http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm>)... 288

Figura 7.25: Superficie OGFC

(Fuente: <http://pavementinteractive.org/index.php?title=Image:Ogfc.jpg>) 290

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de Micropavimentos y capacidad de carga.....	14
Tabla 2.2: Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Filler).....	46
Tabla 2.3: Normatividad para el Asfalto Emulsificado.	47
Tabla 2.4: Normatividad para el Residuo en la Emulsión.....	47
Tabla 2.5: Normatividad para el Diseño en la Mezcla.	48
Tabla 3.1: Peso Específico del Agua y Factor “K”	61
Tabla 3.2: ASTM C 128 Guayllabamba.....	62
Tabla 3.3: ASTM C 128 Pifo.....	63
Tabla 3.4: ASTM C 128 Pintag.....	64
Tabla 3.5: ASTM C 128 San Antonio.	65
Tabla 3.6: ASTM C 128 Nayón.....	66
Tabla 3.7: Gradación de las Muestras de Ensayos.	69
Tabla 3.8: Carga abrasiva.	69
Tabla 3.9: AASHTO 96 – 77, Guayllabamba.....	72
Tabla 3.10: AASHTO 96 – 77, Pifo.....	72
Tabla 3.11: AASHTO 96 – 77, Pintag.....	73
Tabla 3.12: AASHTO 96 – 77, San Antonio.	73

Tabla 3.13: AASHTO 96 – 77, Nayón.	74
Tabla 3.14: ASTM D 2419, Guayllabamba.	84
Tabla 3.15: ASTM D 2419, Pintag.	84
Tabla 3.16: ASTM D 2419, Pifo.	85
Tabla 3.17: ASTM D 2419, San Antonio.	85
Tabla 3.18: ASTM D 2419, Nayón.	86
Tabla 3.19: ASTM C 136, % retenido.	90
Tabla 3.20: ASTM C 136, % pasante.	90
Tabla 3.21: Gradación Tipo II, rangos máximos y mínimos.	91
Tabla 3.22: ASTM C 117.	100
Tabla 4.1: Clasificación de las emulsiones asfálticas de acuerdo a la norma.	113
Tabla 4.2: Adición de porcentajes Típicos de Emulsificantes.	115
Tabla 4.3: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -04.	121
Tabla 4.4: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 94.	127
Tabla 4.5: Ensayo de tamiz N°20 ASTM D 6933 – 04.	131
Tabla 4.6: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36 – 95.	136
Tabla 4.7: Ensayo de reblandecimiento del bitumen (residuo de la emulsión) con la norma ASTM D 36 – 95.	143
Tabla 5.1: Granulometría de la cantera de Guayllabamba.	150
Tabla 5.2: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.	150

Tabla 5.3: Granulometría de la cantera de Pifo.....	152
Tabla 5.4: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.	152
Tabla 5.5: Granulometría de la cantera de Pintag.....	154
Tabla 5.6: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.	154
Tabla 5.7: Granulometría de la cantera de San Antonio	156
Tabla 5.8: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.	156
Tabla 5.9: Granulometría de la cantera de Nayón.....	158
Tabla 5.10: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.	158
Tabla 5.11: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Guayllabamba.....	163
Tabla 5.12: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Pifo.	163
Tabla 5.13: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Pintag	164
Tabla 5.14: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 San Antonio.	164
Tabla 5.15: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Nayón.	165
Tabla 5.16: Dosificación ISSA TB-139 Guayllabamba.	171
Tabla 5.17: Lecturas ISSA TB-139 Guayllabamba.....	171
Tabla 5.18: Dosificación ISSA TB-139 Pifo.	173
Tabla 5.19: Lecturas ISSA TB-139 Pifo.....	173
Tabla 5.20: Dosificación ISSA TB-139 Pintag.	175
Tabla 5.21: Lecturas ISSA TB-139 Pintag.....	175

Tabla 5.22: Dosificación ISSA TB-139 San Antonio.....	177
Tabla 5.23: Lecturas ISSA TB-139 San Antonio.	177
Tabla 5.24: Dosificación ISSA TB-139 Nayón.....	179
Tabla 5.25: Lecturas ISSA TB-139 Nayón.	179
Tabla 5.26: Cuadro de corrección de acuerdo al tipo de máquina.	187
Tabla 5.27: Dosificación ISSA TB-100 Guayllabamba	188
Tabla 5.28: Peso de muestras ISSA TB-100 Guayllabamba.....	188
Tabla 5.29: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Guayllabamba	188
Tabla 5.30: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	189
Tabla 5.31: Dosificación ISSA TB-100 Pifo	190
Tabla 5.32: Pesos de muestras ISSA TB-100 Pifo.....	190
Tabla 5.33: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Pifo.....	190
Tabla 5.34: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	190
Tabla 5.35: Dosificación ISSA TB-100 Pintag	192
Tabla 5.36: Pesos de muestras ISSA TB-100 Pintag.....	192
Tabla 5.37: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Pifo.....	192
Tabla 5.38: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	192
Tabla 5.39: Dosificación ISSA TB-100 San Antonio.....	194
Tabla 5.40: Pesos de muestras ISSA TB-100 San Antonio	194

Tabla 5.41: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 San Antonio ..	194
Tabla 5.42: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	194
Tabla 5.43: Dosificación ISSA TB-100 Nayón.....	196
Tabla 5.44: Pesos de muestras ISSA TB-100 Nayón.....	196
Tabla 5.45: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Nayón.....	196
Tabla 5.46: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	196
Tabla 5.47: Dosificación ISSA TB-109 Guayllabamba.	204
Tabla 5.48: Pesos de la muestra ISSA TB-109 Guayllabamba.	204
Tabla 5.49: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	204
Tabla 5.50: Dosificación ISSA TB-109 Pifo.	206
Tabla 5.51: Pesos de la muestra ISSA TB-109 Pifo.....	206
Tabla 5.52: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	206
Tabla 5.53: Dosificación ISSA TB-109 Pintag.	208
Tabla 5.54: Dosificación ISSA TB-109 San Antonio.....	210
Tabla 5.55: Pesos de la muestra ISSA TB-109 San Antonio.....	210
Tabla 5.56: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	210
Tabla 5.57: Dosificación ISSA TB-109 San Antonio.....	212
Tabla 5.58: Pesos de la muestra ISSA TB-109 San Antonio.....	212
Tabla 5.59: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto	212

Tabla 6.1: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.....	223
Tabla 6.2: Contenido óptimo de asfalto y emulsión.....	224
Tabla 6.3: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.....	225
Tabla 6.4: Contenido óptimo de asfalto y emulsión.....	226
Tabla 6.4: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.....	227
Tabla 6.5: Contenido mínimo de asfalto y emulsión.....	229
Tabla 6.6: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.....	230
Tabla 6.7: Contenido óptimo de asfalto y emulsión.....	231
Tabla 6.8: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.....	232
Tabla 6.9: Contenido óptimo de asfalto y emulsión.....	233
Tabla 6.10: Resultados de la caracterización del agregado.....	234
Tabla 6.11: Resultados de la caracterización de la emulsión.....	235
Tabla 6.12: Formulación de trabajo para el Micropavimento.....	235
Tabla 6.13: Resultado de las pruebas de Desempeño.....	235
Tabla 6.10: ISSA TB – 139 a las 5 horas.	236
Tabla 6.15: Resultados de la caracterización del agregado.....	237
Tabla 6.16: Resultados de la caracterización de la emulsión.....	238
Tabla 6.17: Formulación de trabajo para el Micropavimento.....	238
Tabla 6.18: Resultado de las pruebas de Desempeño.....	238

Tabla 6.20: Resultados de la caracterización del agregado.....	240
Tabla 6.21: Resultados de la caracterización de la emulsión.....	241
Tabla 6.22: Formulación de trabajo para el Micropavimento.....	241
Tabla 6.23: Resultado de las pruebas de Desempeño.....	241
Tabla 6.24: ISSA TB – 139 a las 5 horas.	242
Tabla 6.25: Resultados de la caracterización del agregado.....	243
Tabla 6.26: Resultados de la caracterización de la emulsión.....	244
Tabla 6.27: Formulación de trabajo para el Micropavimento.....	244
Tabla 6.28: Resultado de las pruebas de Desempeño.....	244
Tabla 6.29: ISSA TB – 139 a las 5 horas.	245
Tabla 6.30: Resultados de la caracterización del agregado.....	246
Tabla 6.31: Resultados de la caracterización de la emulsión.....	247
Tabla 6.32: Formulación de trabajo para el Micropavimento.....	247
Tabla 6.33: Resultado de las pruebas de Desempeño.....	247
Tabla 6.34: ISSA TB – 139 a las 5 horas.	248
Tabla 8.1: Tabla de Resumen General.	311

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1: Evolución de la población en D.Q.M (1950-2001) (Fuente: INEC)	16
Cuadro 2.2: Evolución de la población en D.Q.M (1950-2001) (Fuente: INEC)	16
Cuadro 2.3: Población y tasa de crecimiento por parroquia en el D.M.Q (1990- 2001) (Fuente: INEC 2001)	20
Cuadro 3.1: Gradación de acuerdo al tipo de Micropavimento.	87
Cuadro 3.2: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.	92
Cuadro 3.3: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pifo.	93
Cuadro 3.4: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pintag.	94
Cuadro 3.5; Curva Granulométrica, ASTM C 136, San Antonio.....	95
Cuadro 3.6: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Nayón.....	96
Cuadro 4.1: Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141).....	117
Cuadro 5.1: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	148
Cuadro 5.2: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	151
Cuadro 5.3: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	153
Cuadro 5.4: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	155

Cuadro 5.5: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	157
Cuadro 5.6: Curva para determinar el % de asfalto residual.....	159
Cuadro 5.7: Clasificación de los sistemas de mezcla mediante el ensayo de curvas de modificadas de cohesión. (Fuente: ISSA TB - 139).....	170
Cuadro 5.8: ISSA TB-139 Guayllabamba.....	172
Cuadro 5.9: ISSA TB-139 Pifo.....	174
Cuadro 5.10: ISSA TB-139 Pintag.....	176
Cuadro 5.11: ISSA TB-139 San Antonio.	178
Cuadro 5.12: ISSA TB-139 Nayón	180
Cuadro 5.13: ISSA TB-100 Guayllabamba.....	189
Cuadro 5.14: ISSA TB-100 Pifo.....	191
Cuadro 5.15: ISSA TB-100 Pintag.....	193
Cuadro 5.16: ISSA TB-100 San Antonio	195
Cuadro 5.17: ISSA TB-100 Nayón	197
Cuadro 5.18: Dimensiones de los moldes.	203
Cuadro 5.19: ISSA TB-109 Guayllabamba.....	205
Cuadro 5.20: ISSA TB-109 Pifo.....	207
Cuadro 5.21: ISSA TB-109 San Antonio.	211
Cuadro 5.22: ISSA TB-109 Nayón.	213
Cuadro 6.1: Contenido Óptimo de Asfalto Mínimo ISSA TB – 100.....	221

Cuadro 6.2: Contenido Óptimo de Asfalto Máximo ISSA TB – 109.....	221
Cuadro 6.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111. ...	222
Cuadro 6.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.	223
Cuadro 6.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.	225
Cuadro 6.6: Contenido Mínimo de Asfalto ISSA TB – 111.	228
Cuadro 6.7: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.	230
Cuadro 6.8: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.	232
Cuadro 6.9: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.	234
Cuadro 6.10: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.	236
Cuadro 6.11: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.	237
Tabla 6.19: ISSA TB – 139 a las 5 horas.	239
Cuadro 6.12: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.	239
Cuadro 6.13: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pintag.	240
Cuadro 6.14: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.	242
Cuadro 6.15: Curva Granulométrica, ASTM C 136, San Antonio.....	243
Cuadro 6.16: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.	245
Cuadro 6.17: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Nayón.	246
Cuadro 6.18: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.	248

NOMENCLATURA

B.A.R. = Buyers Authorized Representative

ISSA = International Slurry Surfacing Association

FP = Foundation for Pavement Preservation

INEC = Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

DQM = Distrito Metropolitano de Quito

IMQ = Ilustre Municipio de Quito

MDMQ = Municipio del Distrito Metropolitano de Quito

IGN = Instituto Geográfico Nacional

AIQ = Atlas Informático de Quito

DMPT = Dirección Metropolitana de Planificación Territorial

MTOP = Ministerio de Transporte de Obras Públicas

ASTM = American Society for Testing and Materials

AASHTO = American Association of State Highway and Transportation Officials

TB = Technical Bulletin

OD = Secada al Horno

SSD = Saturada superficialmente seca

γ = Peso Específico del Agua

T° = Temperatura

rpm = Revoluciones por minuto

IDEM = Igual que

μm = Micrómetro

MB = MBV = Metil Blue Value (Valor de azul de metileno)

CQS = Cationic Quick Setting (Emulsión catiónica de curado rápido)

ISSN = International Standard Serial Number

Furol = Fuel and road oils (Combustibles y aceites para carreteras)

USP = United States Pharmacopeia

EMAAP-Q = Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado de Quito

SE = Superficie Específica

SRL = Skid Resistance Level (Nivel de resistencia al deslizamiento)

TPD = Tráfico Promedio Diario

PAR = Pure Asphalt Requirement (Asfalto Puro Requerido)

BR = Betum Requeridement (Betún Requerido)

OGFC = Open Graded Friction Courses

HMA = Hot Mix Asphalt (Asfalto de Mezcla Caliente)

PCC = Portland Cement Concrete (Concreto de Cemento Portland)

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

Durante los últimos 50 años en el Ecuador se ha hecho esfuerzos para incrementar su red vial con el fin de desarrollarse social y económicamente, mediante la construcción, ampliación y así mismo el mantenimiento de carreteras principales, secundarias y caminos vecinales, las cuales suman un total de 43.197,36 kilómetro de longitud, sin tomar en cuenta la red urbana¹.

En la actualidad la inversión más ponderada en los países es un 90% para el mantenimiento vial y apenas un 10% para creación de nuevas vías²; esto, a su vez, incrementa la demanda de materiales asfálticos, lo que incide paralelamente en la conservación de la energía y del medio ambiente.

El uso adecuado de emulsiones asfálticas redunda en pavimentos de alto desempeño, en aplicaciones económicas y versátiles para el mantenimiento y rehabilitación de las vías.

¹ CARRION ESTUPIÑAN Eduardo, Mantenimiento Vial (2006)

² Foundation for Pavement Preservation (FP2)

1.2 Área de Influencia.

Las Instituciones que ejecutan el mantenimiento vial en el Distrito Metropolitano de Quito podrán contar información adecuada para lograr una planificación, ejecución y control óptimo de dicha actividad, y la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE); por tal razón, son las principales beneficiadas con este Proyecto de Grado



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

El área de influencia directa es la comprendida por todo el Distrito Metropolitano de Quito cuya topografía es de tipo varia de montañosa a ondulada.

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General del Proyecto.

Realizar el Diseño y evaluar Micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros para agregados de las de canteras Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.3.2 Objetivos Específicos del Proyecto.

- Realizar la caracterización de los agregados de canteras Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón del Distrito Metropolitano de Quito.
- Caracterizar emulsiones asfálticas a usarse en cada agregado.
- Diseño del Micropavimento a utilizar, de los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón.
- Evaluar mediante ensayos de laboratorio los diferentes diseños de Micropavimento.
- Presentar los resultados obtenidos de los diseños de Micropavimento.

1.4 Justificación e Importancia.

La economía de un país está basada en la movilidad de personas, bienes y servicios a lo largo y ancho del mismo durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana y 365 días del año; por dicho motivo el sistema de carreteras debe estar en condiciones óptimas para tener un alto grado de conectividad y eficiencia, desarrollando una economía saludable y competitiva globalmente.

Según la FP Inc. (For Pavement Preservation) calcula que por cada 1,00 dólares invertidos en preservación de pavimentos, se ahorra entre 6,00 y 10,00 dólares o más en costos de rehabilitación o reconstrucción y su vez un 25% más de empleo.

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 los éstos dentro del Distrito Metropolitano de Quito, y en general en el país, 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



Figura 2.1: Vía con Micropavimento

(Fuente: <http://www.forconstructionpros.com/publication>).

Un Micropavimento es un sistema de pavimentación superficial compuesto por la mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado mineral triturado, mineral de relleno (filler), agua, y otros aditivos según sea necesario, bien proporcionados y esparcidos sobre una superficie pavimentada de acuerdo a las especificaciones y según las indicaciones de la Buyers Authorized Representative (B.A.R.).

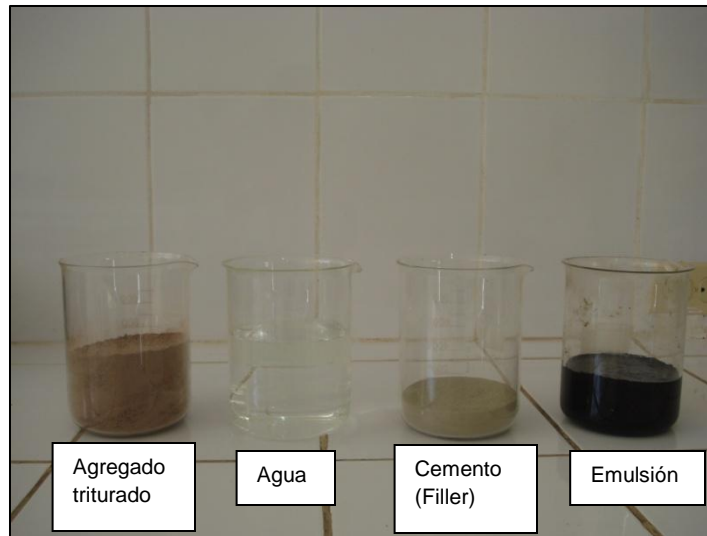


Figura 2.2: Ingredientes para la mezcla del Micropavimento

La mezcla debe ser capaz de ser esparcida en espesor variable de secciones transversales y que después del curado inicial y la consolidación del tránsito, resista a la compactación del diseño dentro del rango de tolerancia del contenido de bitumen y espesor variable que se encuentra. El Producto final debe mantener una superficie antideslizante resistente (de alto coeficiente de fricción) en la sección de espesor variable a lo largo de la vida útil del Micropavimento.

La mezcla debe ser un sistema rápido al tránsito, lo que significa que debe ser capaz de aceptar el tránsito rodante después de un periodo corto de tiempo. La cantidad de tiempo varía de un proyecto a otro por lo que deben ser evaluados individualmente. Normalmente, estos sistemas han sido obligados a aceptar el tráfico rodante dentro de una hora después de la colocación de media (1/2) pulgada (12,7 mm) de espesor de superficie, a una temperatura de 24°C (+75°F) y 50% o menos de humedad.

El Micropavimento es aplicado como tratamiento superficial que se lo coloca por capas delgadas que van entre los 10 mm. e inclusive hasta los 50 mm. de espesor, así como la recuperación de ahuellamientos tanto en vías por moderado o alto volumen de tránsito vehicular, o además ha sido usado como micro-capas de nivelación, capas intermedias, sello de fisuras, recuperación y llenado de vacíos, recuperación y bacheos de poca profundidad, así como corregir irregularidades en los pavimentos como alisamientos por exudación, desintegración y oxidación.

Cabe recalcar que un Micropavimento, es usado para la preservación de los pavimentos, por esta razón existen organizaciones a nivel internacional que están involucradas de una u otra forma en la investigación, desarrollo y en algunos casos la regulación de dicha actividad, por tal motivo es importante nombrar algunas de ellas:



International Slurry Surfacing Association (ISSA)



Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA)



Foundation for Pavement Preservation (FP²)



National Center for Pavement Preservation



International Road Federation (IRF)



American Road & Transportation Builders Association (ARTBA)



Association of Equipment Manufacturers (AEM)



HGAC Buy

Para el caso de nuestra investigación, nos hemos basado en normas y en los boletines técnicos emitidos por la ISSA, específicamente la **ISSA A-143**; la misma que da una pauta para el **Diseño de Micropavimentos**.

2.1.1 Reseña Histórica del Micropavimento

El Micropavimento fue desarrollado inicialmente en Europa, donde es conocido generalmente como micro-concreto asfáltico. Posteriormente la compañía francesa Screg Route a mediados de los años setenta diseñó un Seal-Gum que era un Micropavimento, el mismo que fue mejorado por la firma Raschig de Alemania en los años siguientes. Raschig comercializó su producto en los Estado Unidos bajo el nombre de “Ralumac” a principios de los años ochenta. A finales de la década de los ochenta, la firma Española Elsamex desarrollo y comercializo su Micropavimento en los Estados Unidos bajo el nombre de Macroseal. 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.

2.1.2 Diferencia entre Micropavimento y Mortero Asfáltico (Slurry Seal).

Los morteros asfálticos (Slurry Seal) y los Micropavimentos que si bien es cierto corresponden a la aplicación de emulsiones asfálticas en frío y utilizados para el mantenimiento y conservación de pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles se los debe diferenciar claramente para evitar cualquier tipo de confusión.

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.

2.1.3 Tipos de Micropavimentos.

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** ³.

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

Tabla 2.1: Tipos de Micropavimentos y capacidad de carga.

³ ISSA A-143

2.2 Descripción de la Zona de Influencia.

La zona de influencia en cuestión es el Distrito Metropolitano de Quito; el mismo que es un cantón 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. Las parroquias urbanas están divididas en barrios.

2.2.1 Características Socio-Económicas⁴.

Tanto las características de la población humana como los factores relacionados con la interacción de las poblaciones con el suelo, son relevantes para el contexto social y económico en el que se da el manejo del ecosistema forestal urbano en Quito.

Crecimiento Poblacional:

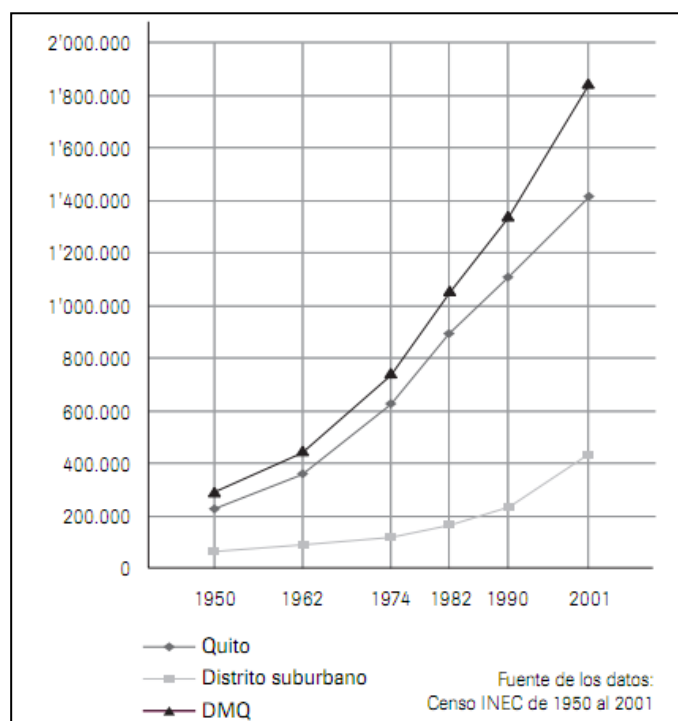
Según los datos preliminares del censo del INEC, la población del Distrito se elevaba a cerca de 1'850.000 habitantes en noviembre del 2001. Era de aproximadamente 1'350.000 en 1990, lo que significa un aumento de 500.000 habitantes en el espacio de 11 años (es decir un incremento del 37,8% en ese periodo y del 2,9% anual). Como lo indica el cuadro 1-1, gran parte de este

⁴ <http://www.bivapad.gov.ec/pdf/spa/doc728/doc728-2a.pdf>

incremento (cerca de los dos tercios) debe atribuirse a las comunas suburbanas cuya población se acerca a los 430.000 habitantes.

	Población 1990	Población 2001	Saldo demográfico 1990-2001	Incremento 1991-2001 (%)	Incremento anual (%)
Quito	1'105.889	1'413.694	307.805	27,8	2,23
Distrito (suburbano)	230.348	427.506	197.158	85,6	5,62
Distrito Metropolitano	1.336.237	1'841.200	504.963	37,8	2,91

Cuadro 2.1: Evolución de la población en D.Q.M (1950-2001)
(Fuente: INEC).



Cuadro 2.2: Evolución de la población en D.Q.M (1950-2001)
(Fuente: INEC).

Las curvas del cuadro 2.2 permiten observar la evolución de la población del DMQ desde 1950, ofreciendo así una mayor perspectiva. Indican, en el

caso del Distrito en su conjunto, un ritmo de crecimiento demográfico sostenido y continuo desde 1962 y sobre todo desde 1974. Si bien los ritmos de crecimiento de la ciudad y del conjunto del Distrito son comparables hasta 1982, durante el periodo intercensal 1982-1990 se inicia una sensible lentificación de Quito y esta tendencia prosigue entre 1990 y el 2001. En cambio, el incremento del ritmo de crecimiento de las parroquias suburbanas, que se comienza a observar entre 1982 y 1990, no solo se confirma sino que se acentúa en gran medida durante el siguiente periodo.

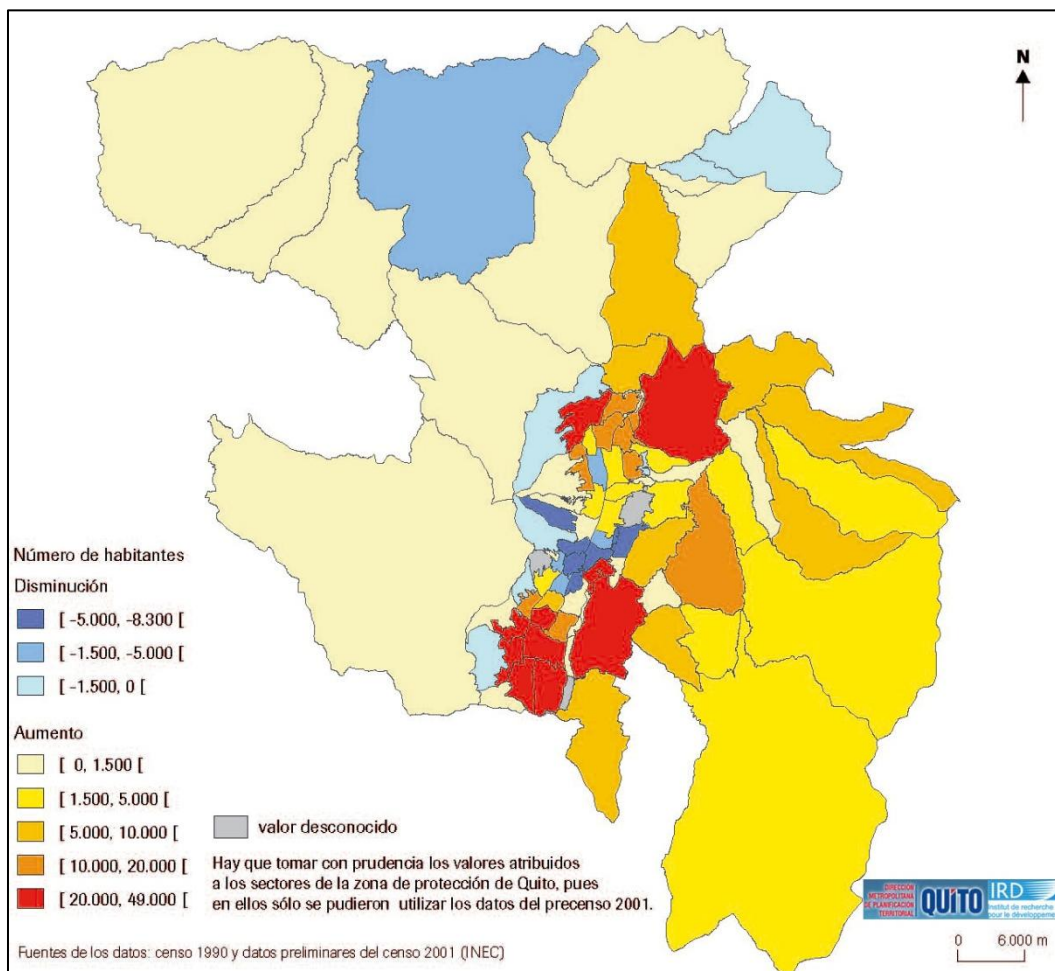


Figura 2.3: Evolución de la población por parroquia en el D.M.Q (1990-2001)

(Fuente: INEC 2001)

Distribución de la Población⁵:

La densidad de la poblacional de Quito en el 2001 destaca varios fenómenos. En primer lugar, las densidades de las parroquias urbanas son claramente superiores a las de las parroquias suburbanas. Por otra parte, las mayores densidades (más de 100 hab/ha) se sitúan globalmente en las parroquias que experimentan una desaceleración de su crecimiento, e incluso una disminución (centro, centro sur, barrios del norte: Kennedy, Cotocollao), con excepción de la parroquia Solanda que presenta a la vez una fuerte densidad de población y una elevada tasa de crecimiento. Finalmente, en los sectores suburbanos, únicamente las parroquias del este y del norte del Distrito presentan densidades notables, aunque nunca superiores a 15 hab/ha. Sin embargo, esas densidades crecen localmente.

⁵ <http://www.bivapad.gov.ec/pdf/spa/doc728/doc728-2a.pdf>

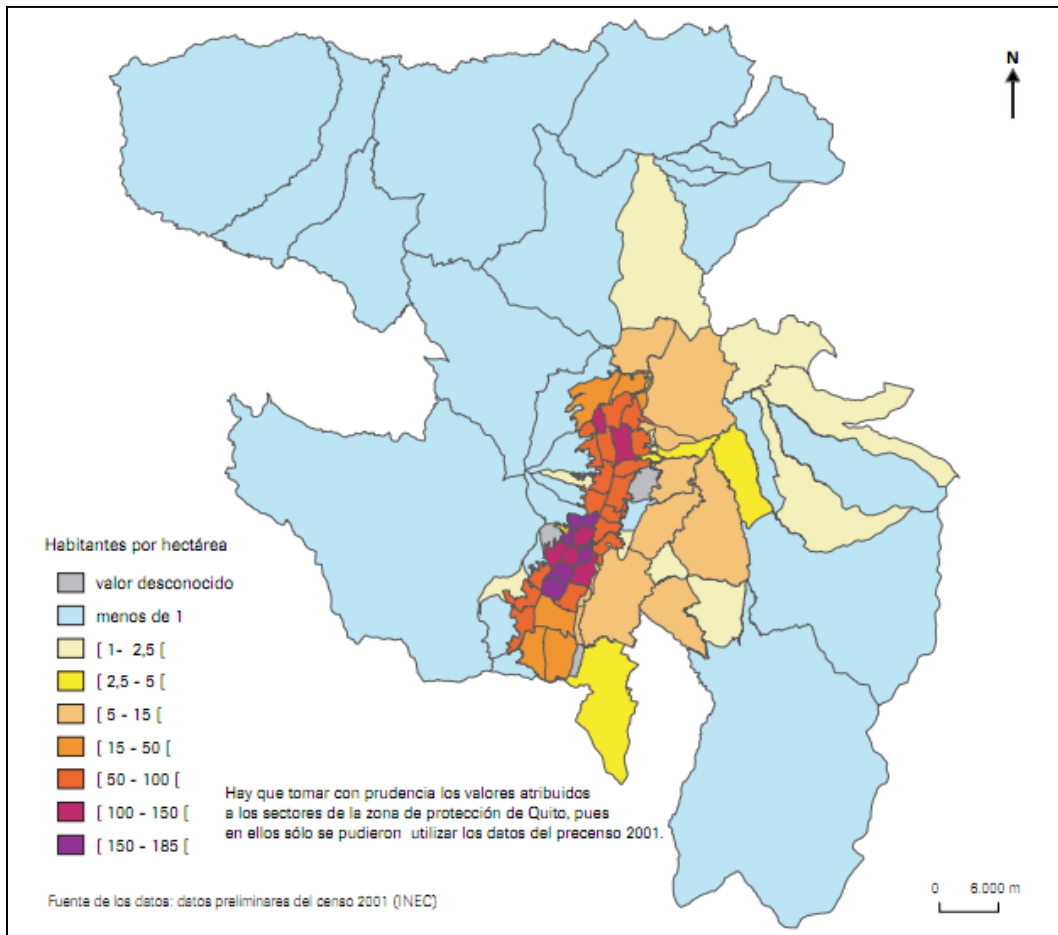


Figura 2.4: Densidad de la población por parroquia en el D.M.Q (1990-2001)

(Fuente: INEC 2001)

Sin embargo para mayor apreciación de la población el Distrito Metropolitano de Quito presenta en el cuadro 2.3 como la población y la tasa de crecimiento poblacional desde 1990 al 2001.

Parroquias suburbanas	Población 2001	Tasa de crecimiento anual (1990-2001)	Parroquias de Quito	Población 2001	Tasa de crecimiento anual (1990-2001)
Calderón	84.873	7,72	Turubamba	31.737	13,39
Checa	7.397	5,97	Quitumbe	39.566	12,76
El Quinche	12.919	5,87	El Condado	56.049	10,28
Yeruquí	13.774	5,47	La Ecuatoriana	41.921	9,43
Gueyllabamba	12.227	5,43	Guaenaf	35.983	9,05
Conocoto	52.908	5,42	San Isidro del Inca	30.218	8,35
Puambo	10.927	5,23	Puengasí	48.160	7,97
Tumbaco	38.554	5,14	Chillogallo	41.934	6,57
Cumbayá	21.108	4,85	Comité del Pueblo	39.201	5,19
Nayón	9.666	4,70	Carcelén	39.295	4,85
La Merced	6.163	4,56	La Mena	36.463	4,59
Pifo	12.388	4,25	Cochapamba	44.999	4,46
San Antonio de Pichincha	19.862	4,23	La Argelia	46.792	4,18
Alangasí	17.248	4,04	Solanda	78.248	3,43
Pomasquí	20.520	3,65	Ponceano	52.257	2,18
Amaguaña	23.568	3,09	Cotacollo	32.422	1,23
Llano Chico	6.141	3,06	San Bartolo	60.418	1,13
Guangopolo	2.278	2,82	Chilibulo	46.954	0,96
Tebabela	2.300	2,21	Jipijapa	34.844	0,83
Pintag	14.461	2,10	Iñaquito	44.072	0,76
Zámbiza	2.834	1,91	Rumipamba	31.136	0,74
Nono	1.753	1,69	Kennedy	70.333	0,40
Perucho	750	1,08	Belisario Quevedo	46.725	0,03
Pacto	4.806	0,80	La Ferroviaria	65.383	0,02
Nanegalito	2.462	0,77	La Magdalena	32.184	-0,70
Lice	1.428	0,46	Concepción	37.001	-0,86
Puéllaro	5.693	0,34	La Libertad	29.320	-0,94
Celecalí	3.631	0,32	San Juan	60.157	-0,99
Guelea	2.123	0,19	Chimbecalle	44.600	-1,15
San José de Minas	7.511	-0,07	Centro Histórico	50.839	-1,24
Chevezpampa	864	-0,66	Mariscal Sucre	16.206	-1,35
Atahualpa	1.865	-0,88	Itchimbia	34.534	-1,94
Nanegal	2.504	-1,46			

Fuente: Censo INEC 1990 y 2001.

Cuadro 2.3: Población y tasa de crecimiento por parroquia en el D.M.Q (1990-2001)
(Fuente: INEC 2001)

Actividad Económica⁶:

El socio-ecosistema urbano de Quito no es de ninguna manera uniforme; diversas regiones en esta zona presentan diferentes oportunidades y limitaciones económicas para sus habitantes.

En general, en el lado occidental de Quito las barreras topográficas han dificultado el uso productivo de la tierra tanto para los sectores económicos tradicionales como para los modernos. En las partes más bajas de esta área, las laderas empinadas, los suelos inestables y el acceso difícil han limitado tanto la construcción urbana como los cultivos agrícolas. Más arriba, las áreas de páramo por encima de los 3800 m han sido poco habitadas, sobre todo debido a sus climas poco hospitalarios y a la menor capacidad de cultivar la tierra. Los valles que se extienden al norte, a las afueras de Quito, a pesar de su clima semidesértico, han permitido un mayor asentamiento humano e incluso considerable actividad agrícola, especialmente en las tierras bajas irrigadas. Las tierras de los valles fértiles y más cálidos al Este y al Sur de la ciudad han absorbido la mayor parte de la expansión poblacional, sobre todo debido a su mayor capacidad para brindar medios de vida a los pobladores.

La distribución de usos rurales versus urbanos del suelo en varios sectores del Distrito Metropolitano permite conocer más sobre los patrones de urbanización y la velocidad de cambio del socio-ecosistema urbano. Las actividades del sector de servicios (usos urbanos del suelo) dominan en el núcleo urbano consolidado, en tanto que la construcción y las actividades industriales (que también son usos

⁶ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>

urbanos del suelo) son cada vez más importantes en la periferia cercana. En la zona de transición más distante dominan la agricultura, la pesca y la caza (usos rurales del suelo) (IMQ, 1992a).

El examen de los tipos de empleo de la población urbana y rural de la región expone una situación semejante. En general, la economía de Quito está dominada por el sector terciario, con un 37% de la población total del Distrito Metropolitano empleada en servicios, seguida por un 18.4% en la actividad comercial. El 17% de la población total trabaja en manufactura e industria. Sin embargo, ciertas áreas dentro de la región metropolitana tienden hacia la concentración de actividades económicas específicas. Las regiones suburbanas más lejanas, tanto al Este (área de Oyambaro) como al Oeste (área del Ungui) contienen la mayor concentración de población vinculada al sector agrícola primario. Los distritos urbanos central-norte y central-sur de Quito (áreas de Urinsaya y Yavirac), así como los valles suburbanos al Noreste y Sureste (áreas de Carapungo y Los Chillos) contienen una mayoría de población vinculada al sector industrial. Desgraciadamente, no existen datos para medir los tipos y velocidades de cambio en los usos económicos del suelo urbano o en los tipos de empleo en la zona de transición urbano-rural de Quito a lo largo del tiempo (IMQ, 1992a).

*Tenencia de la Tierra*⁷:

Los patrones cambiantes de la tenencia de la tierra, incluyendo modificaciones en la propiedad de tierras en la periferia urbana debido a la Reforma Agraria, son un factor fuertemente determinante en el desarrollo espacial del área urbana de Quito. La mayoría de lo que actualmente constituye el área metropolitana de Quito estaba dividida en de grandes haciendas durante la colonia. La primera Ley de Reforma Agraria de 1964 resultó en la división de muchas de estas propiedades en lotes pequeños que fueron distribuidos a campesinos pobres sin tierra. Las dificultades de realizar una agricultura rentable en lotes muy pequeños, así como las presiones de la urbanización y la emergencia del mercado privado de la tierra, llevaron a la venta de muchas de estas propiedades y su conversión hacia usos urbanos. La Reforma Agraria también impulsó la actividad especulativa y el rápido crecimiento espacial urbano, conforme varios hacendados subdividieron ilegalmente sus tierras en parcelas destinadas para el desarrollo urbano o fueron invadidos por pobres de la ciudad en busca de lugares para vivir (Adriani et al., 1987). Estos procesos ocasionaron una considerable fragmentación de la propiedad y cambios en el carácter y la intensidad del uso del suelo de actividades rurales a urbanas, lo que a la final contribuyó a una drástica alteración de los ecosistemas.

Un proceso típico de tenencia de la tierra y fragmentación como el descrito puede contrastarse con el caso poco usual de una estructura tradicional de propiedad comunitaria de la tierra hallada en el Ecuador, la comuna. Unas pocas pueden

⁷ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>

todavía encontrarse dentro de la región metropolitana de Quito. Aunque la ley las protege técnicamente, estas áreas han sido absorbidas por la metrópoli en expansión, lo cual plantea serias dudas sobre su viabilidad a largo plazo. Algunos intereses privados y representantes del gobierno están a favor de la disolución de estos anticuados patrones de propiedad, que se consideran como un impedimento al progreso urbano. Se promueve la eventual integración completa de estas propiedades al mercado privado de la tierra (Bustamante, 1992). Opuestos a este punto de vista están quienes creen que la comuna contribuye con una diversidad de valores al complejo urbano-rural, y que debería permanecer como una importante alternativa cultural, económica y ecológica de propiedad y uso del espacio (Kingman, 1992). No existen datos detallados sobre las implicaciones ecológicas de estos diversos esquemas de propiedad de la tierra, pero es interesante especular sobre qué estructura de propiedad podría llevar a una mejor preservación de los valores del ecosistema urbano en el contexto de la ciudad de Quito. Actualmente los administradores municipales trabajan con miembros de una comuna localizada dentro de los límites de un extenso espacio verde urbano para manejar el área y crear oportunidades de empleo (Guayasamín, comunicación personal, 1995).

Además de los propietarios privados, el sector público posee también grandes extensiones de tierra dentro de la región metropolitana, sobre todo hacia las afueras. Aunque no se obtuvieron cifras para toda la región, en 1984 casi el 13% de la porción occidental del Bosque Protector Pichincha, de 8334 hectáreas,

formaba parte de grandes propiedades de entidades públicas (40 - 500 hectáreas) (Moore et al., 1984).

2.2.2 Características biofísicas⁸

El desarrollo histórico y la actual configuración espacial de Quito han sido considerablemente influidos por las características naturales dominantes en la región. Algunas de ellas incluyen:

Topografía:

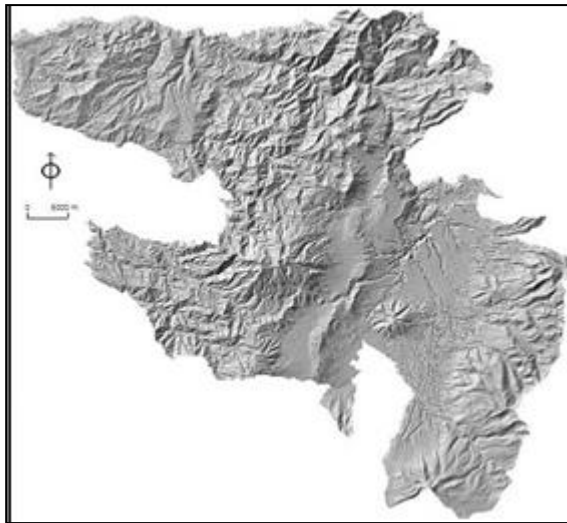


Figura 2.5: Topografía del D.M.Q. (Fuente: IGN, MDMQ 2011)

Porción urbanizada del área metropolitana de Quito está situada en un estrecho valle montañoso localizado inmediatamente al Este de las faldas del volcán activo Pichincha. En la prehistoria, el lugar donde se asienta Quito fue una encrucijada de importantes rutas de comercio a través de los Andes, debido a su

⁸ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>

localización en uno de los pocos pasos accesibles a través del difícil terreno montañoso. Las consideraciones defensivas de las poblaciones indígenas originales, así como de los conquistadores Incas y de los regímenes coloniales españoles, también contribuyeron a la selección de Quito como el lugar de una ciudad capital (Moore, 1984).

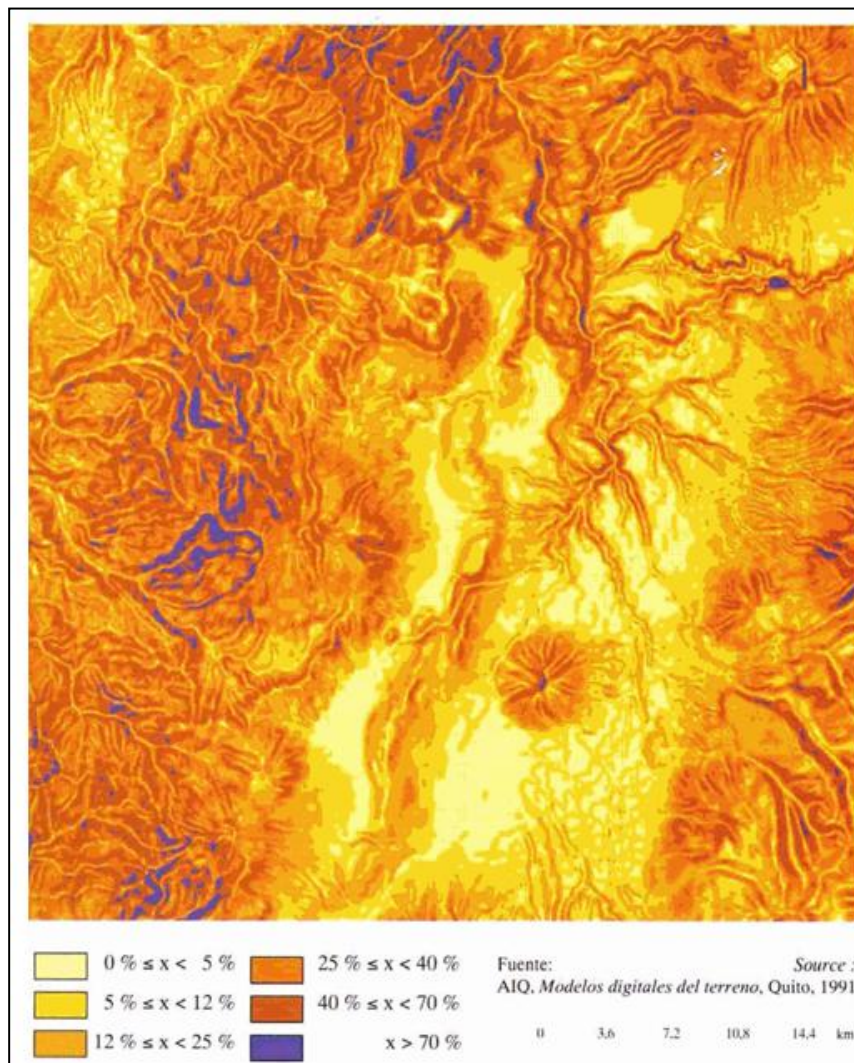


Figura 2.6: Mapa de Pendientes del D.M.Q. (Fuente: AIQ, Quito, 1991)

En la actualidad, la barrera natural de las montañas ha obligado a que la expansión de la ciudad ocurra longitudinalmente, en forma de luna creciente (DeNoni, 1986), de tal manera que el núcleo urbano consolidado de la metrópoli tiene actualmente de 5 a 8 km. de ancho, y más de 30 km. de largo. Mientras que los pobladores han logrado superar algunas limitaciones físicas que restringen los asentamientos en las laderas de la montaña, el acceso, el abastecimiento de agua y el riesgo de desastres naturales continúan impidiendo un desarrollo intensivo en estas áreas empinadas.

En las zonas periféricas por fuera del núcleo urbano, el desarrollo también se ha movido más rápidamente en algunos valles y planicies urbanas que se extienden hacia el Este y el Sur de la ciudad principal, entre cadenas de colinas y otros terrenos empinados.

Hidrología⁹:

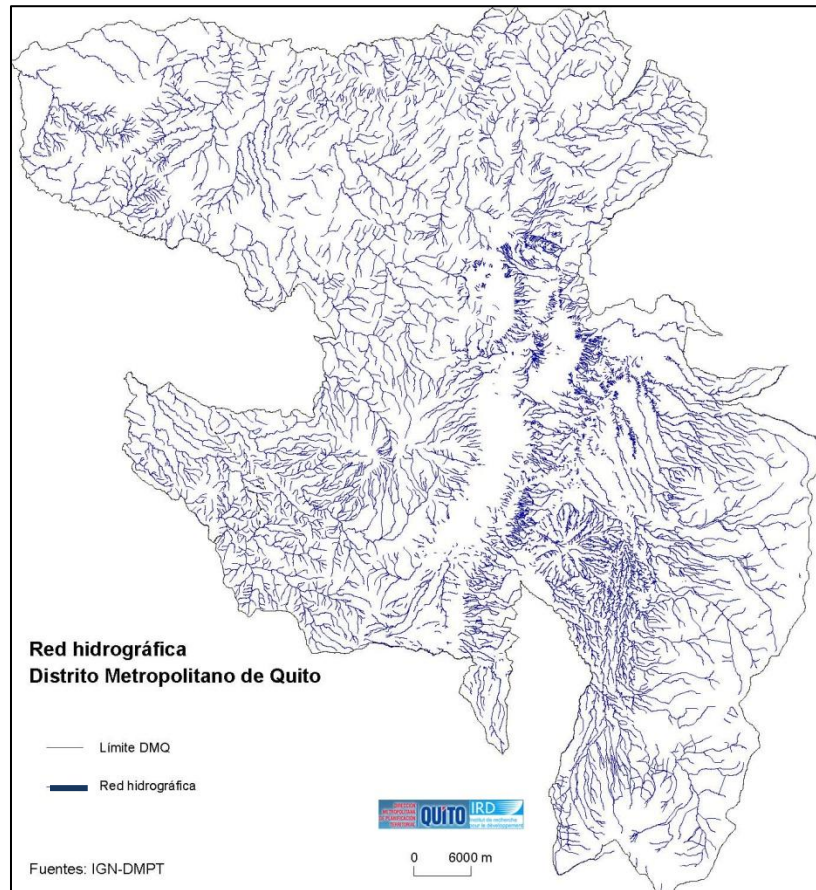


Figura 2.7: Mapa de la Red Hidrológica del D.M.Q. (Fuente: IGN - DMPT)

El área de Quito Metropolitano está localizada en la subcuenca hidrológica del Guayllabamba, una extensa red interandina de drenaje limitada por las cordilleras paralelas de los Andes al Este y Oeste, y por cadenas volcánicas transversales al Norte y Sur. Dentro de esta cuenca, y específicamente dentro del Distrito Metropolitano de Quito, fluyen algunos importantes ríos: Guayllabamba, Machángara, Monjas, Pita y San Pedro (IMQ, 1992c).

⁹ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>

Suelos¹⁰:

Casi todos los suelos originales del área metropolitana son de origen volcánico. En las áreas periféricas localizadas en las escarpas occidentales de las cadenas montañosas de la zona, los suelos dominantes son francos y pseudo arenosos de textura fina (p. ej. Dystrandeps). Estos suelos tienen una retención de humedad extremadamente alta, pero no se consideran adecuados para uso agrícola debido a su localización en áreas muy empinadas. Las zonas agrícolas más importantes del área metropolitana están localizadas en Puembo, Pífo, Yaruquí, Checa, Tumbaco, El Quinche, Amaguaña y Pintag. Predominan en estas áreas, los suelos volcánicos negros profundos (> 1 m) con alguna presencia de limo y un contenido de arcilla menor al 30% (p. ej. Plustols, Arglostolls, Pludolls). Se encuentran suelos similares en las zonas de Lloa y Quito Sur.

Los niveles de erosión son alarmantes en toda el área metropolitana. Las cuencas de los ríos y las quebradas están especialmente afectadas, al igual que los suelos piroclásticos arenosos en Calacalí, Calderón, San Antonio y Pomasqui. Bajo las laderas de la escarpa occidental existe una capa dura de Duripan (cangahua) a menos de un metro de profundidad, que a veces se expone por la erosión causada por la perturbación humana (IMQ, 1992c).

En un muestreo de suelos del núcleo urbano se encontró que la textura del suelo es relativamente homogénea a lo largo de toda la ciudad. En su mayoría eran suelos francos, con una predominancia de arena. En muchos lugares también se encontró material artificial (p. ej., escombros de construcciones, y la

¹⁰ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>

profundidad del suelo era extremadamente variable. El contenido de materia orgánica de los suelos es bajo (menos de 2%) o intermedio (entre 2 y 4%), hay bajos niveles de nitrógeno y fósforo asimilables y los niveles de potasio son intermedios. El pH del suelo varió entre 6.4 y 8.0 (Gangotena et al., 1990).

Clima/Zonas Ecológicas de Vida¹¹:

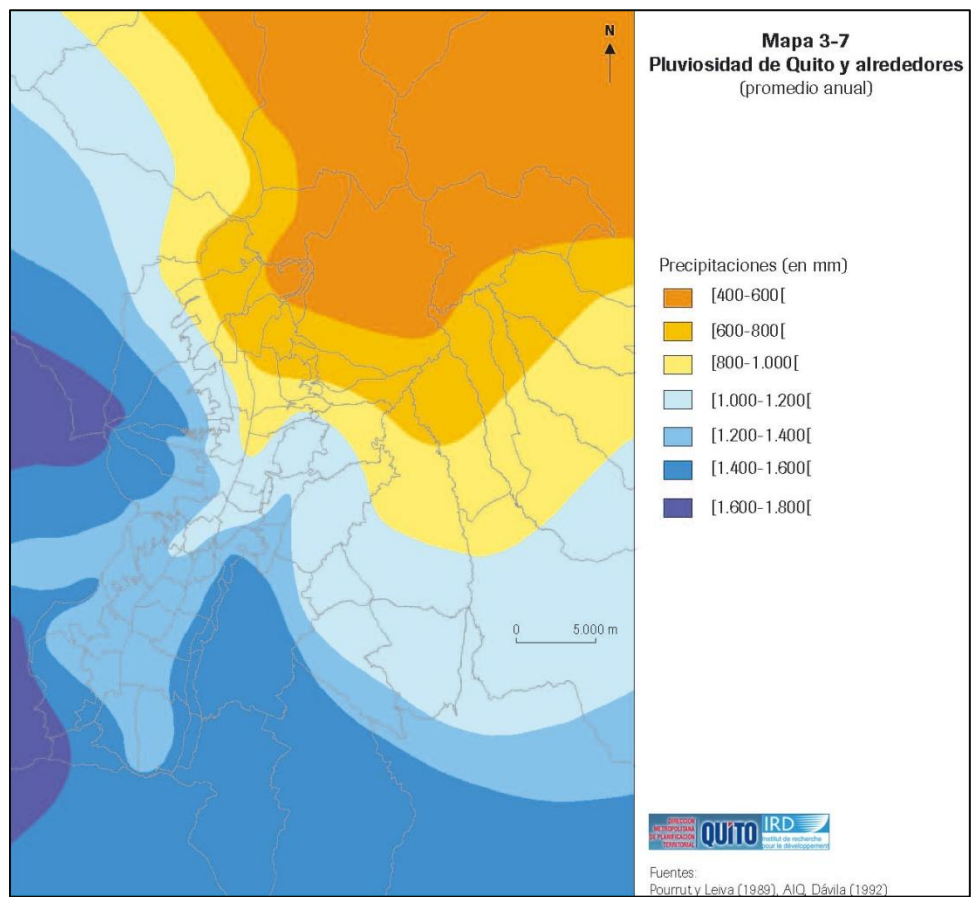


Figura 2.8: Mapa de la Pluviosidad del D.M.Q. (Fuente: Poumut y Leiva 1989)

¹¹ <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm>; CAP(r) BLANDIN LANDIVAR Carlos, “Clima y sus aplicaciones características en el Ecuador”, 1976; INAMHI.

Las zonas ecológicas de vida (áreas geográficas con similares características biofísicas y climáticas) influyen en el patrón de uso del suelo y, en general, en el desarrollo espacial de Quito.

El Distrito Metropolitano de Quito, incluyendo el núcleo urbano y la zona de transición urbano-rural periférica, abarca ocho zonas ecológicas de vida definidas por el sistema de Holdridge (1967), más dos zonas de transición. Tres de estas zonas de Holdridge (más una zona de transición) están presentes dentro de la región del núcleo urbanizado y todas están en el área metropolitana.

El gobierno metropolitano ha desarrollado su propio sistema de clasificación, dividiendo al Distrito en tres regiones amplias, de acuerdo con las características de precipitación, altitud y temperatura. Estas clasificaciones parecen centrarse solamente en áreas de asentamientos humanos, y no incorporan las zonas elevadas e inhabitadas de la cadena montañosa occidental.

Zona Interandina Seca: localizada en los valles bajos al extremo norte de la región metropolitana, cerca de la Línea Equinoccial (Le., San Antonio, Calderón, Guayllabamba). Estas áreas tienen una altura de 1500 a 2800 metros, con:

- Una precipitación anual promedio de 554 mm/año.
- La principal estación lluviosa va de septiembre a noviembre, en tanto que la menos importante va de diciembre a abril. La estación seca va de mayo a agosto, con temperaturas altas y casi ausencia de precipitaciones.
- Las temperaturas promedio van de 16 a 18 grados C°.

- Humedad relativa de entre 65 - 80 %.
- Nubosidad entre 5 y 6/8 de cielo cubierto.

Zona Interandina I: localizada entre 2400 a 3100 m. de altura, incluyendo la mayor parte de la ciudad de Quito y los valles templados al Este y el Sur (i.e., Cumbayá, Tumbaco, Puembo, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Checa, Nono, Calacalí, Nayón, Zámiza, Lloa). La principal estación lluviosa ocurre de septiembre a noviembre, con un período lluvioso menos pronunciado de diciembre a abril y una estación seca que se extiende de mayo a agosto.

- La precipitación anual entre 770mm a 1250 mm.
- Las temperaturas promedio van de 12 a 16 grados C°.
- Nubosidad cambiando entre 4 y 7/8 de cielo cubierto.
- Una heliofanía efectiva entre 136 y 170 (horas/mes) los meses de octubre a mayo y 180 y 220 (horas/mes) en los meses de junio a septiembre.
- Temperatura máxima absoluta inferiores a los 30 C° en su mayor parte.
- Temperatura mínima absoluta pueden llegar a los 2.2 grados C° en algunas ocasiones.
- Humedad relativa entre 77% a 83%

Zona Interandina II: Incluye las zonas más altas de Pintag al Sudeste y la cadena montañosa al Occidente. Existe un período lluvioso de septiembre a abril y una estación seca severa entre mayo y agosto. La precipitación anual total es, en promedio, alrededor de 1400 mm.

- Las temperaturas promedio van de 10 a 16 grados C°
- Humedad relativa superando el 80%.
- La nubosidad varía entre los 2 y 6/8 de cielo cubierto.
- Temperatura mínima absolutas se anotan entre 0° y 7°C.

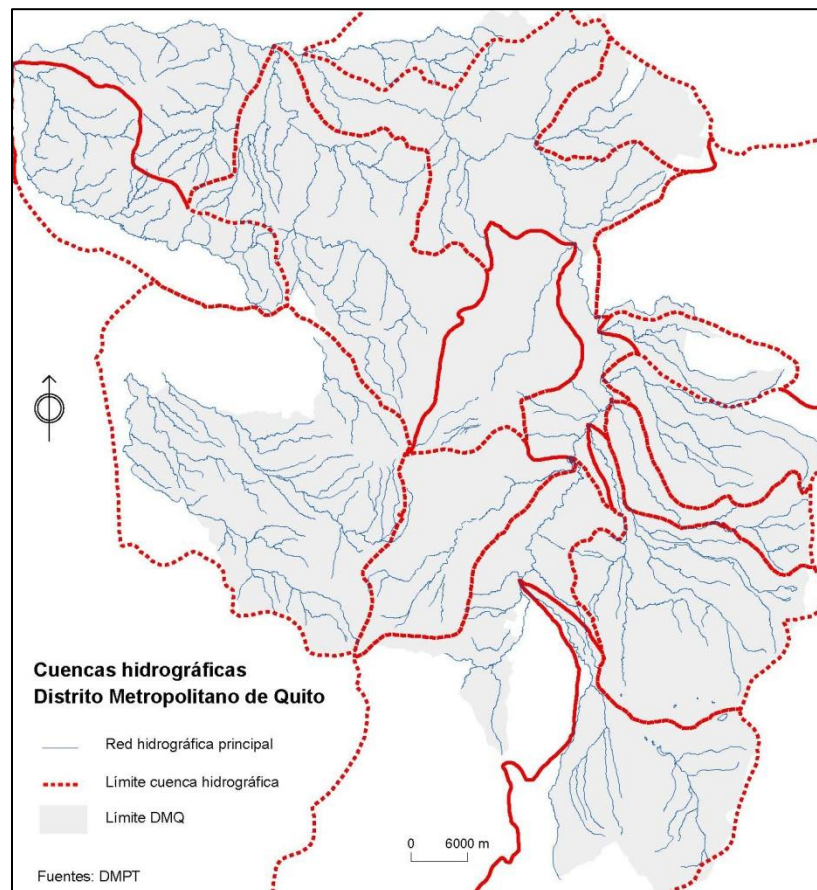


Figura 2.9: Mapa de las cuencas hidrográficas del D.M.Q. (Fuente: DMPT)

2.3 Canteras¹².

La demanda de áridos para la construcción en Quito está 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.

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 importante que define el valor del mismo. El cálculo de la reservas es indispensable antes de la explotación de una cantera. Lamentablemente en el pasado se ha considerado esta necesidad en los alrededores de Quito, y solamente en pocos casos. Hay innumerables ejemplos de explotación sin éxito, que se relacionaban en parte con grandes inversiones.

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 existe áridos que concuerden con las normas en todos sus puntos. Esto depende del inexistente control estatal de

¹² BRITO S., SOSA J., WOLFF F. (1992); "Reubicación de las nuevas canteras en el área de Quito"

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 rio 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 nuevamente. 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 optimo rendimiento al yacimiento.

Para el desarrollo de nuestra tesis se ha tomado cinco canteras alrededor del Distrito Metropolitano de Quito las cuales son San Antonio, Pintag, Pifo, Nayón y Guayllabamba, por lo cual se va a proceder a dar las características generales de cada una de estas.

2.3.1 Guayllabamba.

Ubicación e infraestructura:



Figura 2.10: 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 alado de la vía Calderón – 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

presenta la roca como volcánica maciza y potente, intercalados con delgadas capas de lutitas.

Reservas:

No hay material explotable.

Calidad:

La calidad de la arena triturada es de buena calidad. La resistencia a la abrasión es de 30.5%.

2.3.2 Pifo.

Ubicación e infraestructura:



Figura 2.11: Cantera de Pifo.

Ubicado al este de la población de Pifo, siguiendo el valle formado por el Rio Guambi ($0^{\circ}12'25.75''S$; $78^{\circ}18'56.54''$). Parte del flujo es cortado por la carretera asfáltica de Pifo – Papallacta.

Geología:

Forma parte del afloramiento relacionado al Antisana el flujo de lava con transición a brechas. Brechas se encuentran en la parte superior y en el piso del flujo.

La brecha es una escoria espumosa, mientras la lava es muy masiva. Hay una capa delgada de cangagua.

Reservas:

Mayores a 10'000.000 m³

Calidad:

En el valor para la resistencia a la abrasión es de 22, con esto podemos indicar que se trata de rocas de calidad superior.

La utilización como árido para hormigón superior es problemática debido a la presencia de rocas espumosas y masivas.

2.3.3 Pintag.

Ubicación e infraestructura:



Figura 2.12: Cantera de Pintag.

Se encuentra al Sur – Sureste de la población de Pintag $0^{\circ}25'20.18''S$; $78^{\circ}21'27.31''O$. Un camino asfaltado que va desde Pintag a la hacienda Pinantura cruza por el frente del flujo.

Geología:

Es un flujo relacionado al Antisana de lava procedente de la Laguna Muerte Pungo, con una longitud de 10 Km. La lava es muy joven. No tiene una sobrecarga. Se presenta como una lava de bloques con una matriz de material volcánico arenoso. Los bloques pueden ser masivos y también porosos.

Reserva:

Mayores a 10'000.000 m³.

Calidad:

En los valores para la resistencia a la abrasión 30.75, podemos indicar que se trata de lavas de calidad superior.

La utilización como áridos para hormigón superior es problemática debido a la presencia de rocas espumosas y masivas.

2.3.4 San Antonio.

Ubicación e infraestructura.



Figura 2.13: Cantera de San Antonio.

Ubicado a $0^{\circ}00'25.99''\text{N}$; $78^{\circ}28'20.62''\text{O}$ 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 por un camino afirmado de una extensión de 2 km

Geología:

El domo forma el borde Sureste del cráter Pululahua y cubre una área de aproximadamente 4 Km^2 . En el costado Sur hay piroclastos de la formación

Cangagua y en el noroeste y este, brechas comagmáticas limitan el yacimiento. En los taludes de diferentes canteras se ve, que la roca está atravesada por zonas irregulares de alteración hidrotermal con piritizaciones.

Reservas:

Mucho más de 10 millones de m³.

Calidad:

La roca no llega a los límites de calidad para realizar un micropavimento de calidad ya que tiene una resistencia a la abrasión de 34, a pesar de esto se podría considerar un buen material.

2.3.5 Nayón.

Ubicación e infraestructura:



Figura 2.14: Cantera de Nayón.

Conocida también como Juiña está ubicada a $0^{\circ}10'17.57''\text{S}$; $78024'45.00''\text{O}$ unos 3 Km al Sureste de Nayón, al lado derecho del Rio San Pedro.

El acceso se realiza por la carretera que condice desde Nayón hasta la Planta Hidroeléctrica de Nayón junto al Rio San Pedro. Desde el desvío de la Planta se continúa hasta que se acaba el camino, aproximadamente 1 km.

Geología:

Meandro viejo del Rio San Pedro, constituida por capas de arena y grava de material andesítico con granulometría de hasta 2 cm con pocos rodados de 5 cm de diámetro.

La terraza tiene la forma de semicírculo y cubre un área de más o menos 16.000 m², la potencia promedio de la terraza se calcula en 7 m aproximadamente.

Reservas:

Se ha estimado en 100.000 m³

Calidad:

Tiene una resistencia a la abrasión de 34 por lo cual se puede considerar un material de buena calidad.

2.4 Normatividad.

2.4.1 Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Filler).

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayo
AASHTO T 2	ASTM D 75	Muestreo del agregado mineral
	ASTM C 128	Ensayo de Densidad, densidad relativa (Gravedad específica), y la absorción de Agregado Fino
AASHTO T 27	ASTM C 136	Análisis Granulométrico de los agregados
AASHTO T 11	ASTM C 117	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	Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles
AASHTO T 104	ASTM C 88	Ensayo para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o el sulfato de magnesio

Tabla 2.2: Normatividad para Agregados y Mineral de relleno (Filler).

2.4.2 Normatividad para el Asfalto Emulsificado.

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayo
AASHTO T 40	ASTM D 140	Muestreo de materiales bituminosos
AASHTO T 59	ASTM 244	Ensayos de Asfalto Emulsificado
AASHTO M 280	ASTM D 2397	Especificaciones para la emulsión catiónica

Tabla 2.3: Normatividad para el Asfalto Emulsificado.

2.4.3 Normatividad para el Residuo en la Emulsión.

Ensayos AASHTO	Ensayos ASTM	Ensayo
AASHTO T 59	ASTM 244	Ensayos de Asfalto Emulsificado
AASHTO T 53	ASTM D 36	Punto de ablandamiento por el uso del anillo y bola
AASHTO T 49	ASTM C 2397	Penetración 3,5 oz. (100 gr.) a los 5 segundos a 77°F (25°C)

Tabla 2.4: Normatividad para el Residuo en la Emulsión.

2.4.4 Normatividad para el Diseño en la Mezcla.

Ensayos ASTM	Ensayos ISSA	Ensayo
	ISSA A143	Recomendaciones de rendimiento Directrices para micro-pavimento
ASTM D6372-99a	-----	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 Húmero para mezclas de Slurry Seal curadas
-----	ISSA TB 139	Ensayo de Cohesión
-----	ISSA TB 144	Clasificación de Compatibilidad de Uso de los Schulze-Breuer
-----	ISSA TB 148	Modificación de la Prueba de Estabilidad Marshall
ASTM D1560	-----	Cohesímetro Hveem

Tabla 2.5: Normatividad para el Diseño en la Mezcla.

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS Y MINERAL DE RELLENO Ó FILLER

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS Y MINERAL DE RELLENO Ó FILLER

3.1 Agregados Minerales¹³.

Los agregados minerales utilizados serán del tipo y gradación especificada y de uso exclusivo para Micropavimentos. El agregado será proveniente de roca triturada como granito, escoria, piedra caliza u otros agregados de alta calidad, o la combinación de ellas. 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: Arena (Agregado Mineral) triturada.

¹³ ISSA A-143

3.1.1 Muestreo de los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM D 75 -03

El muestreo de los agregados es tan importante como los ensayos mismos, por tanto para el muestreo se deberán tomar todas las precauciones del caso para que podamos contar con muestras que indique la naturaleza y condiciones del material que representan.

Obtención de Muestras:

General: Donde se practique, el muestreo debe ser realizado y obtenido del producto final; las muestras del producto final que serán probadas por pérdida a la abrasión, no deberán ser sometidas a aplastamiento o reducción manual del tamaño de las partículas en la preparación para la prueba de abrasión a menos que el tamaño del producto final, sea tan semejante que este requiere, para fomentar la reducción de propósitos probados.

Inspección: El material debe ser inspeccionado para determinar variaciones perceptibles.

Procedimiento.

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.



Figura 3.3: Muestreo desde la banda de transporte.

Muestreo desde el 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.



Figura 3.4: Muestreo desde el almacenaje.

3.1.2 Ensayo de Densidad, densidad relativa (Gravedad específica), y la absorción de Agregado Fino para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM C 128.

Este método cubre la determinación de la densidad media de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino.

Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en (Kg/m^3) ó (lb/pe^3), es expresada como secada al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSD) o densidad aparente, igualmente la densidad relativa (gravedad específica).

La densidad relativa (gravedad específica), es generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas incluido el concreto con cemento Portland, cemento asfáltico, y otro tipo de mezclas cuyas proporciones son analizadas en base a su volumen absoluto.

Muestra: La muestra será tomada de acuerdo a la norma ASTM D 75, y reducirla hasta obtener un espécimen de aproximadamente 1000 gramos. Utilice los procedimientos de la norma ASTM C 702.

Preparación de la Muestra:

- Secar el espécimen de prueba a 110 ± 5 °C y una vez que se encuentre con peso constante dejar enfriar.

- Cubrir con agua ya sea por inmersión o por adición de 6% de humedad en el agregado fino y perdurar por 24 h \pm 4h.
- Decantar el exceso de agua con cuidado de perder finos, y esparcir la muestra sobre una superficie plana, no absorbente y someterla a la acción de de una corriente suave de aire caliente. Mezcle para que el secado se homogéneo hasta que las partículas de agregado fino no se adhieran entre si y el espécimen haya alcanzado la condición de saturada superficie seca. Si la muestra se ha seco demasiado, saturar durante 30 minutos y repetir el ensayo.



Figura 3.5: Secado de la muestra.

Ensayo de humedad superficial:

- Se debe sujetar firmemente una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo.

- Colocar una porción de agregado fino parcialmente secado sin apretarlo en el molde hasta llenar el borde y compactar el material adicional por encima del molde para asentar, usando los dedos de la mano para sujetar el molde.
- Suavemente apisone el agregado fino dentro del molde con 25 suaves caídas del pistón metálico a aproximadamente 5 mm. por encima de la superficie del agregado fino.



Figura 3.6: Ensayo de humedad, colocación de agregado en el cono.

- Retirar el exceso de arena alrededor del molde y levantar el mismo verticalmente.
- Si aún mantiene la forma del molde, se sabe que aun existe humedad superficial presente, caso contrario la muestra se disgrega levemente, y se tendrá la condición de saturada superficie seca.



Figuras 3.7: Ensayo de humedad, desmolde de agregado.

Procedimiento Gravimétrico (Picnómetro)

- Llenar el picnómetro con agua hasta la marca de aforo a una temperatura de 23 ± 2 °C y pese.

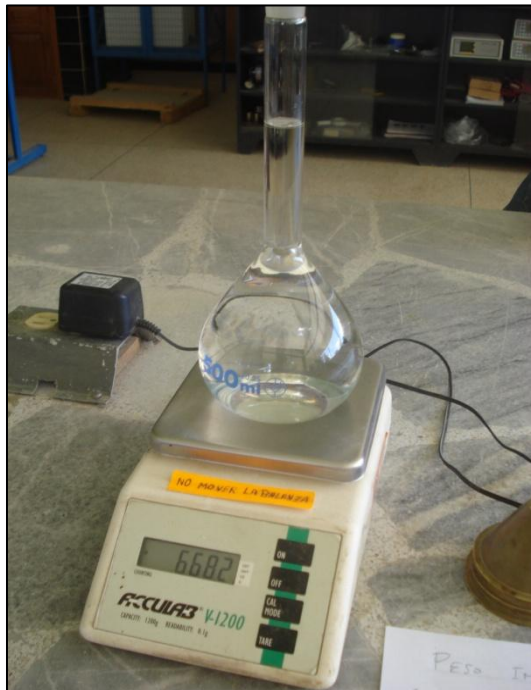


Figura 3.8: Pesando el picnómetro con agua.

- Vaciar parcialmente al picnómetro que contiene agua.
- Introducir dentro del picnómetro 500 ± 10 gramos de muestra en condición saturada superficie seca y adicionar agua hasta un aproximado de 90% de su capacidad.
- Eliminar todas las burbujas de aire. Procedimientos manuales requiere entre 15 a 20 minutos para la eliminación de dichas burbujas.



Figura 3.9: Eliminación de las burbujas de aire.

- Llene el picnómetro con agua hasta la marca de calibración y ajuste la temperatura del picnómetro a 23 ± 2 °C.
- Determine la masa total del picnómetro que contiene al espécimen y al agua.



Figura 3.10: Pesando el picnómetro con agregado y agua.

- Vaciar el picnómetro en un recipiente y dejarlo secar hasta masa constante a 110 ± 5 °C, dejar enfriar y determinar la masa de la muestra seca.



Figura 3.11: Pesando el picnómetro con agua.

Temperatura °C	Peso Específico	K
10	0,99973	1,002
11	0,99963	1,001
12	0,99953	1,001
13	0,99941	1,001
14	0,99927	1,001
15	0,99913	1,001
16	0,99897	1,001
17	0,99880	1,001
18	0,99862	1,000
19	0,99843	1,000
20	0,99823	1,000
21	0,99802	1,000
22	0,99780	1,000
23	0,99757	0,999
24	0,99733	0,999
25	0,99708	0,999
26	0,99681	0,999
27	0,99654	0,998
28	0,99626	0,998
29	0,99598	0,998
30	0,99568	0,997

Tabla 3.1: Peso Específico del Agua y Factor “K”

3.1.2.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

A	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	g	500
C	Peso de la Muestra Seca	g	488,6
D	Peso del Frasco lleno de Agua	g	668,2
E	Peso del Frasco lleno con la Muestra Saturada	g/cm ³	961
γ	Peso Específico del Agua a la Temperatura a la que se realizó el ensayo	g/cm ³	0,9978
$(C/(C+D-E))*\gamma$	Peso Específico del Material Impermeable de las Partículas	g/cm ³	2,49
$(A/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Saturadas con Superficie Seca	g/cm ³	2,41
$(C/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Secas	g/cm ³	2,35
$(A-C/C)*100$	Absorción del Agua	%	2,33%

Tabla 3.2: ASTM C 128 Guayllabamba.

OBSERVACIONES

T° = 22,2°C

- **Cantera: Pifo**

A	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	g	500
C	Peso de la Muestra Seca	g	480,84
D	Peso del Frasco lleno de Agua	g	666,55
E	Peso del Frasco lleno con la Muestra Saturada	g/cm ³	966,97
γ	Peso Específico del Agua a la Temperatura a la que se realizó el ensayo	g/cm ³	0,99757
$(C/(C+D-E))*\gamma$	Peso Específico del Material Impermeable de las Partículas	g/cm ³	2,66
$(A/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Saturadas con Superficie Seca	g/cm ³	2,50
$(C/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Secas	g/cm ³	2,40
$(A-C/C)*100$	Absorción del Agua	%	3,98%

Tabla 3.3: ASTM C 128 Pifo.

OBSERVACIONES

T° = 23°C

- **Cantera: Pintag**

A	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	g	500
C	Peso de la Muestra Seca	g	488,49
D	Peso del Frasco lleno de Agua	g	668,2
E	Peso del Frasco lleno con la Muestra Saturada	g/cm ³	970,61
γ	Peso Específico del Agua a la Temperatura a la que se realizó el ensayo	g/cm ³	0,9978
$(C/(C+D-E))*\gamma$	Peso Específico del Material Impermeable de las Partículas	g/cm ³	2,62
$(A/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Saturadas con Superficie Seca	g/cm ³	2,52
$(C/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Secas	g/cm ³	2,47
$(A-C/C)*100$	Absorción del Agua	%	2,36%

Tabla 3.4: ASTM C 128 Pintag.

OBSERVACIONES

T° = 22,3°C

- **Cantera:** San Antonio

A	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	g	500
C	Peso de la Muestra Seca	g	474,1
D	Peso del Frasco lleno de Agua	g	670,3
E	Peso del Frasco lleno con la Muestra Saturada	g/cm3	971,2
γ	Peso Específico del Agua a la Temperatura a la que se realizó el ensayo	g/cm3	0,99681
$(C/(C+D-E))*\gamma$	Peso Específico del Material Impermeable de las Partículas	g/cm3	2,73
$(A/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Saturadas con Superficie Seca	g/cm3	2,50
$(C/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Secas	g/cm3	2,37
$(A-C/C)*100$	Absorción del Agua	%	5,46%

Tabla 3.5: ASTM C 128 San Antonio.

OBSERVACIONES

T° = 25,6°C

- **Cantera:** Nayón

A	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	g	500
C	Peso de la Muestra Seca	g	483,8
D	Peso del Frasco lleno de Agua	g	669,9
E	Peso del Frasco lleno con la Muestra Saturada	g/cm ³	975,8
γ	Peso Específico del Agua a la Temperatura a la que se realizó el ensayo	g/cm ³	0,99802
$(C/(C+D-E))*\gamma$	Peso Específico del Material Impermeable de las Partículas	g/cm ³	2,71
$(A/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Saturadas con Superficie Seca	g/cm ³	2,57
$(C/(A+D-E))*\gamma$	Peso Específico de las Partículas Secas	g/cm ³	2,49
$(A-C/C)*100$	Absorción del Agua	%	3,35%

Tabla 3.6: ASTM C 128 Nayón.

OBSERVACIONES

T° = 21°C

3.1.3 Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA AASHTO T 96 – 77.

Esta norma se refiere a un procedimiento para ensayar agregados pétreos gruesos de tamaño inferior a 37,5 mm. (1½”) a la resistencia a la abrasión, empleando la máquina de ensayo de los Ángeles.



Figura 3.12: Maquina de los Ángeles.

Muestra: La muestra del ensayo consistirá en un agregado limpio representativo del material bajo ensayo. Si el agregado está sucio o recubierto, se lo lavará hasta limpiarlo.



Figura 3.13: Agregado tamizado y lavado.

El agregado será secado hasta peso constante, se lo separará en fracciones por tamaños individuales y se lo recombinará hasta la granulometría de la Tabla 3.7, que más se aproxime al rango de tamaños en el agregado empleado en los trabajos. El peso de la muestra antes de ensayarla será registrado con la aproximación de 5 gramos.

Tamaño del Tamiz		Peso de los tamaños indicados, gramos			
Pasa	Retenido en	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")	6,3 mm (¼")			2500 ± 10	
6,3 mm (¼")	4,75 mm (N° 4)			2500 ± 10	
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 3.7: Gradación de las Muestras de Ensayos.

Gradación	Número de esferas	Peso de Carga, en gramos
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 3.8: Carga abrasiva.

Procedimiento:

- La muestra para el ensayo y la carga abrasiva serán colocadas en la máquina de los Ángeles para abrasión. La máquina será puesta en rotación a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. durante 500 ± 1 revoluciones. La máquina será manejada contrabalanceada para mantener sustancialmente una velocidad periférica.



Figura 3.14: Agregado y carga abrasiva.

- Una vez cumplido el número de revoluciones prescrito, se descarga el material de la maquina y se hará una separación preliminar de la muestra sobre el tamiz de 4,75mm. La porción más fina será tamizada sobre el tamiz de 1,70 mm. (N° 12) de acuerdo a los requerimientos de la muestra y la norma AASTHO T-27 “Ensayo para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos”. El material

de tamaño superior a 1,70 mm. será lavado, secado a peso constante y pesado con una aproximación de 5 gramos.



Figura 3.15: Agregado ensayado.

Cálculos:

- La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, será expresado como porcentaje del peso original de la muestra del ensayo. Este valor será informado como el porcentaje de desgaste.

3.1.3.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

Graduación escogida : TIPO D

A	Peso del Material antes del Ensayo	g	5000
B	Peso del Material no desgastado después del Ensayo	g	3474
C = A -B	Pérdida por desgaste	g	1526
$D = (C/A)*100$	IDEM	%	30,52

Tabla 3.9: AASHTO 96 – 77, Guayllabamba.

- **Cantera:** Pifo

Graduación escogida : TIPO D

A	Peso del Material antes del Ensayo	g	5000
B	Peso del Material no desgastado después del Ensayo	g	3900,5
C = A -B	Pérdida por desgaste	g	1099,5
$D = (C/A)*100$	IDEM	%	21,99

Tabla 3.10: AASHTO 96 – 77, Pifo.

- **Cantera:** Pintag

Graduación escogida : TIPO D

A	Peso del Material antes del Ensayo	g	5000
B	Peso del Material no desgastado después del Ensayo	g	3462,4
C = A -B	Pérdida por desgaste	g	1537,6
$D = (C/A)*100$	IDEM	%	30,75

Tabla 3.11: AASHTO 96 – 77, Pintag.

- **Cantera:** San Antonio

Graduación escogida : TIPO D

A	Peso del Material antes del Ensayo	g	5000
B	Peso del Material no desgastado después del Ensayo	g	3304,6
C = A -B	Pérdida por desgaste	g	1695,4
$D = (C/A)*100$	IDEM	%	33,91

Tabla 3.12: AASHTO 96 – 77, San Antonio.

- **Cantera:** Nayón

Graduación escogida : TIPO D

A	Peso del Material antes del Ensayo	g	5000
B	Peso del Material no desgastado después del Ensayo	g	3113
C = A -B	Pérdida por desgaste	g	1887
$D = (C/A)*100$	IDEM	%	37,74

Tabla 3.13: AASHTO 96 – 77, Nayón.

3.1.4 Ensayo de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA – ASTM D 2419.

Este método de ensayo pretende servir como una prueba de correlación rápida en campo. El propósito de este método de ensayo es indicar, en condiciones normalizadas, las proporciones relativas de finos o arcilla, finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz No. 4 (4,75mm).

El término “Equivalente de Arena”, expresa el concepto el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos, son una mezcla de partículas gruesas deseables, arena; y arcilla, finos plásticos y polvo, generalmente indeseables.

Muestra:

- Se obtienen por lo menos 1500 gramos de material que pase el tamiz de 4,75 mm. (N° 4) de la siguiente manera:
 - Tamizar la muestra sobre el tamiz 4,75 mm. (N° 4).
 - Desmenuzar cualquier agregación de material en fracción gruesa que pase el tamiz 4,75 mm. (N° 4). Emplee un mortero y pistón cubierto de caucho.

- Remover cualquier recubrimiento de finos que tenga adherido el agregado grueso.
- Tome el material pasante del tamiz 4,75 mm. (N° 4).
 - Cuartee la muestra, tome cuatro medidas utilizando el recipiente de medición.
 - Secar las muestras a peso constante a 110 ± 5 °C, dejar enfriar.



Figura 3.16: Muestra a usar.

Preparación del aparato:

- Se coloca el dispositivo de sifonado e un frasco de 3,8 litros (1 galón) con solución de trabajo de cloruro de calcio. Se coloca el frasco sobre una repisa encima de la superficie de trabajo.



Figura 3.17: Sifonamiento.

- Se inicia el sifonado, soplando sobre la parte superior del frasco con solución, a través de un corto trozo de tubería, mientras la grapa de pinzas está abierta.

Procedimiento:

- Se sifona dentro del cilindro plástico, solución de trabajo de cloruro de calcio hasta una altura de $101,6 \pm 2,54$ mm (Indicada sobre la graduación del cilindro)



Figura 3.18: Sifonamiento.

- Se vierte una de las muestras para ensayo dentro del cilindro plástico usando un embudo para evitar pérdidas de material.



Figura 3.19: Vertido del agregado.

- Golpear vivamente la parte inferior del cilindro sobre la parte posterior de la palma de la mano, varias veces para liberar las burbujas de aire y mejorar el completo mojado de la muestra.
- Dejar el cilindro con la muestra mojada en reposo, sin perturbarla durante un rango de 10 ± 1 minuto.



Figura 3.20: Muestra en reposo.

- Al concluir el periodo de remojo de 10 minutos, tapar el cilindro; luego, remover el material del fondo del cilindro mediante la inversión parcial del cilindro y el agitado simultáneo.
- Después de aflojar el material del fondo del cilindro, se procede a agitar el cilindro y su contenido.

Agitación Manual:

- Una vez tapado el cilindro, se procede a mantener el cilindro en posición horizontal, y se lo agita vigorosamente con un movimiento lineal horizontal de extremo a extremo.



Figura 3.21: Agitación Manual.

- Se agita el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos empleando un recorrido de 229 ± 25 mm. Se define a un ciclo como el movimiento completo hacia un lado y hacia el otro.

- Completada la operación de agitado se coloca el cilindro en posición vertical sobre la mesa de trabajo y se quita el tapón.



Figura 3.22: Muestra destapada y agua hasta la marca.

Procedimiento de Irrigación:

- Durante el procedimiento de irrigación se mantiene el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Se inserta el tubo o irrigador en la parte superior del cilindro, se saca la grapa de pinzas de la manguera y se lava el material de las paredes del cilindro a medida que desciende el irrigador. Se fuerza el irrigador a través de material del fondo del cilindro con movimiento de giro y suave “apuñalamiento” mientras la solución de trabajo fluye por la punta del irrigador. Esto lleva material fino a suspensión por sobre las partículas gruesas de la arena.

- Se continúa aplicando el movimiento de “enroscar y apuñalar” mientras los finos fluyen arriba hasta que el cilindro se llene hasta la graduación de 381 mm. (15 pulgadas) mientras se saca el tubo del irrigador. Se regula el flujo antes de que el tubo irrigador sea totalmente retirado y se ajusta el nivel final de la gradación a los 381 mm. (15 pulgadas).
- Se deja en reposo, sin perturbarlo, al cilindro y su contenido durante 20 minutos \pm 15 segundos. Se inicia la cuenta inmediatamente después de traer el tubo irrigador.
- Al final del periodo de sedimentación de 20 minutos, se lee y registra el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa; esta se denomina “Lectura de Arcilla”. Si no se ha formado una línea de demarcación al final del periodo de sedimentación de 20 minutos especificados, se deja la muestra en reposo ininterrumpido, hasta que pueda obtenerse una lectura de arcilla, luego se lee inmediatamente y se registra tal nivel superior de la suspensión de arcilla y el tiempo de sedimentación total. Si el tiempo total de sedimentación excede los 30 minutos, se repite el ensayo usando tres muestras individuales del mismo material. Se registra la altura de la columna de arcilla para la muestra que se requiera el menor tiempo de sedimentación.

Determinación de la “Lectura de Arena”:

- Después de haber tomado la lectura de arcilla, se coloca el dispositivo con el pie de contrapeso en el cilindro y suavemente se lo hace descender hasta que el dispositivo apoye sobre la arena. No se permitirá que el indicador golpee la boca del cilindro cuando se hace descender a este dispositivo.
- Cuando el contrapeso apoye la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro. Restando 354 mm (10 pulgadas) del nivel indicado por el borde del extremo superior del indicador se obtendrá el valor que se registra como “Lectura de Arena”.



Figura 2.23: Lectura de Arena.

3.1.4.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

			Muestra No.	
			1	2
A	Lectura de Arena		13,2	13,28
B	Lectura de Arcilla		3,81	4,09
C = A-10	Nivel de Arena		3,2	3,28
D = (C/B)*100	Equivalente de Arena	%	83,99	80,20
	Equivalente de Arena	%	84,00	81,00
(N°1+N°2)/2	Equivalente de Arena Total	%	83,00	

Tabla 3.14: ASTM D 2419, Guayllabamba.

- **Cantera:** Pintag

			Muestra No.	
			1	2
A	Lectura de Arena		13,5	13,15
B	Lectura de Arcilla		4,5	4,2
C = A-10	Nivel de Arena		3,5	3,15
D = (C/B)*100	Equivalente de Arena	%	77,78	75,00
	Equivalente de Arena	%	78,00	75,00
(N°1+N°2)/2	Equivalente de Arena Total	%	77,00	

Tabla 3.15: ASTM D 2419, Pintag.

- **Cantera: Pifo**

			Muestra No.	
			1	2
A	Lectura de Arena		13	12,3
B	Lectura de Arcilla		4,5	3,5
C = A-10	Nivel de Arena		3	2,3
D = (C/B)*100	Equivalente de Arena	%	66,67	65,71
	Equivalente de Arena	%	67,00	66,00
(N°1+N°2)/2	Equivalente de Arena Total	%	67,00	

Tabla 3.16: ASTM D 2419, Pifo.

- **Cantera: San Antonio**

			Muestra No.	
			1	2
A	Lectura de Arena		13,4	13,2
B	Lectura de Arcilla		3,8	3,6
C = A-10	Nivel de Arena		3,4	3,2
D = (C/B)*100	Equivalente de Arena	%	89,47	88,89
	Equivalente de Arena	%	90,00	89,00
(N°1+N°2)/2	Equivalente de Arena Total	%	90,00	

Tabla 3.17: ASTM D 2419, San Antonio.

- **Cantera:** Nayón

			Muestra No.	
			1	2
A	Lectura de Arena		13,55	13
B	Lectura de Arcilla		4,3	3,69
C = A-10	Nivel de Arena		3,55	3
$D = (C/B)*100$	Equivalente de Arena	%	82,56	81,30
	Equivalente de Arena	%	83,00	82,00
$(N^{\circ}1+N^{\circ}2)/2$	Equivalente de Arena Total	%	83,00	

Tabla 3.18: ASTM D 2419, Nayón.

3.1.5 Ensayo Granulométrico para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ASTM C 136 y C 117.

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 varía más del rango de tolerancia y aún así seguir dentro del rango degradación; de acuerdo al cuadro 3.1.

SIEVE SIZE	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	STOCKPILE TOLERANCE
3/8 (9.5 mm)	100	100	
# 4 (4.75 mm)	90 - 100	70 - 90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	65 - 90	45 - 70	± 5%
# 16 (1.18 mm)	45 - 70	28 - 50	± 5%
# 30 (600 um)	30 - 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 um)	18 - 30	12 - 25	± 4%
#100 (150 um)	10 - 21	7 - 18	± 3%
#200 (75 um)	5 - 15	5 - 15	± 2%

Cuadro 3.1: Gradación de acuerdo al tipo de Micropavimento.

3.1.5.1 Granulometría C 136

Este método de ensayo, abarca la determinación de la distribución de tamaño desde partículas de los agregados finos y gruesos mediante tamización.

Además este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la clasificación de los materiales que van a ser usados como áridos o agregados. Los resultados se usan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de los agregados según las especificaciones y proporcionar datos necesarios para el control de la producción de diversos productos y mezclas que contengan agregados.

Muestreo:

- El muestreo del agregado debe estar de acuerdo con lo establecido en la práctica ASTM D 75.

Procedimiento:

- Secar la muestra de 1000 gramos para mantener la masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Seleccionar los tamices con las aberturas convenientes para proporcionar la información necesaria para cubrir las especificaciones del material que se está ensayando.



Figura 3.24: Tamices a usar.

- Limitar la cantidad del material colocado para que todas las partículas tengan la oportunidad para alcanzar las aberturas del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado.
- Continuar con el tamizado por un periodo suficiente de manera que, después de concluir, no más del 1% por la masa del material retenido en algún tamiz individual pase sobre este durante 1 minuto de continuo tamizado manual.

Cálculos:

- Calcular el porcentaje que pasa, o el porcentaje total retenido, o el porcentaje en los tamaños de fracciones, aproximándolo al 0,1% más cercano en base a la masa total de la muestra inicial.

3.1.5.1.1 Resultados de los ensayos.

		Peso Inicial = 1000 gr.					
% Retenido	Tamiz		Guayllabamba	Pintag	Pifo	San Antonio	Nayón
	#	mm.	%	%	%	%	%
	.1/2	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	.3/8	9,5	5,80	0,00	3,98	3,40	6,86
	4	4,75	41,30	5,69	19,58	27,40	34,41
	8	2,36	58,80	26,42	37,93	51,90	57,86
	16	1,18	68,20	48,02	56,04	65,80	70,29
	30	0,6	79,50	65,96	70,09	78,00	82,36
	50	0,33	89,10	78,34	80,93	87,60	91,13
	100	0,15	95,00	87,03	88,22	93,70	95,30
	200	0,075	99,90	99,61	99,17	99,50	99,82
	p200	-	0,10	0,39	0,83	0,50	0,18

Tabla 3.19: ASTM C 136, % retenido.

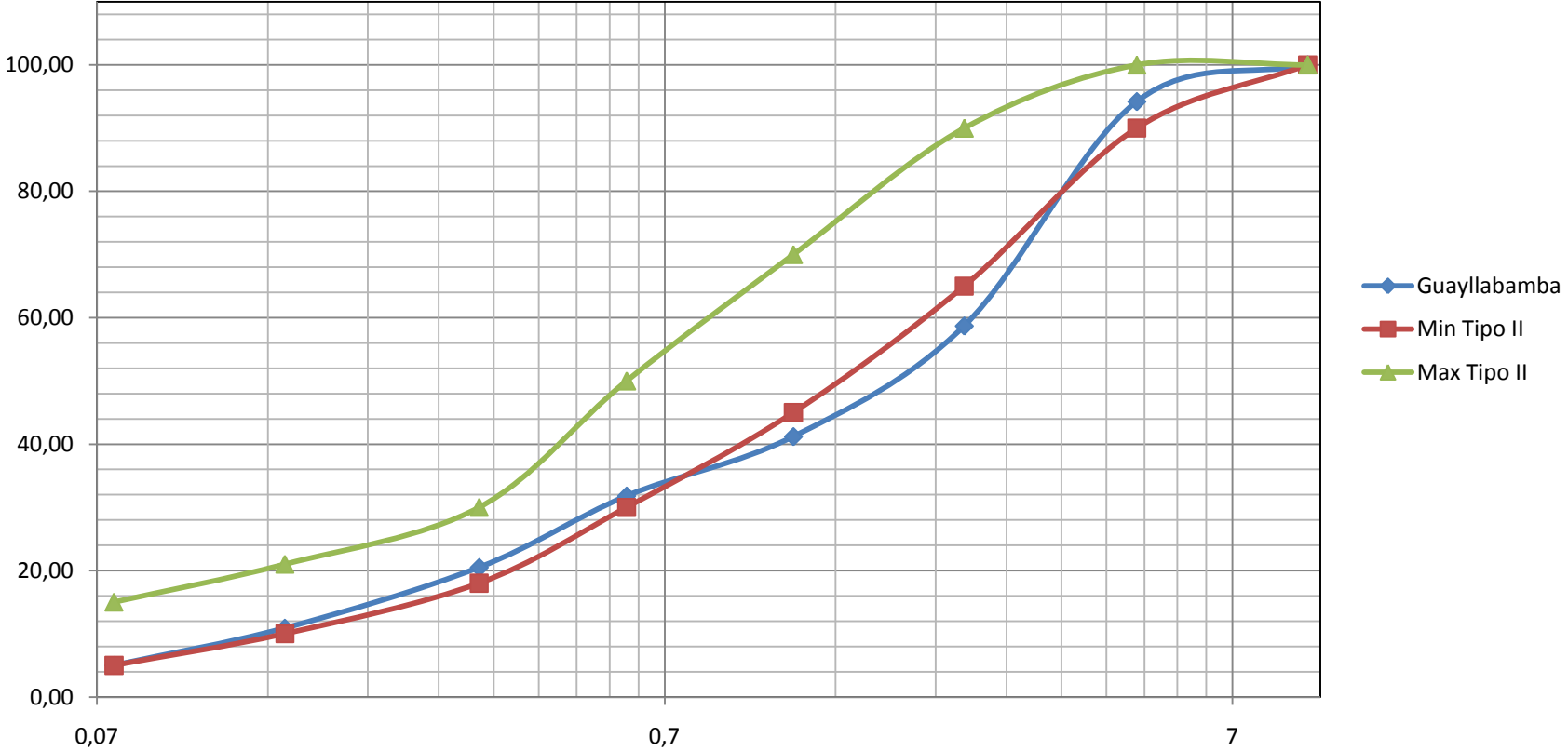
		Peso Inicial = 1000 gr.					
% Pasante	Tamiz		Guayllabamba	Pintag	Pifo	San Antonio	Nayón
	#	mm.	%	%	%	%	%
	.3/8	9,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	4	4,75	94,20	100,00	96,02	96,60	93,14
	8	2,36	58,70	94,31	80,42	72,60	65,59
	16	1,18	41,20	73,58	62,07	48,10	42,14
	30	0,6	31,80	51,98	43,96	34,20	29,71
	50	0,33	20,50	34,04	29,91	22,00	17,64
	100	0,15	10,90	21,66	19,07	12,40	8,87
	200	0,075	5,00	12,97	11,78	6,30	4,70
	p200	-	0,10	0,39	0,83	0,50	0,18

Tabla 3.20: ASTM C 136, % pasante.

Type II Pasante	
Min Tipo II	Max Tipo II
%	%
100	100
90	100
65	90
45	70
30	50
18	30
10	21
5	15

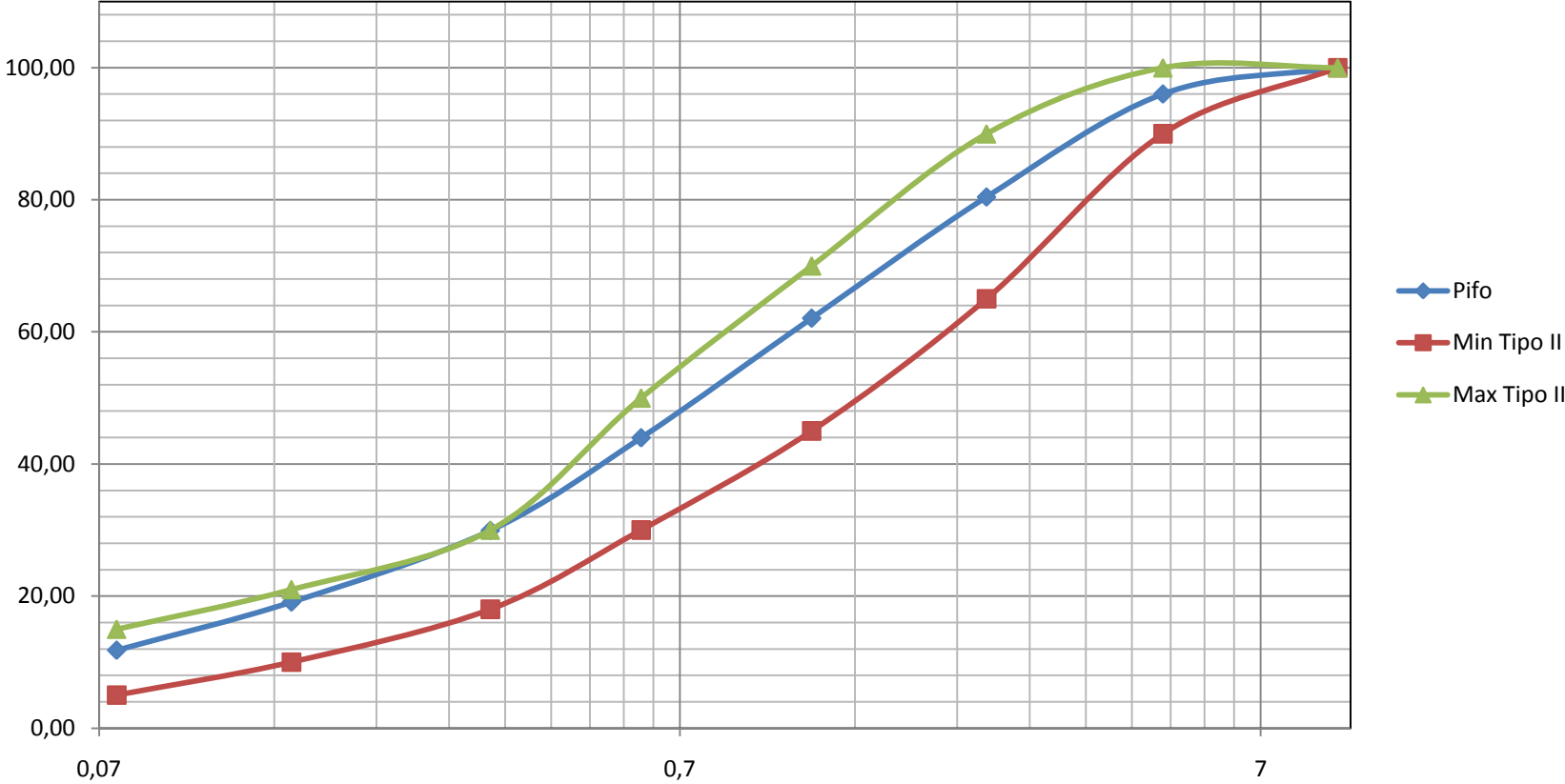
Tabla 3.21: Gradación Tipo II, rangos máximos y mínimos.

Cantera: Guayllabamba Ensayo de Granulometría ASTM C136



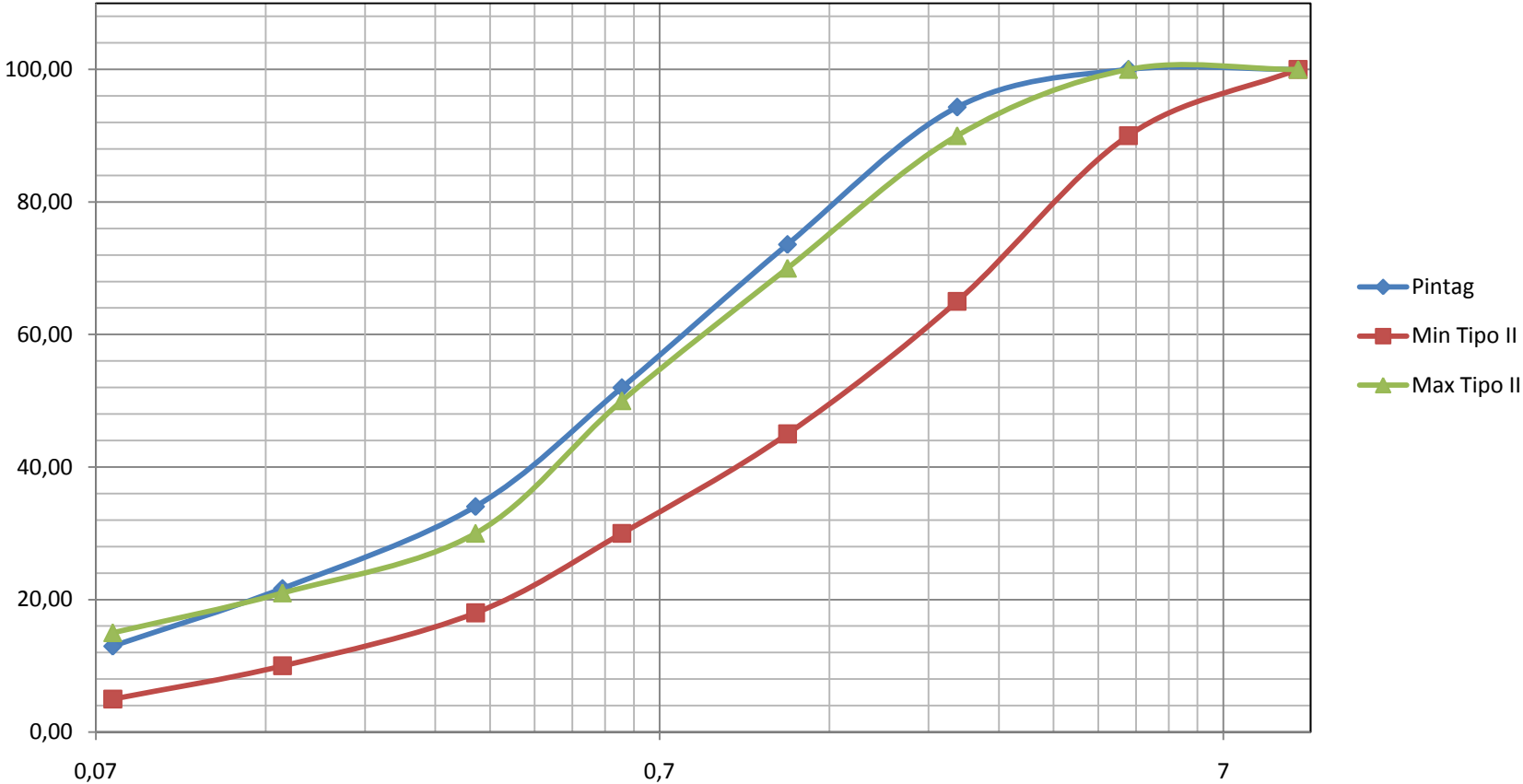
Cuadro 3.2: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.

Cantera: Pifo
Ensayo de Granulometría ASTM C136



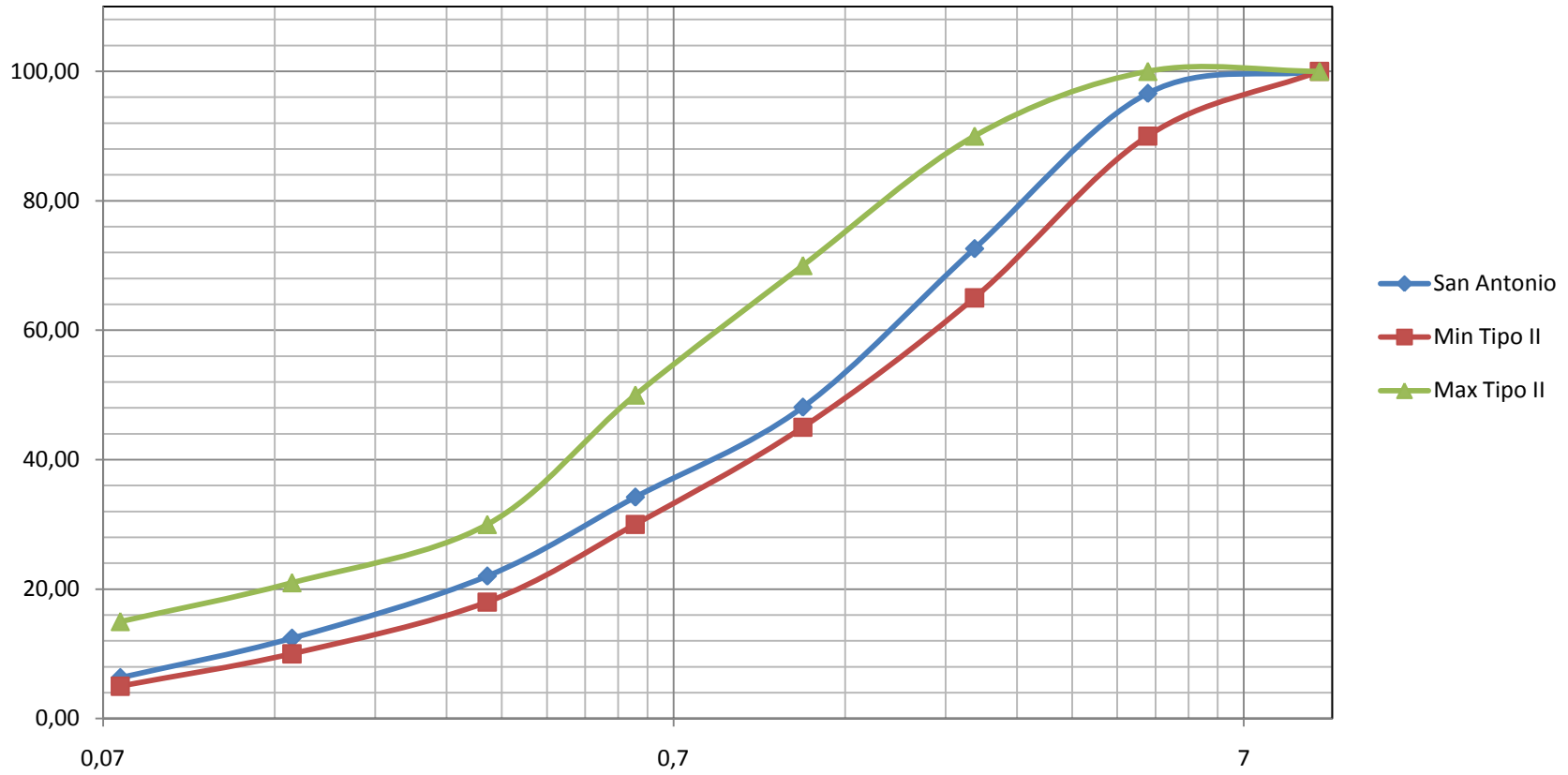
Cuadro 3.3: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pifo.

Cantera: Pintag
Ensayo de Granulometría ASTM C136



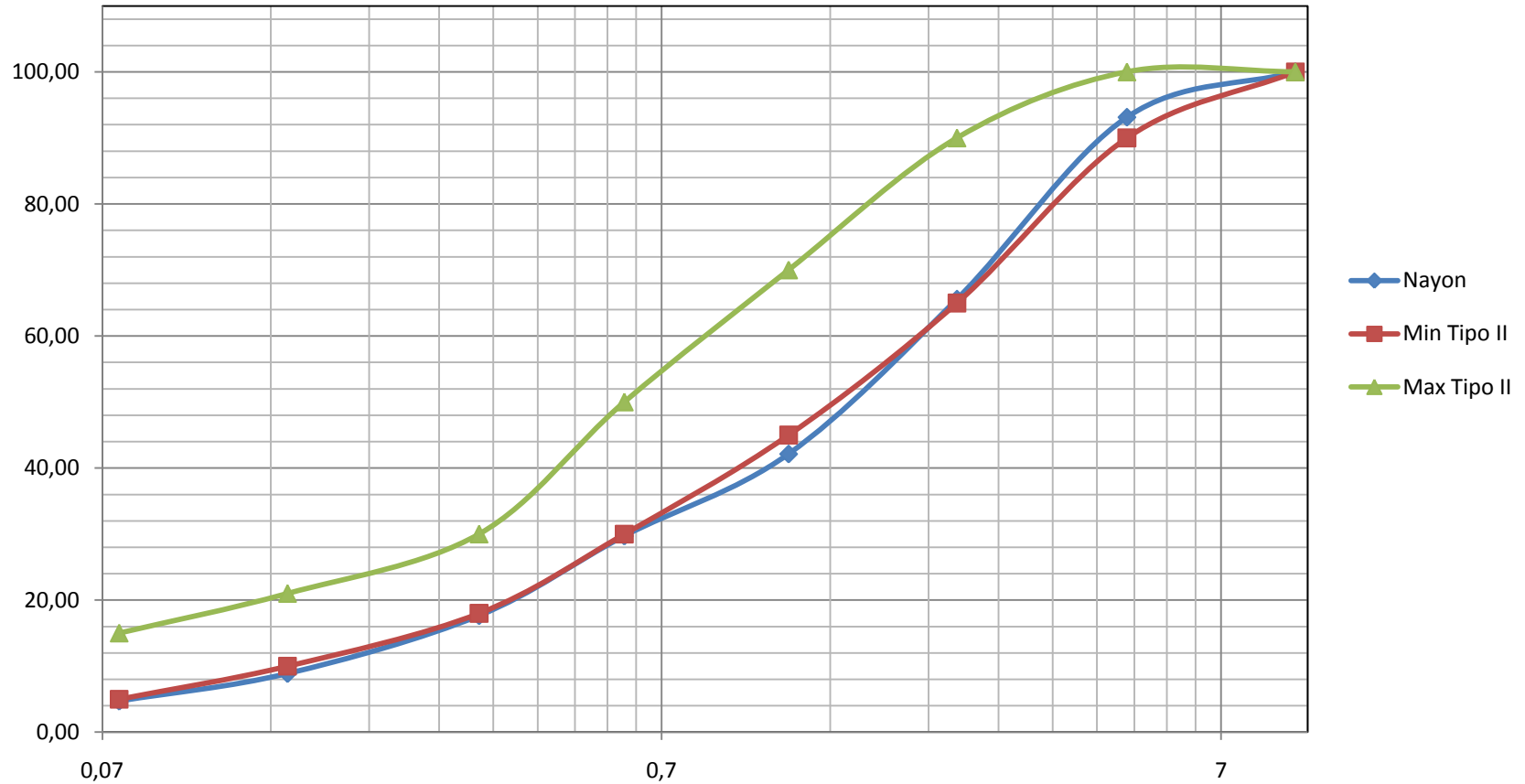
Cuadro 3.4: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pintag.

Cantera: San Antonio Ensayo de Granulometría ASTM C136



Cuadro 3.5; Curva Granulométrica, ASTM C 136, San Antonio.

Cantera: Nayón
Ensayo de Granulometría ASTM C136



Cuadro 3.6: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Nayón.

3.1.5.2 Granulometría C 117

Este método de ensayo cubre la determinación del importe de material más fino que el tamiz de 75- μm (N° 200) en agregado por lavado. Partículas de arcilla y otras partículas de agregado que son dispersadas por el agua de lavado, así como materiales solubles en agua, serán removidas del agregado durante el ensayo.

Muestreo:

- El muestreo del agregado debe estar de acuerdo con lo establecido en la práctica ASTM D 75.

Procedimiento A – Lavado con agua únicamente:

- Secar la muestra del ensayo a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Determinar la masa aproximando su lectura al 0,1% más cercano de la masa de la muestra de ensayo.



Figura 3.25: Agregado seco.

- Después de haber secado la muestra y determinado su masa, colocar la muestra de ensayo en un recipiente y añadir suficiente agua hasta cubrirla. No añadir al agua detergentes, agentes disipadores ni otra sustancia. Agitar la muestra con el vigor suficiente para separar completamente las partículas más finas que el tamiz de 75- μm (N° 200) de las partículas gruesas, y llevar al material fino a suspensión.



Figura 3.26: Lavado del Material a través del tamiz N° 200

- Inmediatamente vierta el agua del lavado cuidando que los sólidos suspendidos y disueltos se mantengan sobre la malla de los tamices, de los cuales el tamiz más grueso se ubicará en la parte superior. Tener precaución de evitar, tanto como sea posible, la decantación de las partículas gruesas de la muestra.

- Añadir la segunda carga de agua sobre la muestra contenida en el recipiente, agitar, y decantar como antes se mencionó. Repetir esta operación hasta que el agua salga limpia.



Figura 3.27: Agregado lavado, agua limpia.

- Regresar todo el material contenido en la malla de los tamices lavando los mismos sobre la muestra antes lavada. Secar la muestra del ensayo a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Determinar la masa aproximando su lectura al 0,1% más cercano de la masa de la muestra de ensayo.

3.1.5.2.1 Resultados de los ensayos.

Cantera	Guayllabamba	Pintag	Pifo	San Antonio	Nayón	
Pesos	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
B	Peso inicial	300	300	300	300	
C	En tamiz 200	262,5	249,8	245,23	264,2	263,55
A	$(B-C)/B*100$	12,5%	16,7%	18,3%	11,9%	12,2%

Tabla 3.22: ASTM C 117.

3.1.6 Ensayo de Absorción de Azul de Metileno de los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón con la NORMA ISSA TB - 145

Este método se utiliza para cuantificar la cantidad de arcillas nocivas en el grupo de esmectita, materia orgánica e hidróxidos de hierro presentes en un agregado, dando así una indicación general de la actividad de la superficie de un agregado.

Procedimiento:

- Una muestra representativa del agregado fino a ensayar se seca hasta peso constante y se seleccionan a través de ya sea el tamiz N° 200 o el tamiz N° 325.
- La porción del agregado que pasa el tamiz indicado va a ser analizada.
- Pesar un gramo con precisión de 0,05 gramos, del pasante del tamiz N° 200 o N° 325, se combina con 30 gramos de agua destilada en un vaso adecuado y se agita hasta que esté completamente mojado y dispersa. Se debe usar un agitador magnético.



Figura 3.28: Agitación magnética.

- Un gramo de azul de metileno se disuelve en agua destilada, compuesto por 1000 ml tal que 1 ml de solución contenga 1 mg de azul de metileno (MB). Esta solución (MB) se valora por etapas en 0,5 ml de alícuotas de la bureta en la continua suspensión agitada agregado fino.



Figura 3.29: Adición de MB.

- Después de cada adición de MB, se continúa la agitación durante 1 minuto. Después de este tiempo, una pequeña gota de la suspensión total se retira y se coloca en el papel de filtro con la varilla de vidrio. Adiciones sucesivas de MB se repiten hasta el punto final se alcanza.



Figura 3.30: Muestra colocada en el papel filtro.

- En un principio, un círculo bien definido de azul manchado de polvo de metileno es formado y está rodeado de un anillo externo o corona de Clearwater. El punto final se alcanza cuando una coloración permanente azul claro o "halo" se observa en este anillo de agua clara. Cuando se alcanza el punto de valoración final, se continúa la agitación durante cinco minutos y repetir el examen para determinar el punto final permanente. Pequeñas cantidades de azul de metileno se continúan hasta los 5 minutos hasta que se alcanza el punto final.

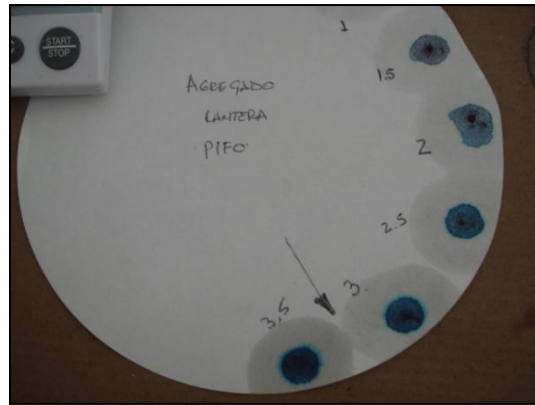


Figura 3.31: Ensayo de Azul de Metileno (MB).



Figura 3.32: Punto inicial del Ensayo de MB.

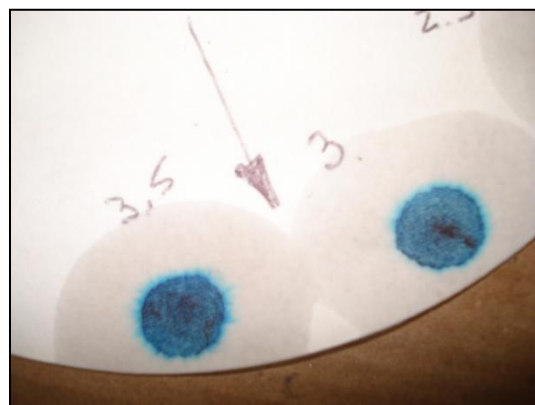


Figura 3.33: Punto final del Ensayo de MB.

3.1.6.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

MBV: 1 mg/g, N° 200.

- **Cantera:** Pifo

MBV: 3,75 mg/g, N° 200.

- **Cantera:** Pintag

MBV: 1,5 mg/g, N° 200.

Cantera: San Antonio

MBV: 13,5 mg/g, N° 200.

Cantera: Nayón

MBV: 3 mg/g, N° 200.

3.2 Mineral de Relleno (Filler)¹⁴



Figura 3.34: Punto final del Ensayo de MB. (Fuente: <http://www.akiur.com/?p=54>)

El mineral de relleno, si es necesario, será entenderá a cualquier marca reconocida de cemento Portland o cal hidratada, libre de grumos. La misma podrá ser aceptada mediante una inspección visual. El tipo y la cantidad de carga necesaria serán determinadas mediante un diseño de mezcla en laboratorio y que se considera como parte de la gradación del agregado. Una disminución o aumento del agregado de alrededor del uno por ciento (1%) será permitido cuando el Micropavimento se está colocando, si se comprueba que son necesarios para una mejor consistencia o tiempos establecidos.

Se debe tomar en cuenta que el mineral de relleno no deberá sobrepasar un tres por ciento (3%).

¹⁴ ISSA A-143

3.2.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba
Fillers: Cemento Portland, 1%

- **Cantera:** Pifo
Fillers: Cemento Portland, 2%

- **Cantera:** Pintag
Fillers: Cemento Portland, 3%

- Cantera:** San Antonio
Fillers: Cemento Portland, 1%

- Cantera:** Nayón
Fillers: Cemento Portland, 1%

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN, AGUA Y ADITIVOS.

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN, AGUA Y ADITIVOS.

4.1 Emulsión Asfáltica.

De acuerdo a la ISSA A – 143, se requiere una emulsión de rotura rápida al tránsito, modificada con polímeros, que se ajuste a los requisitos que se establece en la AASHTO M208 o ASTM D2397 para CQS – 1h. La prueba de cemento no será obligatoria para esta emulsión.

El polímero deberá ser molido o mezclado en el asfalto o la solución emulsionante antes del proceso de emulsificación.

La cantidad y el tipo de polímero deberá ser determinada por el laboratorio que realiza el diseño de la mezcla. El valor mínimo requerido se basará en el contenido de asfalto y el peso. En general un 3% de sólidos de polímeros, en función del peso del asfalto, se considera como mínimo.

La prueba de solución de cinco días se puede obviar, siempre que la emulsión almacenada se use dentro de las 26 horas desde el momento del envío.

4.1.1 ¿Emulsión Asfáltica?¹⁵

Se define a **una emulsión** como la dispersión de partículas muy pequeñas (fase dispersa o discreta) de un líquido dentro de otro líquido (fase continua o dispersante), los cuales son no miscibles entre sí.

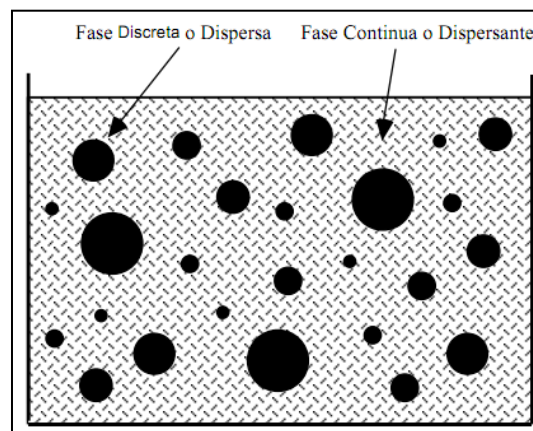


Figura 4.1: Diagrama esquemático de una Emulsión. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

Las emulsiones pueden estar formadas por dos líquidos, pero en la mayoría de los casos, una de las fases es agua.

Por tal motivo podemos hablar de que existen emulsiones del tipo **agua-en-aceite (O/W)** que son aquellas en las cuales la fase continua es agua y la fase dispersa es aceite o a su vez un líquido insoluble. El otro tipo de emulsiones lógicamente son las de **aceite-en-agua (W/O)** o también llamadas emulsiones invertidas, las que se caracterizan por que la fase continua es el aceite y la fase dispersa es agua.

¹⁵ <http://www.camineros.com/docs/cam043.pdf>

Como hemos visto agua y el aceite pueden formar emulsiones si son mezcladas por procesos físicos pero se separan muy fácil si se deja de mezclar; por ésta razón **las emulsiones estables contienen un tercer componente llamado emulsificante**, el cual cumple la función de prevenir o retardarla separación de las fases.

Generalmente las emulsiones asfálticas son de tipo **O/W**, mientras tanto que las emulsiones invertidas basadas en asfaltos diluidos tienen aplicaciones especiales. Hay evidencia que el asfalto puede formar emulsiones múltiples tipo **W/O/W**.

El tamaño de la fase dispersa generalmente tiene una dimensión lineal que es de un 0,01 a 20 micrones de diámetro.

4.1.2 Tipo de Emulsiones Asfálticas.

Para clasificar a las emulsiones asfálticas se puede tomar en cuenta:

- *Por su polaridad:*
 - **Aniónicas:** El agente emulsificante le confiere carga **negativa** a las partículas.
 - **Catiónicas:** El agente emulsificante le confiere carga **positiva** a las partículas.
- *Por su Velocidad de Rotura:*
 - **RS:** de rotura rápida. Usada para riegos de liga y carpetas por sistemas de riego.

- **MS:** de rotura media. Usada generalmente para mezclas en frio elaboradas en planta destinadas a bacheo, renivelación, etc.
 - **SS:** de rotura lenta. Usadas para mezclas en frio elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
 - **QS:** de rotura rápida. Usada para sistemas de rotura rápida en Slurry Seal.
- *De acuerdo a normas AASHTO y ASTM*

La nomenclatura usada para identificar a las emulsiones, ya sean de tipo aniónicas o de tipo catiónicas es la siguiente:

- La letra C: el uso de esta letra significa que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra significa aniónica o no aniónica.
- Las cifras 1 y 2: determina la viscosidad; 1=viscosidad baja, 2=viscosidad alta.
- La letra *h*: determina que la penetración del residuo está entre 40 y 90 décimas de mm. Quiere decir que en muchos casos en función del clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga un residuo de mayor dureza.
- Las letras *HF*: significa alta flotación (ASTM T – 50 ó ASTM D – 139)

En general, sabemos que el tipo de emulsión para los Slurry Seal es la CQS – 1h y específicamente para Micropavimentos se adicionan los polímeros.

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 4.1: Clasificación de las emulsiones asfálticas de acuerdo a la norma.

4.1.3 Los Emulsificantes.

También llamados emulgentes, son compuestos que cumplen la función de estabilizar a la emulsión de esta manera se evita la formación de varias fases.

Se caracterizan por la presencia de radicales hidrofóbicos y de componentes hidrofílicos los cuales en el momento que entran en contacto con el agua, éstos se disocian, quedando cargas negativas o positivas según sea el tipo de emulsificante.

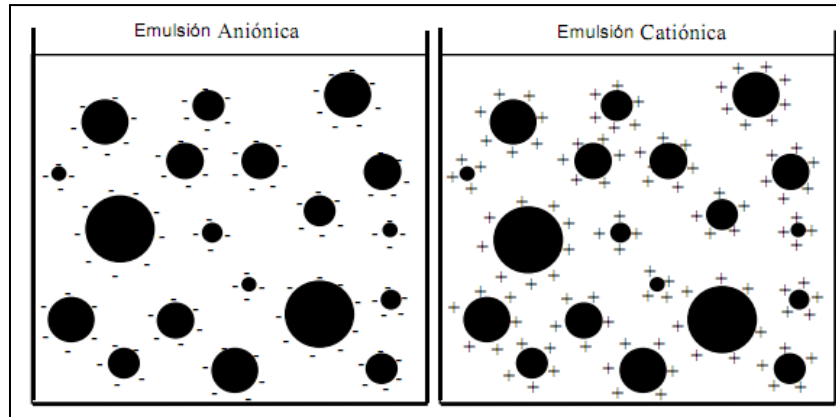


Figura: 4.2: Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

Las moléculas de un emulsificante son mucho más pequeñas que las partículas de asfalto y cada partícula está estabilizada por miles de moléculas de emulsificante.

Los emulsificantes solubles en agua, la carga de las partículas depende del pH, en emulsiones catiónicas generalmente se usa ácidos, mientras que para emulsiones aniónicas se usa generalmente productos alcalinos.

Existen emulsificantes que son suministrados de forma neutral insolubles en agua, lo que conlleva ser estabilizados con un ácido, el mismo que puede ser un ácido clorhídrico, fosfórico, ascético o sulfúrico antes de que su forma catiónica pueda ser generada. De la misma manera para emulsificantes aniónicos se usa sodio, amoníaco o hidróxido de potasio.

Tipo de Emulsión	Emulsificante %	pH de emulsión	Tipo de Emulsificante
Catiónica de rotura-rápida	0,15 -0,25	2,0 - 4,0	Grasa dinámica
Catiónica de rotura-media	0,3 -0,6	1,5 - 4,0	Grasa dinámica
Catiónica de rotura-lenta	0,8 -2,0	2,0 - 5,0	Amina cuaternaria
Aniónica de rotura-rápida	0,2 -0,4	10,5 - 12,0	Resina ácida
Aniónica de rotura-media	0,4 -0,8	10,5 - 12,0	Resina ácida
Aniónica de rotura-lenta	1,2 -2,5	7,5 - 12,0	Lignosulfonato no - iónico

Tabla 4.2: Adición de porcentajes Típicos de Emulsificantes

4.1.4 Proceso de “Ruptura o rompimiento” de las Emulsiones Asfálticas.

Este es un proceso inminentemente necesario, debido a que se necesita que el material sea recubierto por el asfalto, para que ocurra esto, se debe desestabilizar a la emulsión.

Hay que tener en cuenta que para que se de este proceso de ruptura o rompimiento de la emulsión y la velocidad de la misma, existen factores que influyen directamente como son la reactividad de la emulsión, la reactividad del material y las condiciones ambientales tales como la temperatura y la humedad.

El proceso de ruptura o rompimiento de la emulsión se da debido a la carga que tiene el agregado, el cual neutraliza la carga del asfalto en la emulsión, de esta manera la pequeña carga que tiene la emulsión se irá moviendo hacia el agregado que tiene carga opuesta, comenzará a formarse partículas de gran tamaño, el mismo que comenzará a recubrir el agregado.

En este proceso, el agua es eliminada del asfalto – agregado. En este proceso de desestabilización, la emulsión va perdiendo agua y pasa a ser una emulsión inversa (asfalto=fase continua; agua=fase discreta), es decir el agua es

rodeada por una capa de asfalto, el cual cuando se deposita la capa de asfalto, el agua es expulsada.

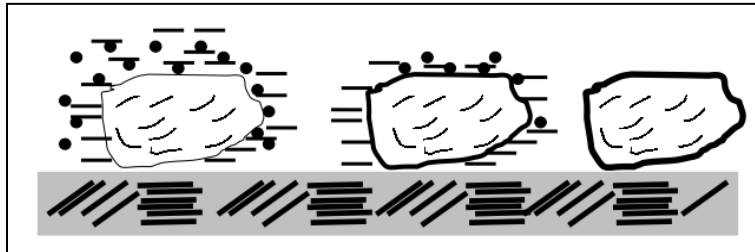


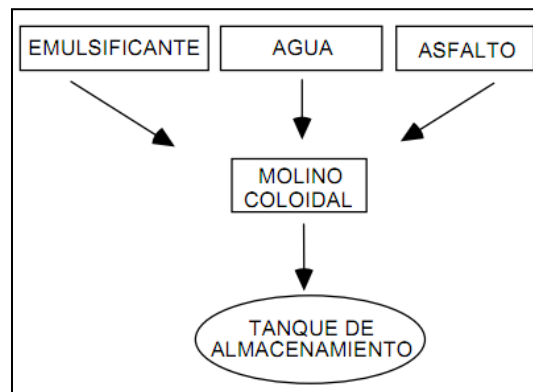
Figura 4.3: Proceso de ruptura de la emulsión asfáltica. (Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

Como se puede ver en la figura 4.3, el primer proceso que se da cuando la emulsión se junta al agregado, el siguiente paso se da cuando inicia el proceso de ruptura y posteriormente el último es cuando el asfalto recubre al agregado.

4.1.5 Proceso de Manufactura de las Emulsiones Asfálticas.

Las emulsiones asfálticas por lo general son producidas a través de un molino coloidal, sin embargo existe la posibilidad de hacerlo en otros equipos de dispersión.

En el molino coloidal, la energía es aplicada al sistema pasando la mezcla del asfalto caliente y la fase acuosa entre un disco giratorio, llamado rotor y un estator fijo.



Cuadro 4.1: Proceso general de la fabricación de emulsiones asfálticas.
(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte ISSN 0188-7141)

Las emulsiones asfálticas pueden ser producidas de dos formas:

Proceso tipo Batch: este proceso envuelve pocos flujos de materiales, lo que permite un control manual del proceso

El proceso batch envuelve en si dos procedimientos:

- La fase acuosa o solución jabonosa que es preparada en un tanque en el cual es calentado, la adición de Emulsificantes y otros químicos que son dispersados apropiada y homogéneamente.
- En el proceso de producción, el asfalto y la solución jabonosa preparada previamente son dosificados hacia el molino coloidal.

Proceso en línea: este proceso debe estar controlado automáticamente usando medidores de flujo para todos los materiales, excepto para el ácido, el cual deberá ser controlado de acuerdo del pH en la fase acuosa.

- En el proceso de producción, el agua se calienta y posteriormente los materiales son dosificados continuamente usando bombas para cada material. La fase acuosa deberá estar diseñada y proveer suficiente tiempo de reacción para que los químicos logren una adecuada estabilización y la solución jabonosa se prepare antes de que se encuentre con el asfalto.

4.1.6 Ensayo para determinar el porcentaje de asfalto residual con la norma ASTM D 6934 – 04.

Éste método de ensayo, cubre la determinación cuantitativa de los residuos en las emulsiones asfálticas compuestas principalmente de base asfáltica semisólida o líquida, de agua y un agente emulsificante.

Procedimiento A: solo cuando únicamente se requiera el porcentaje de asfalto residual

- Determine el peso de los contenedores más la vara de cristal. Pese 50 ± 1 gramos de la emulsión asfáltica cuidadosamente mezclada en cada uno de los contenedores.



Figura 4.4: Peso del contenedor y la vara.



Figura 4.5: Peso de la emulsión.

- Coloque los contenedores con las varas de cristal en el horno a 163 ± 3 °C durante 2 horas. Al final de este periodo, retire del horno y cuidadosamente mezcle el residuo de los contenedores. Coloque nuevamente en el horno durante una 1 hora más. Al final de este periodo retire del horno, deje enfriar a temperatura ambiente y pese los contenedores.

Cálculos:

$$\% \text{ asfalto residual} = 2 * (A - B)$$

Donde:

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

B: Peso del contenedor y vara de cristal.

4.1.6.1 Resultado del ensayo.

Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Peso de la Emulsión	Porcentaje de Asfalto Residual
1	104,09	134,81	50	61,44 %
2	106,9	137,95	50	62,10 %
3	102,4	133,61	50	62,42 %
				61,99 %

Tabla 4.3: Ensayo de contenido de asfalto residual ASTM D 6934 -04.

4.1.7 Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol con la norma ASTM D 88 – 94.

Este método de ensayo cubre los procedimientos empíricos para la determinación de la viscosidad Saybolt Furol de productos derivados del petróleo a temperaturas especificadas entre el 21° C y 99 ° C (70° y 210 ° F).

Procedimiento (viscosidad Saybolt Furol a 25° C)

- Establecer y controlar la temperatura del baño a la temperatura de prueba seleccionado.



Figura 4.6: Viscosímetro calibrado a 25 ° C.

- Las temperaturas de prueba estándar para medir la viscosidad de Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0, y 98.9° C (77, 100, 122, y 210° F), en nuestro caso se va a realizar a 25° C
- Inserte un tapón de corcho, que tiene un cable que está conectado por su fácil extracción, en la cámara de aire en la parte inferior del viscosímetro. El corcho debe quedar apretado lo suficiente como para impedir el escape de aire, se demuestra con la ausencia de emulsión en el tapón en el momento de retirarlo.



Figura 4.7: Tapón en la parte inferior del viscosímetro.

- En caso la temperatura de ensayo seleccionado está por encima de la temperatura ambiente, la prueba puede ser acelerada por precalentamiento de la muestra en su envase original a no más de 1,7 ° C (3.0 ° F) por encima de la temperatura de ensayo.
- Mezcle la muestra y, a continuación, fíltrela a través de 150 μm (N^0 100) de tela metálica en el embudo de filtro directamente en el

viscosímetro hasta que el nivel esté por encima del borde de desbordamiento.



Figura 4.8: Llenado del viscosímetro hasta el borde de desbordamiento.

- Agite la muestra en el viscosímetro con el Termómetro de viscosidad adecuada equipada con el apoyo del termómetro. Utilice un movimiento circular de 30 a 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la temperatura de la muestra se mantiene constante dentro de $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,05\text{ }^{\circ}\text{F}$) de la temperatura de ensayo durante 1 min de agitación continua, retire el termómetro.

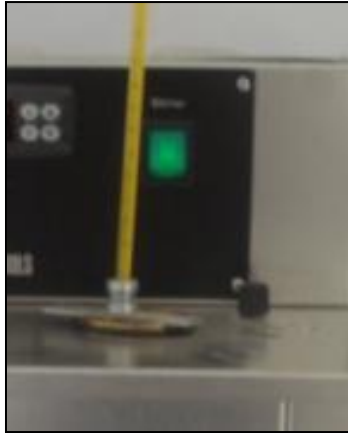


Figura 4.9: Soporte de termómetro.

- Asegúrese de que el vaso receptor está en posición correcta.



Figura 4.10: Alineación del corcho con el vaso receptor.

- Retire el corcho del viscosímetro y en el mismo instante poner en marcha el cronómetro.



Figura 4.11: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho.

- Parar el cronómetro en el instante en el fondo de menisco de aceite llegue a la marca de graduación en el vaso receptor. Registre el tiempo de flujo en segundos con una precisión de 0,1 s.

4.1.7.1 Resultado del ensayo.

Muestra	Temperatura ° C	Tiempo (seg.)
1	25	18.9

Tabla 4.4: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol ASTM D 88 – 94.

4.1.8 Ensayo de Tamiz N°20 con la norma ASTM D 6933 – 04.

Este método de ensayo sirve para determinar el grado en el que la emulsión asfáltica puede contener partículas de de asfalto y otros sólidos discretos en el tamiz N°20 (280 μ).

La retención de una cantidad excesiva de partículas en el tamiz, indica que pueden producirse problemas en el manejo y aplicación del material. Las partículas de asfalto retenido en el tamiz, a menudo son causados por la aglomeración de la fase dispersa. El almacenamiento, bombeo, tratamiento y la temperatura, puede contribuir a la formación de las partículas. La contaminación del tanque, del transporte o la manguera son otros factores que pueden afectar a la formación de partículas.

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: ensayo a temperatura ambiente.
 - Viscosidad > 100 segundos a 25°C, y aquellos cuya viscosidad se especifica a 50°C: ensayo a temperatura de 50 \pm 3°C.
- Pesar el tamiz y la bandeja y registre el valor.



Figura 4.12: Peso del tamiz y la bandeja.

- Pese 1000 + 5 gramos de la emulsión asfáltica en un recipiente adecuado y vierta a través del tamiz. Lave el recipiente y el tamiz con agua destilada o agua desionizada hasta que el lavado sea claro.



Figura 4.13: Vertido de la emulsión a través del tamiz.



Figura 4.14: Lavado del tamiz.



Figura 4.15: Tamiz lavado.

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



Figura 4.16: Peso del tamiz y la bandeja después del ensayo.

Cálculos:

$$\% \text{ muestra retenida} = \frac{(A - B)}{10}$$

Donde:

A: Peso de la bandeja, tamiz y residuo.

B: Peso de la bandeja, tamiz.

4.1.8.1 Resultado del ensayo.

Muestra	Peso Inicial	Peso Final	% de muestra retenida
1	601,85	601,87	0,0002 %

Tabla 4.5: Ensayo de tamiz N°20 ASTM D 6933 – 04.

4.1.9 Ensayo de reblandecimiento del bitumen (residuo de la emulsión) con la norma ASTM D 36 – 95.

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de reblandecimiento del bitumen en el rango de 30 a 157 °C usando el equipo de “anillo y bolla” sumergido en agua destilada (30 – 50 °C), glicerina USP (>80 – 157 °C), o el etileno glicol (30 – 110 °C).

Los bitúmenes o betunes, son materiales visco-elásticos, sin puntos de fusión bien definidos, si no que gradualmente son más suaves y menos viscosos a medida que aumenta la temperatura. Por esta razón, los puntos de ablandamiento deben ser determinados por un método arbitrario y definir con precisión si los resultados son reproducibles.

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.

Preparación de las muestras:

- No proceder a menos que se haya previsto culminar la preparación y prueba de todas las muestras de asfalto dentro de 6 horas y todas las muestras de brea de alquitrán de carbón dentro de 4½ horas. Calentar el betún con cuidado, removiendo con frecuencia para evitar recalentamiento local, hasta que esté lo suficientemente fluido para

verter. Remover con cuidado para evitar la incorporación de burbujas de aire en la muestra.

- Verter un ligero exceso de betún caliente en cada anillo, y luego permitir que los ejemplares enfríen a temperatura ambiente por lo menos 30 minutos.
- Cuando las muestras hayan enfriado, cortar la mezcla del betún limpiamente con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que cada disco quede al ras y a nivel con el anillo.

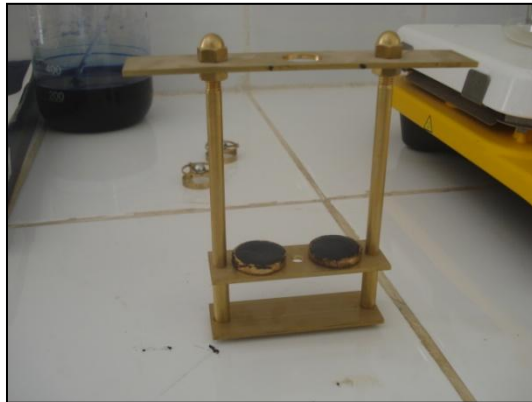


Figura 4.17: Muestras enrasadas.

Procedimiento:

- Seleccionar el líquido de baño y termómetro apropiado.
- Agua destilada: para suavizar puntos entre 30 – 80 °C. La temperatura de partida será de 5 -61 °C.
- Montar el aparato en la campana de laboratorio con los anillos de la muestra, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición; y

llenar la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de 105 ± 3 mm con el aparato en su lugar.

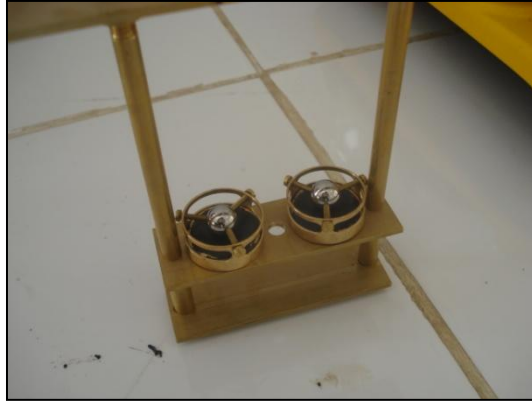


Figura 4.18: Colocación de las bolas.



Figura 4.19: Colocación del agua y aparatos.

- Calentar el baño para que la temperatura se incremente en rangos de 5°C .
- Registrar para cada anillo y bola la temperatura indicada en el termómetro en el instante en el que el asfalto rodea la bola y toca el fondo de la placa inferior.



Figura 4.20: Inicio del ensayo.

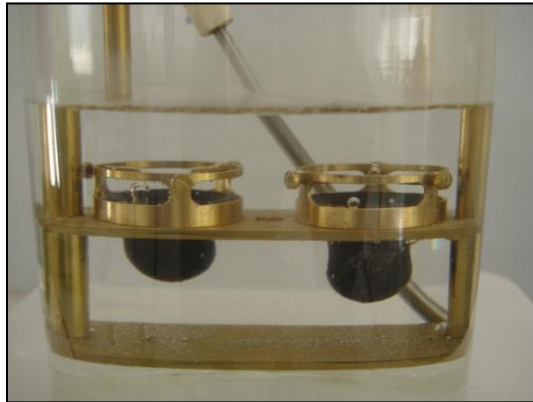


Figura 4.21: Ensayo en proceso.

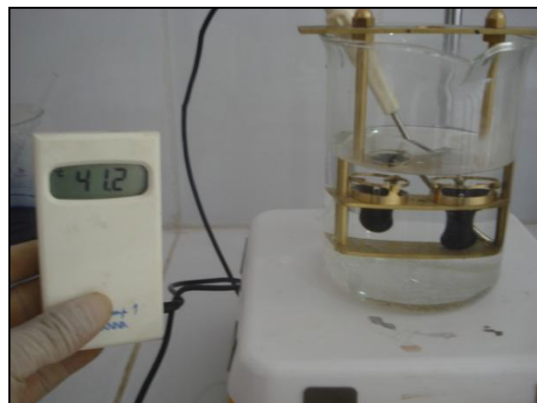


Figura 4.22: Fin del ensayo.

4.1.9.1 Resultado Del ensayo.

Muestra	Punto de reblandecimiento °C
1	41.2

Tabla 4.6: Ensayo de reblandecimiento del bitumen ASTM D 36 – 95.

4.1.10 Ensayo de penetración en el residuo con la norma ASTM D 5 – 05.

Éste método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semisólidos y sólidos.

La prueba de penetración se utiliza como una medida de coherencia. Los valores más altos de penetración indican una consistencia más suave.

Preparación de las muestras:

- Calentar el betún con cuidado, removiendo con frecuencia para evitar recalentamiento local, hasta que esté lo suficientemente fluido para verter. En ningún caso la temperatura de la muestra no debe superar los 60 °C y no calentar por más de 60 minutos.
- Verter el material dentro de un recipiente lo suficientemente profundo, al menos un 120% la altura de la aguja.



Figura 4.23: Preparación de la muestra para ensayo de penetración.

- Dejar enfriar al aire, a una temperatura de 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.

Condiciones de prueba:

- Cuando las condiciones no son especificadas, la temperatura, la carga y el tiempo, se entiende que es 25°C, 100 gramos y 5 segundos.

Procedimiento:

- Examinar el sostenedor de la aguja y la guía para establecer la ausencia de agua u otros materiales extraños. Si la penetración se espera que supere los 350 utiliza una aguja larga, de lo contrario usar una aguja corta. Limpiar la aguja de penetración con tolueno u otro 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 $100 \pm 0,1$ g.



Figura 4.24: Equipo para ensayo de penetración.

- Si las pruebas se harán con el penetrómetro en baño, coloque el recipiente de la muestra directamente en el soporte del penetrómetro y sumérjalo. Mantenga el recipiente de la muestra completamente cubierta de agua en el recipiente de baño. Si las pruebas se harán con el penetrómetro exterior de la bañera, coloque el recipiente de la muestra en el plato de transferencia, cubra el recipiente completamente con agua a temperatura constante y la cápsula de transferencia en el soporte del penetrómetro.



Figura 4.25: Penetrómetro en baño



Figura 4.26: Penetrómetro en baño con muestra

- Utilizando el indicador de nivel, asegúrese de que el aparato esté nivel.

- Encerar el dial del penetrómetro.



Figura 4.27: Dial del penetrómetro encerado.

- Bajar la posición de la aguja lentamente hasta que la punta apenas haga contacto con la superficie de la muestra.



Figura 4.28: Aguja cerca de la superficie de la muestra.

- Suelte rápidamente el sostenedor de la aguja durante el período especificado de tiempo y ajustar el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de milímetros. En caso de movimiento del contenedor, ignorar el resultado.



Figura 4.29: Penetración en el asfalto luego de soltar la aguja.

- Hacer por lo menos tres mediciones en diferentes puntos de la superficie de la muestra a 10 mm del lado del contenedor y no menos de 10 mm separados entre ellos.



Figura 4.30: Penetración en el asfalto a 250 C y 5 segundos.

4.1.10.1 Resultado Del ensayo.

Muestra	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s
1	40

Tabla 4.7: Ensayo de reblandecimiento del bitumen (residuo de la emulsión) con la norma ASTM D 36 – 95.

4.2 El Agua.



Figura 4.31: Agua.

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.

4.2.1 El Agua Potable en el Distrito Metropolitano de Quito (D.M.Q)¹⁶.

Las propiedades físicas e hidrológicas del D.M.Q., han favorecido la presencia de fuentes de agua natural, tanto superficial como subterránea. Muchas de estas fuentes hídricas provienen de conjuntos montañosos como son: el Pichincha, Atacazo, Cotopaxi, Lloa, entre las más importantes; además, Quito se encuentra localizada sobre un acuífero importante previsto como fuente de agua alternativa, aunque éste en la actualidad sufre un proceso de deterioro por la contaminación.

16

http://www4.quito.gov.ec/spirales/3_publicaciones/libros/8.%20El%20sistema%20de%20agua%20potable%20del%20DMQ.pdf

La red de agua potable, al contrario de lo que sucede con otras redes como la red eléctrica por ejemplo, abastece únicamente al D.M.Q., de su funcionamiento es responsable el M.D.M.Q como Gobierno Local a través de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado de Quito (EMAAP-Q). Sus funciones y responsabilidades se concretan a la captación, transporte, potabilización y distribución del agua potable en el territorio del D.M.Q.

La EMAAP-Q es un actor institucional de intervención y decisiones entorno al servicio de agua potable para el D.M.Q. Esta entidad, al formar parte del organigrama municipal es el responsable de sobrellevar acciones y proyectos de agua potable y al respecto, llegar a consenso con las distintas administraciones zonales del D.M.Q.

4.3 Los Aditivos.

Según lo establece la ISSA A – 143, los aditivos pueden añadir a la mezcla de la emulsión o cualquiera de los materiales de los componentes, para proporcionar el control de las propiedades de tráfico. Deben ser incluidos como parte del diseño de la mezcla y serán compatibles con otros componentes de la misma.

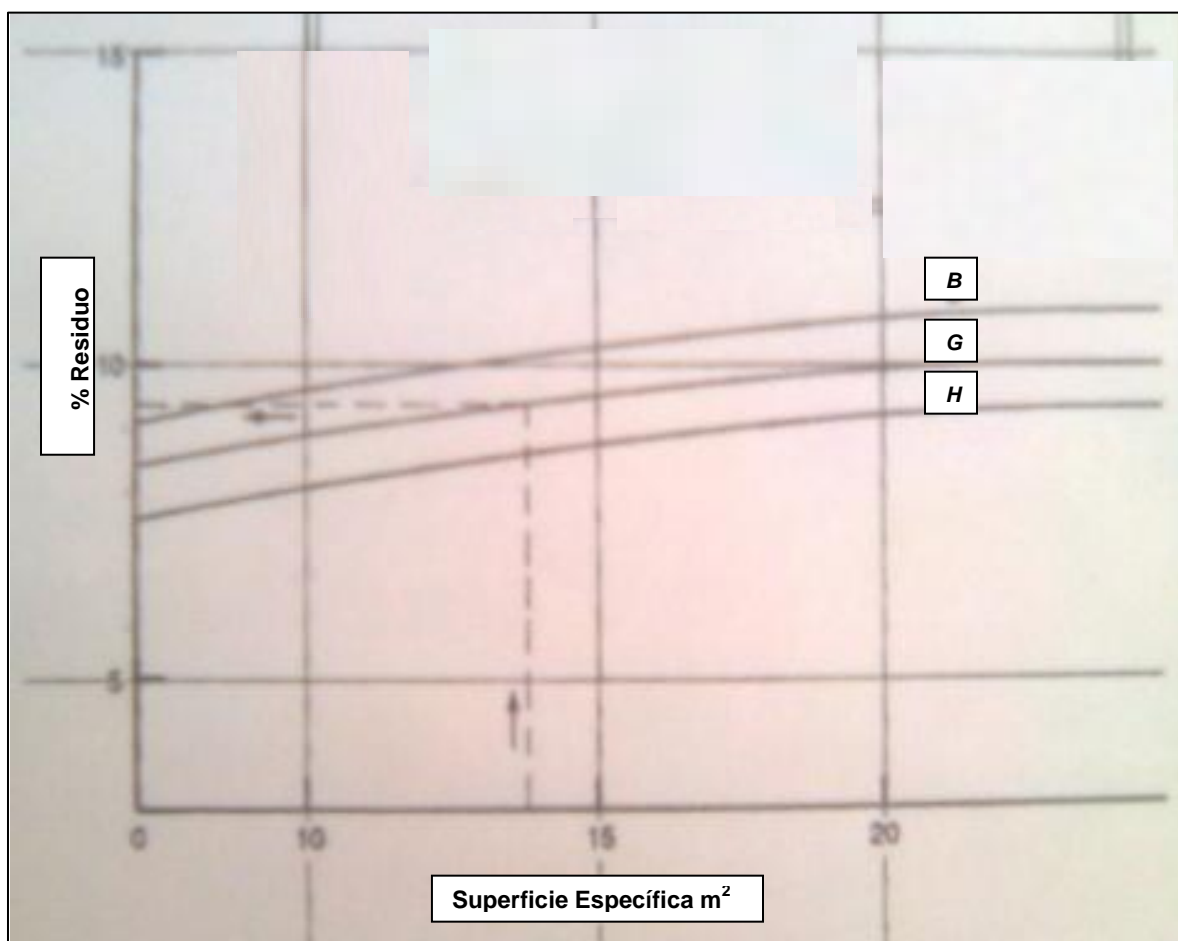
CAPITULO V

DETERMINACIÓN DE LAS MEZCLAS.

CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DE LAS MEZCLAS

5.1 Determinación del Porcentaje Teórico de Emulsión para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón.

El método más usado es el **Método de Duriez**, el cual realiza el cálculo superficial de los áridos, basados en la granulometría, y determina el porcentaje teórico de emulsión utilizando una constante llamada el "*Módulo de Riqueza*".



Cuadro 5.1: Curva para determinar el % de asfalto residual

G: *Materiales con Bajo EA y Absorción Alta*

B: *Materiales con Propiedades Promedio*

H: *Materiales con Alto EA y Absorción Baja*

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

G = % Retenido entre N° 4

g = % Retenido entre $\frac{3}{8}$ y N° 4 y N° 50

K = % Retenido entre N° 50 y N° 200

F = % Pasa del N° 200

5.1.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

Tamiz	Guayllabamba	
	Peso en cada tamiz	Peso acumulado
4	58	58
8	355	413
16	175	588
30	94	682
50	113	795
100	96	891
200	59	950
p200	49	999

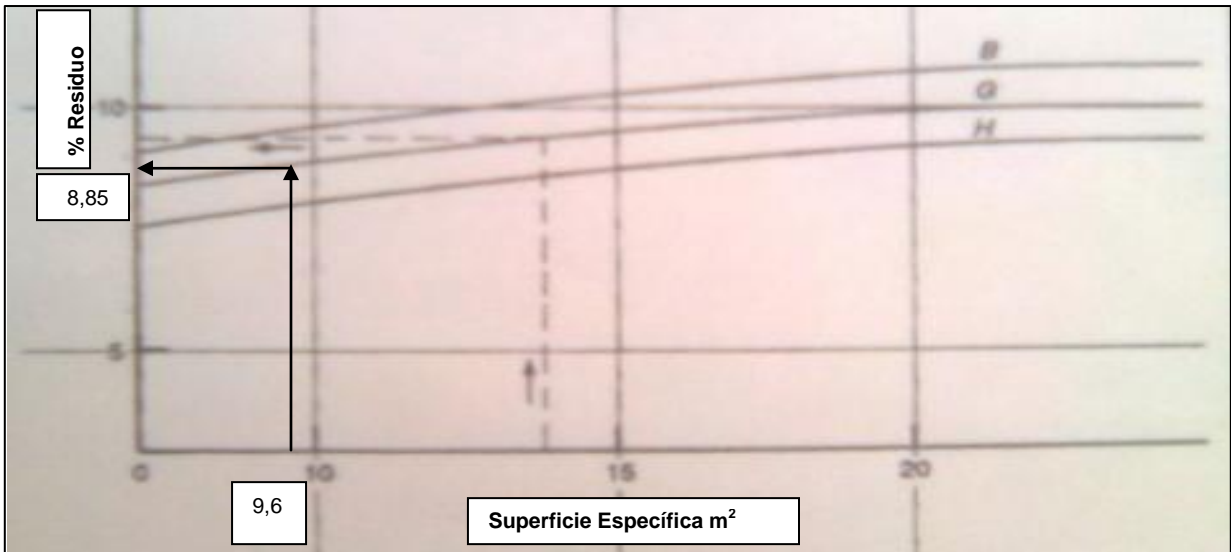
Tabla 5.1: Granulometría de la cantera de Guayllabamba

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

	<i>gr.</i>	%
G	58	5,81
g	737	73,77
K	155	15,52
F	49	4,90

Tabla 5.2: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 9,60 \%$$



Cuadro 5.2: Curva para determinar el % de asfalto residual

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

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 8,85\%$$

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

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 14,27\%$$

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 14,5\%$$

- **Cantera: Pifo**

Tamiz	Pifo	
	Peso en cada tamiz	Peso acumulado
4	39,77	39,77
8	156,01	195,78
16	183,5	379,28
30	181,14	560,42
50	140,46	700,88
100	108,38	809,26
200	72,93	882,19
p200	109,5	991,69

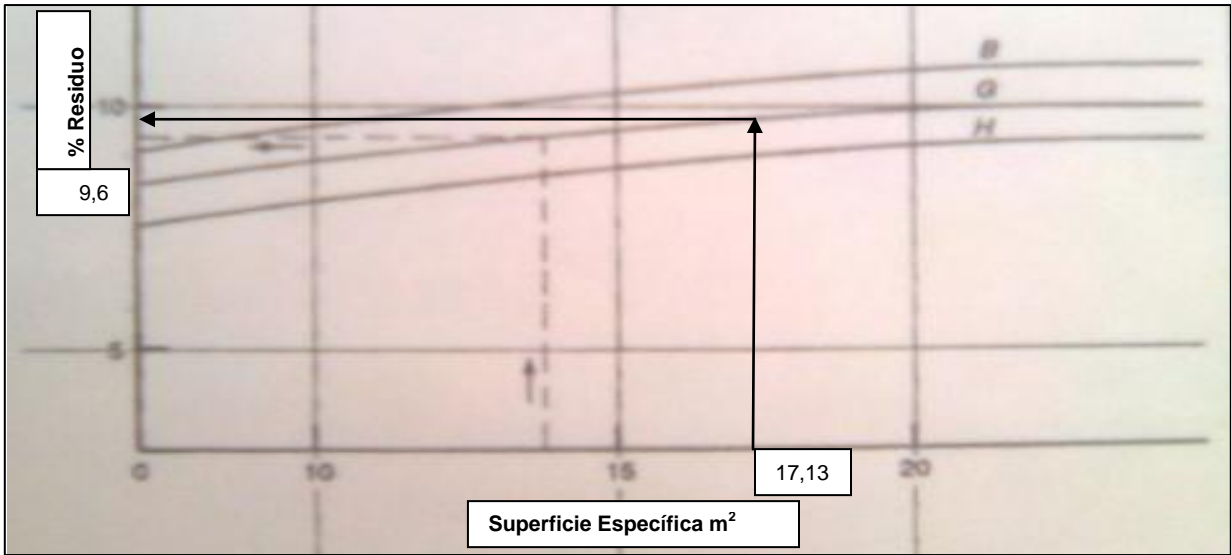
Tabla 5.3: Granulometría de la cantera de Pifo.

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

	gr.	%
G	39,77	4,01
g	661,11	66,66
K	181,31	18,28
F	109,5	11,04

Tabla 5.4: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 17,13 \%$$



Cuadro 5.3: Curva para determinar el % de asfalto residual

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

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,6\%$$

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

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 15,48\%$$

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 15,5\%$$

- **Cantera: Pintag**

Tamiz	Pintag	
	Peso en cada tamiz	Peso acumulado
4	0	0
8	56,93	56,93
16	207,24	264,17
30	216	480,17
50	179,39	659,56
100	123,8	783,36
200	86,91	870,27
p200	125,84	996,11

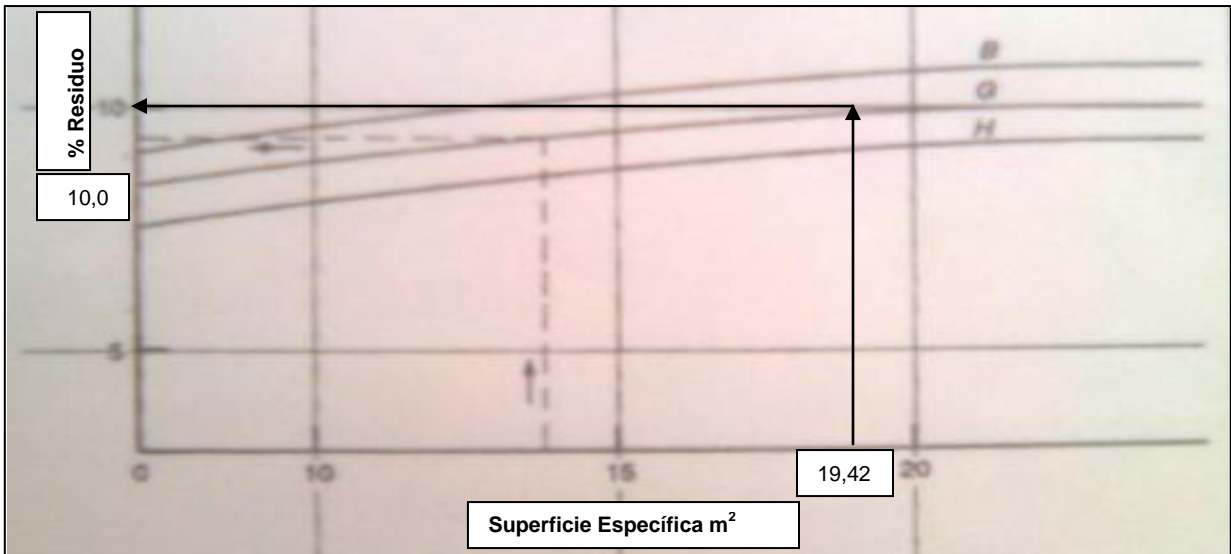
Tabla 5.5: Granulometría de la cantera de Pintag.

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

	gr.	%
G	0	0,00
g	659,56	66,21
K	210,71	21,15
F	125,84	12,63

Tabla 5.6: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 19,42 \%$$



Cuadro 5.4: Curva para determinar el % de asfalto residual

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

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,6\%$$

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

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 16,13\%$$

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 16,5\%$$

- **Cantera:** San Antonio

Tamiz	San Antonio	
	Peso en cada tamiz	Peso acumulado
4	34	34
8	240	274
16	245	519
30	139	658
50	122	780
100	96	876
200	61	937
p200	58	995

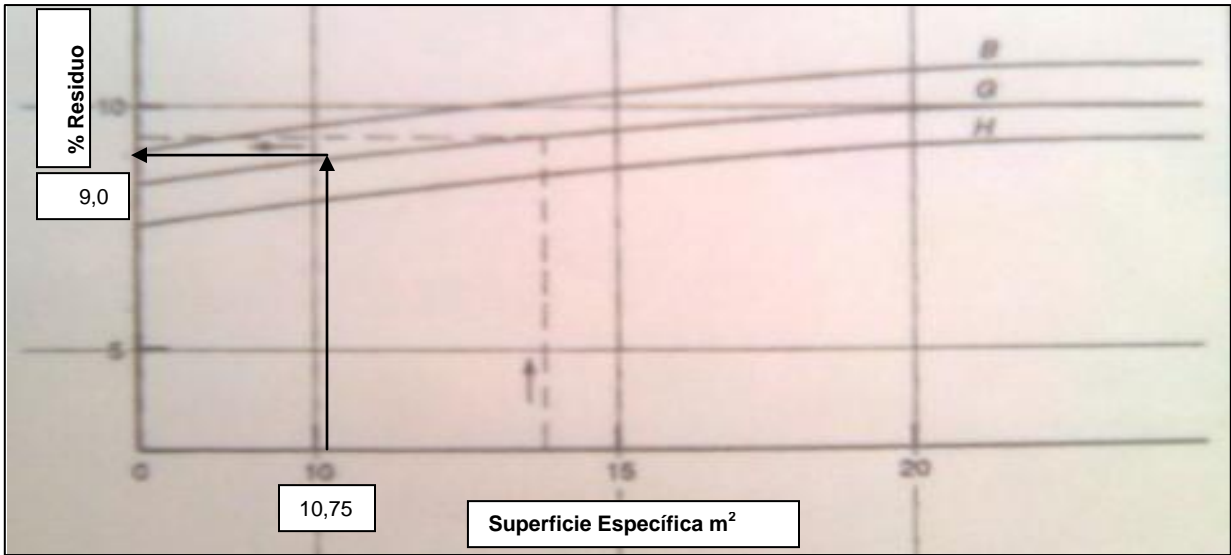
Tabla 5.7: Granulometría de la cantera de San Antonio

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

	<i>gr.</i>	%
G	34	3,42
g	746	74,97
K	157	15,78
F	58	5,83

Tabla 5.8: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 10,75 \%$$



Cuadro 5.5: Curva para determinar el % de asfalto residual

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

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,0\%$$

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

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

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 15,0\%$$

- **Cantera: Nayón**

Tamiz	Nayón	
	Peso en cada tamiz	Peso acumulado
4	68,6	68,6
8	275,5	344,1
16	234,5	578,6
30	124,3	702,9
50	120,7	823,6
100	87,7	911,3
200	41,7	953
p200	45,2	998,2

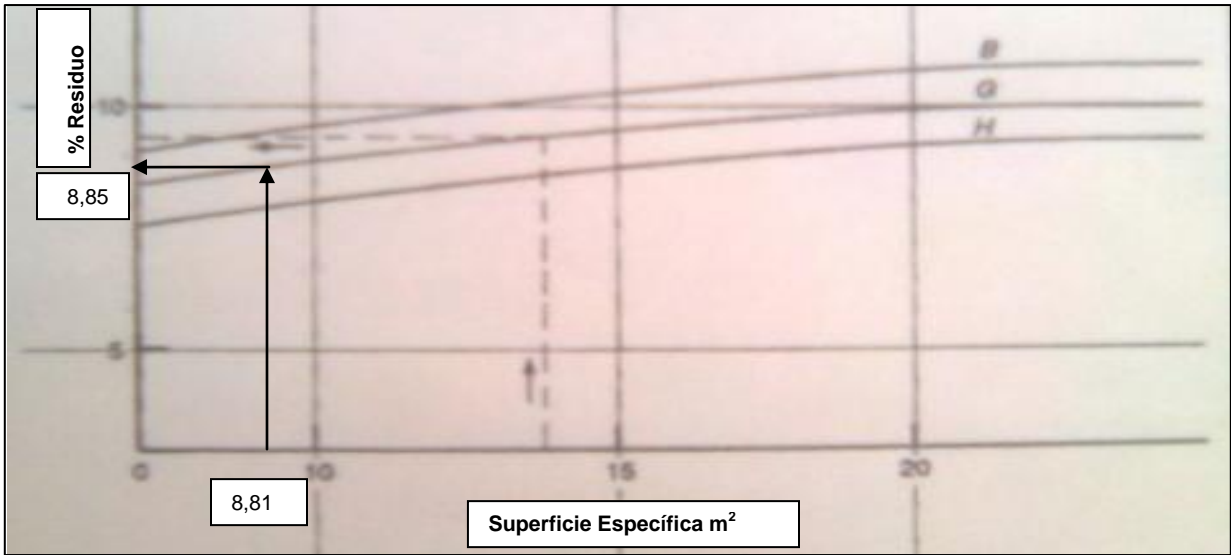
Tabla 5.9: Granulometría de la cantera de Nayón

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

	<i>gr.</i>	%
G	68,6	6,87
g	755	75,64
K	129,4	12,96
F	45,2	4,53

Tabla 5.10: Porcentaje de agregado de acuerdo al tamiz.

$$SE = 8,81 \%$$



Cuadro 5.6: Curva para determinar el % de asfalto residual

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

$$\% \text{ de Asfalto Residual} = 9,0\%$$

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

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 13,95\%$$

$$\% \text{ de Emulsión Teórico} = 14,0\%$$

5.2 Contenido de Humedad Óptimo (Consistencia de la Mezcla) para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB - 106.

Para la determinación de la consistencia de la mezcla existen varios métodos, entre los cuales están: la prueba de redireccionamiento de flujo, prueba del plano inclinado, ensayo del palillo, etc. Sin embargo el Departamento de Transporte de Kansas, desarrollo un método de prueba llamado “**El Cono de Prueba**”. Este método es reconocido internacionalmente como estándar de la industria.

El **Ensayo del cono de consistencia**, se utiliza para determinar la cantidad de agua necesaria para formar una mezcla estable y trabajable.

Materiales:

- Éste método utiliza el cono de absorción de arena que se describe en la norma ASTM C – 128 o la AASHTO T – 84,
- Una escala básica de flujo.

Muestra:

- La muestra es la mezcla de 400 gramos de agregado, mezclados a temperatura ambiente, con el contenido óptimo de emulsión y con porcentaje de agua variado.

Procedimiento:

- Se realiza las mezclas necesarias, cada muestra debe ser mezclada durante 30 segundos.
- Se centra el cono en la escala de flujo y una vez mezclado bien durante los 30 segundos, se llena, sin apretar; sacuda, e inmediatamente remueva el cono con un movimiento suave y vertical.



Figura 5.1: ISSA TB – 106.

- La salida de la mezcla se mide en 4 puntos de separación de 90°. Promedie las 4 lecturas y registre en *cm.* y la cantidad de agua agregada en la mezcla.

- Se considera óptimo un flujo radial de 2,5 cm. con límites de 2,9 cm a 3,0 cm y una reproducibilidad de $\pm 0,25$ cm.



Figura 5.2: ISSA TB – 106.

5.2.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

Cantera: Guayllabamba T=16°C						
%	Guayllabamba 14,5%		Guayllabamba 14,5%		Guayllabamba 14,5%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
1%	cemento	4	cemento	4	cemento	4
Variable	agua	10%	agua	12%	agua	14%
		40		48		56
	emulsión	58	emulsión	58	emulsión	58

Lectura	2 cm.	2,7 cm.	3,5 cm.
---------	-------	---------	---------

Tabla 5.11: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Guayllabamba.

- **Cantera:** Pifo

Cantera: Pifo T=16°C						
%	Pifo 15,5%		Pifo 15,5%		Pifo 15,5%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
2%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	10%	agua	12%	agua	14%
		40		48		56
	emulsión	62	emulsión	62	emulsión	62

Lectura	0 cm.	2,5 cm.	3,5 cm.
---------	-------	---------	---------

Tabla 5.12: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Pifo.

- **Cantera: Pintag**

Cantera: Pintag T=12°C						
%	Pintag 16,5%		Pintag 16,5%		Pintag 16,5%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
3%	cemento	12	cemento	12	cemento	12
Variable	agua	6%	agua	8%	agua	10%
		24		32		40
	emulsión	66	emulsión	66	emulsión	66

Lectura	2 cm.	3 cm.	5,5 cm.
----------------	-------	-------	---------

Tabla 5.13: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Pintag

- **Cantera: San Antonio**

Cantera: San Antonio T=17°C						
%	San Antonio 15%		San Antonio 15%		San Antonio 15%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
1%	cemento	4	cemento	4	cemento	4
Variable	agua	8%	agua	10%	agua	12%
		32		40		48
	emulsión	60	emulsión	60	emulsión	60

Lectura	3 cm.	4,5 cm.	6 cm.
----------------	-------	---------	-------

Tabla 5.14: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 San Antonio.

- **Cantera:** San Nayón

Cantera: Nayón T=17°C						
%	Nayón 14%		Nayón 14%		Nayón 14%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
2%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	16%	agua	20%	agua	22%
		64		80		88
	emulsión	62	emulsión	62	emulsión	62

Lectura	1 <i>cm.</i>	2,75 <i>cm.</i>	5 <i>cm.</i>
----------------	--------------	-----------------	--------------

Tabla 5.15: Dosificación y Lectura ISSA TB-106 Nayón.

5.3 Ensayo de Cohesión para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-139.

El siguiente ensayo mide el “torque” durante el desarrollo de la rotura y la fuerza cohesiva; define el “tiempo de rotura” y “tiempo de apertura al tránsito” en función del torque desarrollado y el tiempo.

Procedimiento:

- Para las gradaciones del Tipo II y Tipo III se tamiza a través del tamiz 4,75 mm u 8 mm respectivamente; mientras que la parte retenida se descarta.
- Un número adecuado de muestras idénticas son mezclados y fundidos moldes en los anillos de 6 mm (para el tipo II / 4.75 mm) y 10 mm (para el tipo II / 8.mm) y son centrados en el cartón asfaltado cuadrado. Hay que tener cuidado para producir muestras uniformes cuyas superficies son paralelas horizontalmente.



Figura 5.3: Anillos y cartón asfaltado.

- Las mediciones del “torque” se lo realizan a intervalos adecuados como a 30’, 60’, 90’, 150’, 210’ y 270’ minutos después de la fundición.
- La muestra se centra en el pie de neopreno, instrumento de presión de aire a 200 kPa; y el pie se baja contra la muestra a una velocidad de 8 a 10 cm por segundo.



Figura 5.4: Pie de la maquina abajo.

- Después de 5 a 6 segundos de la compactación, el medidor de torque se encera y se coloca en la parte superior del vástago del cilindro de goma; se gira en un suave y firme movimiento horizontal de 90° a 120° dentro de 5 a 7 segundos.



Figura 5.5: Torque o giro de 90°.

- La lectura del torque se registra junto con el tiempo.
- Levantar el cilindro y el pie de goma y limpiarlo raspando.

Resultados:

- Los resultados deben estar registrados en intervalos de tiempos adecuados (30, 60 minutos, etc.) hasta que se establezca una tendencia adecuada

Tiempo de rotura y tiempo de apertura al tránsito.

- Se define como **tiempo de rotura** a el tiempo transcurrido después de la fundición, el sistema de lechada, no puede ser mezclada en una pasta homogénea; cuando no existe desplazamiento lateral cuando la muestra se ha compactado; cuando una toalla de papel absorbente no se mancha cuando se presiona ligeramente la superficie de la pasta; o, cuando la emulsión se ha unido y no está a

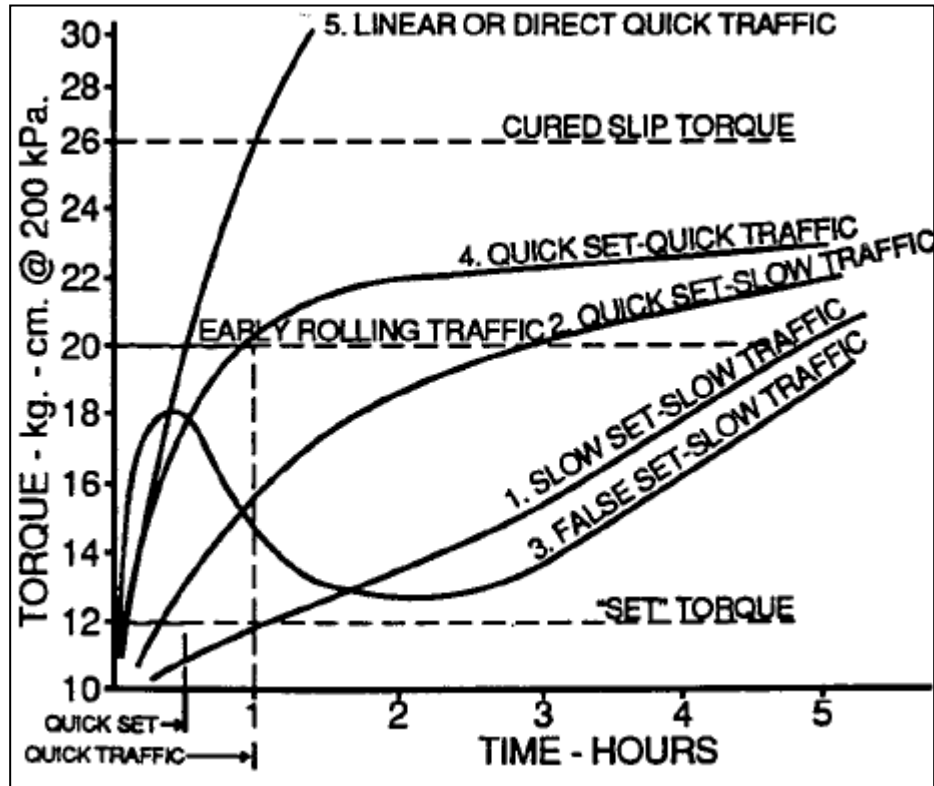
disposición para lubricar la mezcla; y cuando la emulsión no libre puede ser diluida y se lava con agua.



Figura 5.6: Rotura de la muestra.

- En pocas palabras: **La rotura** se produce cuando se llega a un nivel de torque de 12 – 13 kg – cm.
- El **tiempo de apertura al tránsito móvil**, se produce cuando se llega a un nivel de torque de 20 - 21 kg – cm.

Clasificación de los sistemas de mezcla mediante el ensayo de curvas de modificadas de cohesión



Cuadro 5.7: Clasificación de los sistemas de mezcla mediante el ensayo de curvas de modificadas de cohesión. (Fuente: ISSA TB - 139)

5.3.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

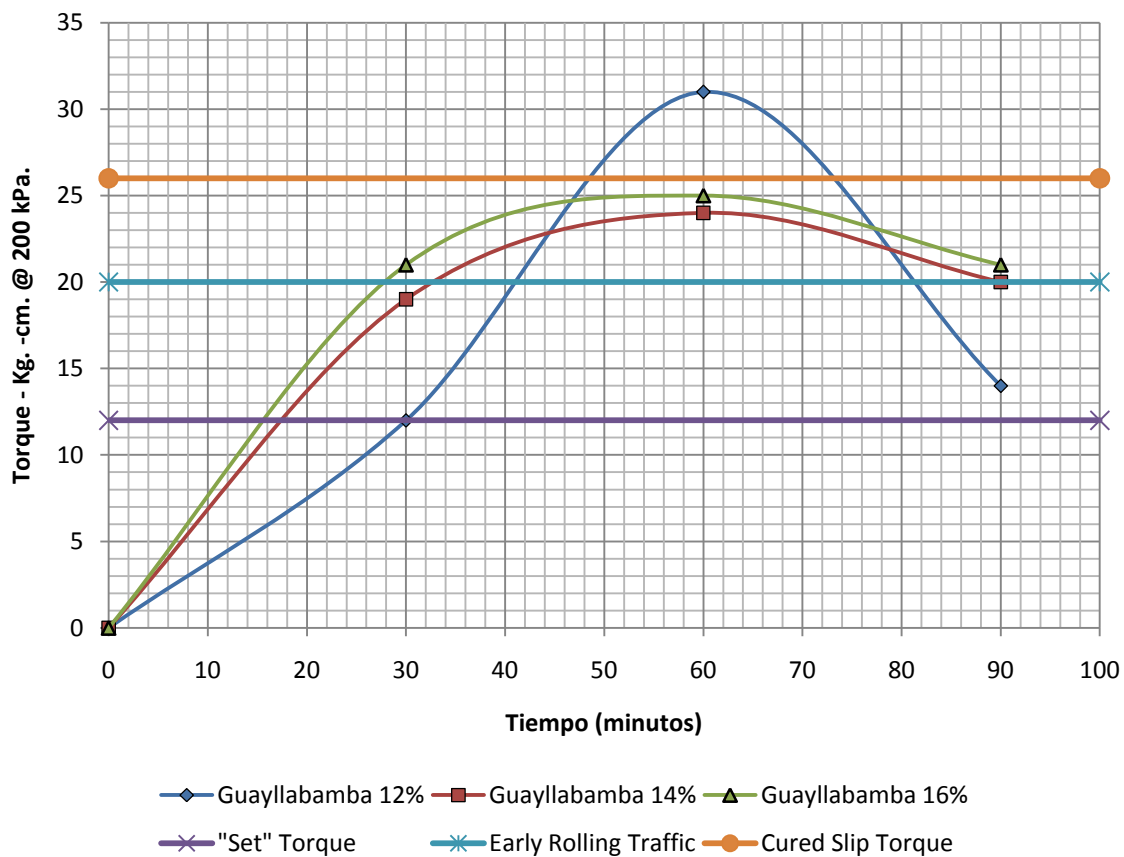
Cantera	Guayllabamba 12%		Guayllabamba 14%		Guayllabamba 16%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	200	peso agregado	200	peso agregado	200
1%	cemento	2	cemento	2	cemento	2
12%	agua	24	agua	24	agua	24
	emulsión	24	emulsión	28	emulsión	32

Tabla 5.16: Dosificación ISSA TB-139 Guayllabamba.

	Guayllabamba 12%	Guayllabamba 14%	Guayllabamba 16%
Tiempos	Carga kg-cm	Carga kg-cm	Carga kg-cm
30'	12	19	21
60'	31	24	25
90'	14	20	21

Tabla 5.17: Lecturas ISSA TB-139 Guayllabamba.

Cantera: Guayllabamba Ensayo de Cohesión ISSA TB139



Cuadro 5.8: ISSA TB-139 Guayllabamba

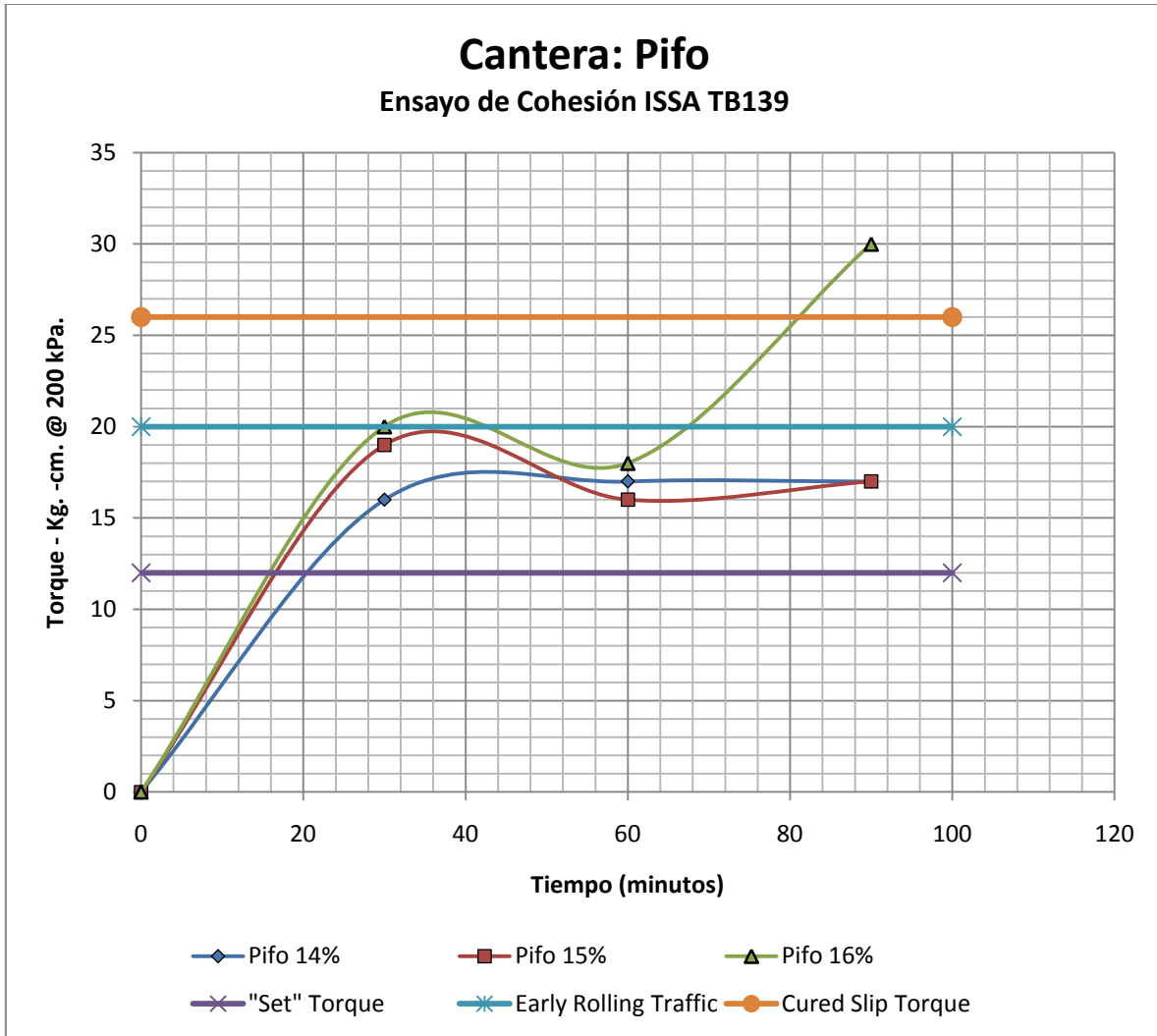
- **Cantera: Pifo**

Cantera	Pifo 14%		Pifo 15%		Pifo 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	200	peso agregado	200	peso agregado	200
1%	cemento	2	cemento	2	cemento	2
12%	agua	24	agua	24	agua	24
	emulsión	28	emulsión	30	emulsión	32

Tabla 5.18: Dosificación ISSA TB-139 Pifo.

Tiempos min	Pifo 14%	Pifo 15%	Pifo 16%
	Carga kg-cm	Carga kg-cm	Carga kg-cm
30	16	19	20
60	17	16	18
90	17	17	30

Tabla 5.19: Lecturas ISSA TB-139 Pifo



Cuadro 5.9: ISSA TB-139 Pifo

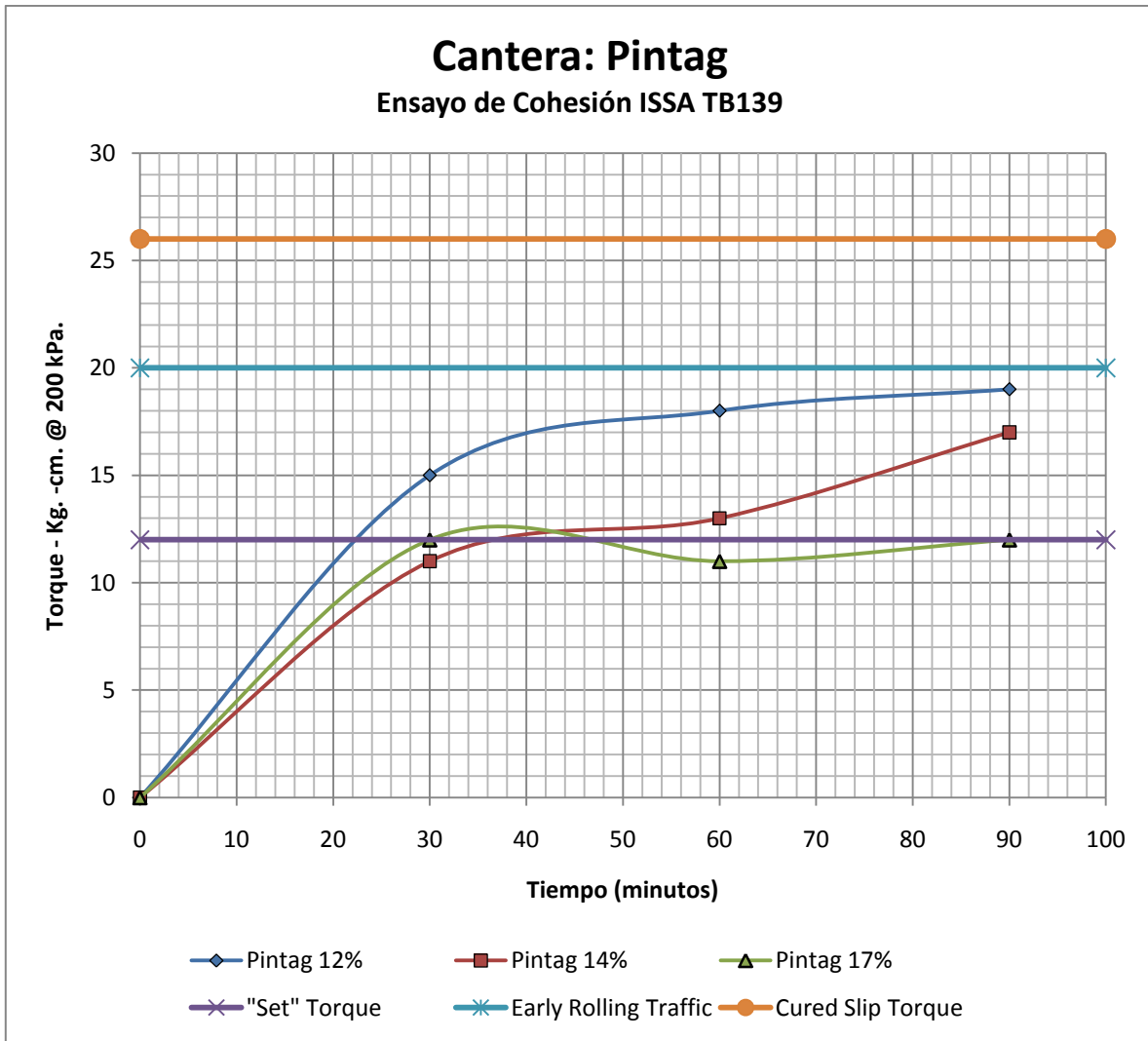
- **Cantera:** Pintag

Cantera	Pintag 12%		Pintag 14%		Pintag 17%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	200	peso agregado	200	peso agregado	200
1%	cemento	2	cemento	2	cemento	2
9%	agua	18	agua	18	agua	18
	emulsión	24	emulsión	28	emulsión	34

Tabla 5.20: Dosificación ISSA TB-139 Pintag.

Tiempos	Pintag 12%	Pintag 14%	Pintag 17%
	Carga kg-cm	Carga kg-cm	Carga kg-cm
30'	15	11	12
60'	18	13	11
90'	19	17	12

Tabla 5.21: Lecturas ISSA TB-139 Pintag.



Cuadro 5.10: ISSA TB-139 Pintag.

- **Cantera:** San Antonio

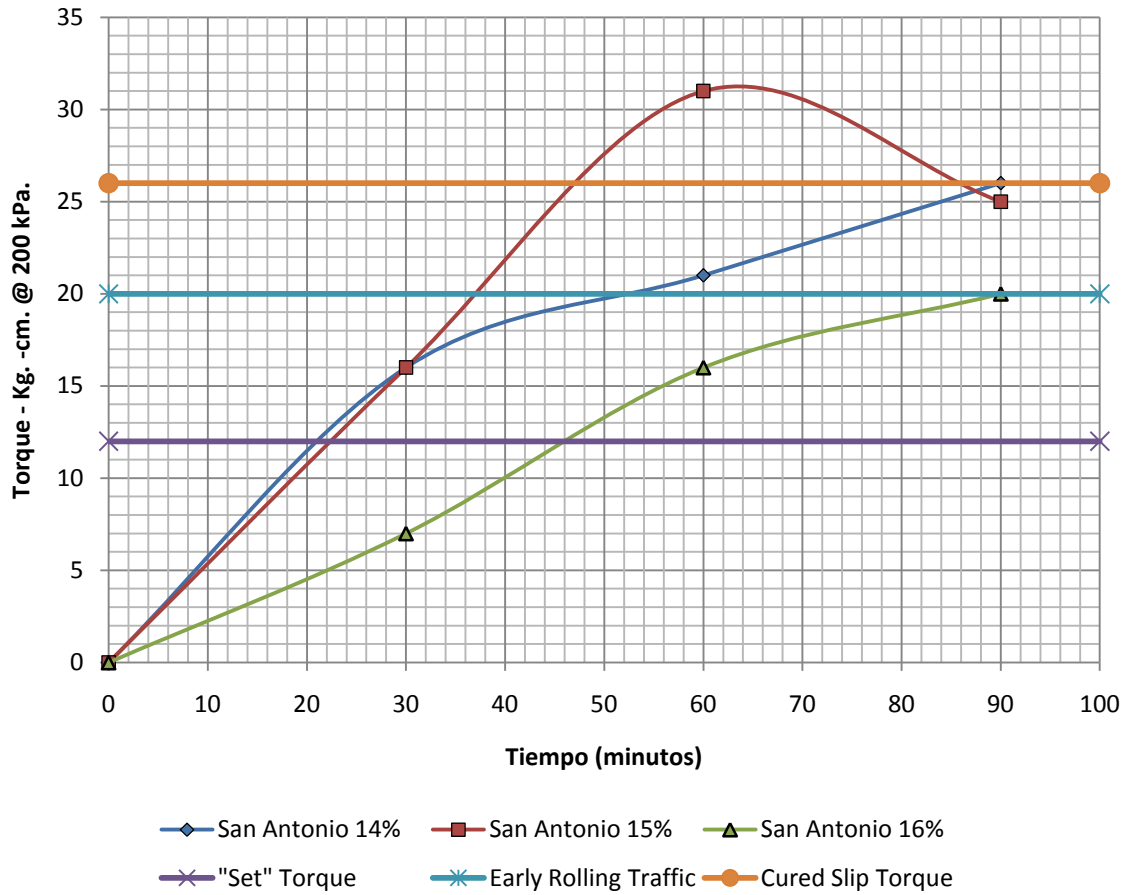
Cantera	San Antonio 14%		San Antonio 15%		San Antonio 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
%	peso agregado	200	peso agregado	200	peso agregado	200
100%	cemento	2	cemento	2	cemento	2
1%	agua	16	agua	16	agua	16
8%	emulsión	28	emulsión	30	emulsión	32

Tabla 5.22: Dosificación ISSA TB-139 San Antonio.

Tiempos	San Antonio 14%	San Antonio 15%	San Antonio 16%
	Carga kg-cm	Carga kg-cm	Carga kg-cm
30'	16	16	7
60'	21	31	16
90'	26	25	20

Tabla 5.23: Lecturas ISSA TB-139 San Antonio.

Cantera: San Antonio Ensayo de Cohesión ISSA TB139



Cuadro 5.11: ISSA TB-139 San Antonio.

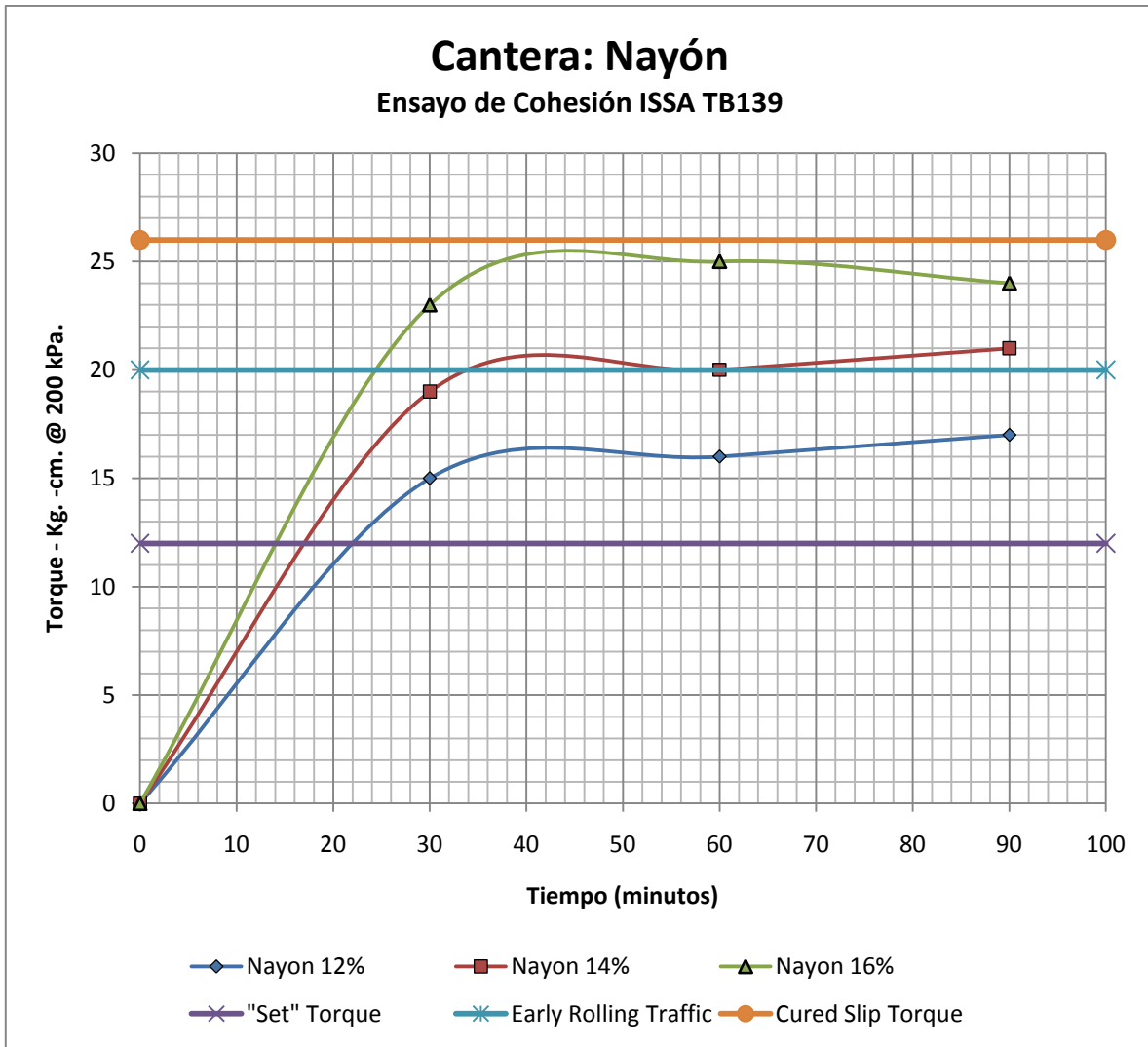
- **Cantera:** Nayón

Cantera	Nayón 12%		Nayón 14%		Nayón 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
%	peso agregado	200	peso agregado	200	peso agregado	200
100%	cemento	2	cemento	2	cemento	2
1%	agua	40	agua	40	agua	40
20%	emulsión	24	emulsión	28	emulsión	32

Tabla 5.24: Dosificación ISSA TB-139 Nayón.

Tiempos	Nayón 12%	Nayón 14%	Nayón 16%
	Carga kg-cm	Carga kg-cm	Carga kg-cm
30'	15	19	23
60'	16	20	25
90'	17	21	24

Tabla 5.25: Lecturas ISSA TB-139 Nayón.



Cuadro 5.12: ISSA TB-139 Nayón

5.4 Ensayo de Abrasión en Húmedo para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-100.

Este método de ensayo cubre la medición de las cualidades de desgaste de sistemas de mezcla de sellado (Slurry Seal mixture systems) en condiciones de abrasión húmeda.

El ensayo de abrasión en pista húmeda es una prueba de rendimiento simulada que se ha correlacionado con las cualidades de desgaste de Slurry Seals en campo. Este ensayo, **establece el contenido mínimo de emulsión admisible** de un sistema dado.

La clasificación de la susceptibilidad de humedad del sistema a largo plazo, se lo puede determinar mediante el procedimiento de inmersión de 6 días.

Preparación de la Muestra:

- Las proporciones adecuadas de cemento portland/cal hidratada, agua, emulsión y aditivos/u otros, para el peso seco de los áridos serán determinados en el laboratorio o bajo una fórmula de mezcla previamente aceptada por el ingeniero a cargo del proyecto.
- Dividir o cuartear la cantidad suficiente de agregado seco al aire y pasar por el tamiz N° 4, para obtener al menos 800 gramos en una cuarta parte. (700 gramos si se usa la máquina N – 50)
- Pesar los 800 gramos de agregado en un tazón. Con una cuchara mezcle el cemento portland seco (o cal hidratada) con el agregado

durante un minuto o hasta que se distribuya uniformemente. Agregue la cantidad predeterminada de agua (para obtener una consistencia de 2,5 – 3 cm.) y mezclar durante un minuto o hasta que todas las partículas del agregado se mojen uniformemente. Por último, agregue la cantidad predeterminada de emulsión y mezcle al menos por un periodo de un minuto y no menos de tres.

- Los sistemas de rotura rápida y los sistemas de tránsito rápido se deben mezclar y colocar en 30 segundos y no más de 45 segundos del tiempo total del trabajo.



Figura 5.7: Mezcla.

- Centre la apertura del molde en el disco de 286 mm. de diámetro en el cartón asfaltado, inmediatamente vierta la mezcla en el molde con cartón asfaltado.



Figura 5.8: Colocación de la Muestra.

- Con la escobilla de goma o la regla, nivele la mezcla con el mínimo de manipulación (excesiva manipulación puede segregar el materia) y deseche el material sobrante.



Figura 5.9: Moldeo de la Muestra.

- Retire el molde y coloque la pieza moldeada en el horno a una temperatura de 60 °C y secar hasta peso constante (mínimo 15 horas de secado)



Figura 5.10: Desmolde de la Muestra

Ensayo de la muestra moldeada:

- Sacar la muestra del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente y posteriormente pese la muestra.
- Después de pesar, coloque la muestra en agua a 25°C durante 60 o 75 minutos.



Figura 5.11: Muestras en agua a 25°C por una hora.

- Sacar la muestra del agua y colocar en la bandeja de 330 mm. de diámetro de fondo plano. Sujetar la muestra a la placa de montaje y apretar las abrazaderas.
- Cubra completamente la muestra con 6,35 mm. de agua a 25°C.
- Bloquee la cabeza de la manguera de goma en el eje de la máquina Hobart. Eleve la plataforma de la máquina de Hobart hasta que la manguera de goma quede con la superficie de la muestra. Utilice el bloqueo del puntal para apoyar el montaje de la plataforma durante el ensayo.



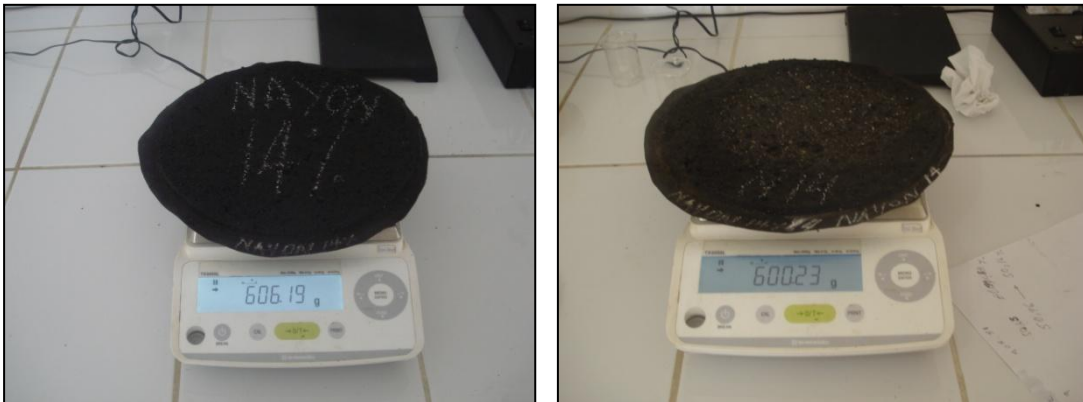
Figura 5.12: Muestra colocada en la máquina y lista para ensayar

- Encienda la máquina a velocidad baja durante 5 minutos.
- Una vez ensayada la muestra, retire de la bandeja y proceda a lavar los residuos. Coloque la muestra lavada en el horno a 60°C y secar a peso constante.



Figura 5.13: Lavado de la muestra.

- Retirar del horno y dejar enfriar. Pesar la muestra. La diferencia entre los 2 pesos (Antes de ensayar y después de ensayar) es la pérdida por desgaste.



Figuras 5.14: Muestra antes del ensayo y Muestra ensayada.

Valor de desgaste:

- El valor de desgaste por unidad de área se lo calcula multiplicando el valor de gramos perdidos por el factor adecuado según el modelo de la máquina usada.

Modelo de la Máquina	Ejecución	Factor adecuado	
	Tiempo en minutos	g/pie2	g/metro2
C-100 (1)	5-0" = ±2"	3.06x1.0	32.9x1.0
A-120 (1)	6'45" = ±2"	2.78x1.17	29.9x1.17
N-50 (1) Modificado	5'15" = ±2"	3.48 x .78	37.5 x .78
N-50 (2)	5'15" = ±2"	3.06x1.0	32.9x1.0

Tabla 5.26: Cuadro de corrección de acuerdo al tipo de máquina.



Figura 5.15: Modelo de la Máquina Usada

5.4.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

Cantera: Guayllabamba						
%	Guayllabamba 12%		Guayllabamba 14%		Guayllabamba 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800
1%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	14%	agua	12%	agua	12%
		112		96		96
	emulsión	96	emulsión	112	emulsión	128

Tabla 5.27: Dosificación ISSA TB-100 Guayllabamba

		gramos		gramos		gramos
Antes del ensayo	peso seco	626,00	peso seco	555,69	peso seco	556,60
Después del ensayo		609,21		541,04		546,97
Diferencia de peso		16,78		14,65		9,63

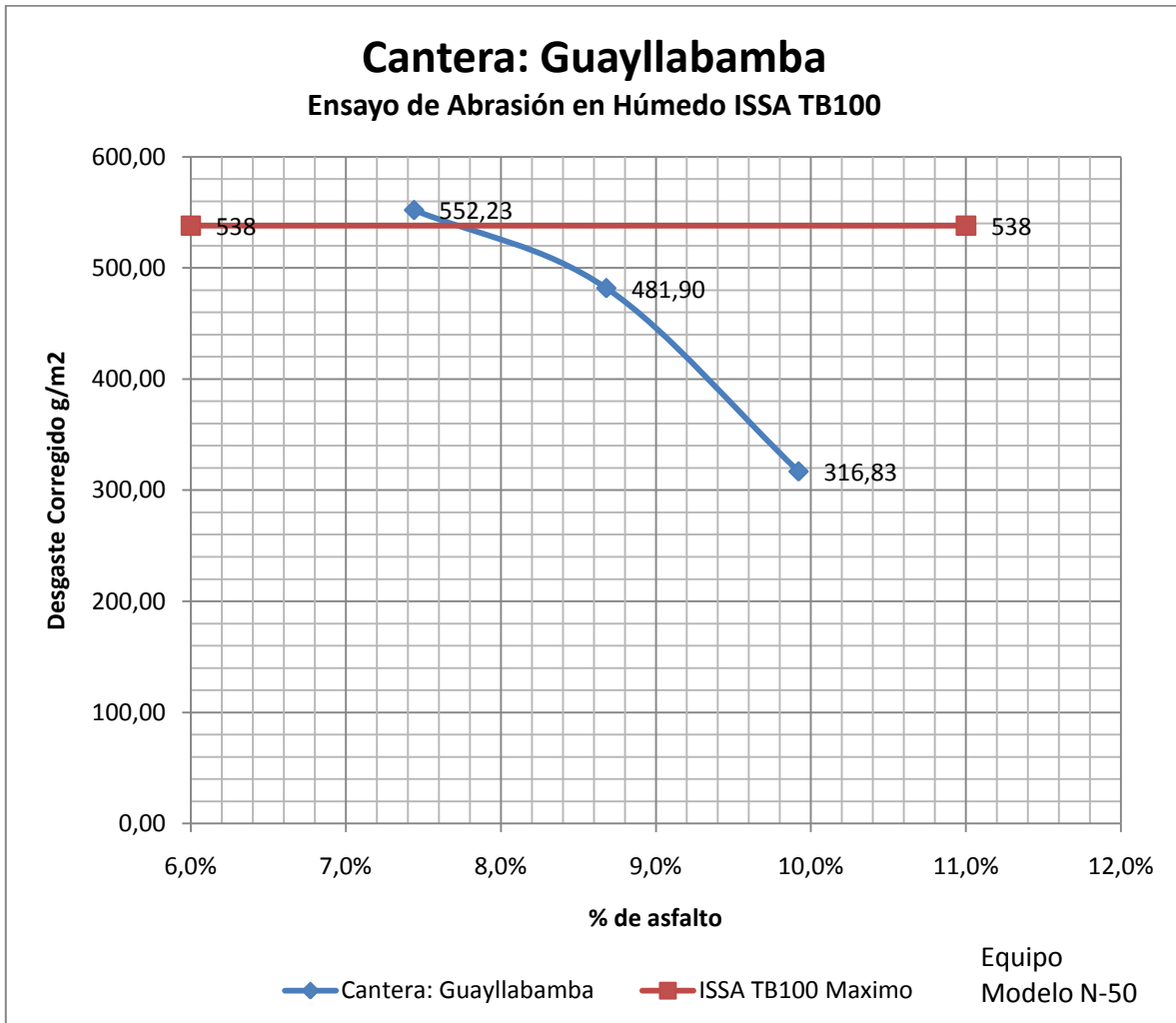
Tabla 5.28: Peso de muestras ISSA TB-100 Guayllabamba

Factor de Corrección N-50	Guayllabamba 12%		Guayllabamba 14%		Guayllabamba 16%	
32,9	552,23	g/m ²	481,90	g/m ²	316,83	g/m ²

Tabla 5.29: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Guayllabamba

% emulsión	% asfalto
12	7,44%
14	8,68%
16	9,92%

Tabla 5.30: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.13: ISSA TB-100 Guayllabamba

- **Cantera: Pifo**

Cantera: Pifo						
%	Pifo 14%		Pifo 15%		Pifo 17%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800
1%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
12%	agua	96	agua	96	agua	96
	emulsión	112	emulsión	120	emulsión	136

Tabla 5.31: Dosificación ISSA TB-100 Pifo

Antes del ensayo	peso seco	626,04	peso seco	556,92	peso seco	559,88
Después del ensayo		609,21		541,04		546,97
Diferencia de peso		16,83		15,88		12,908

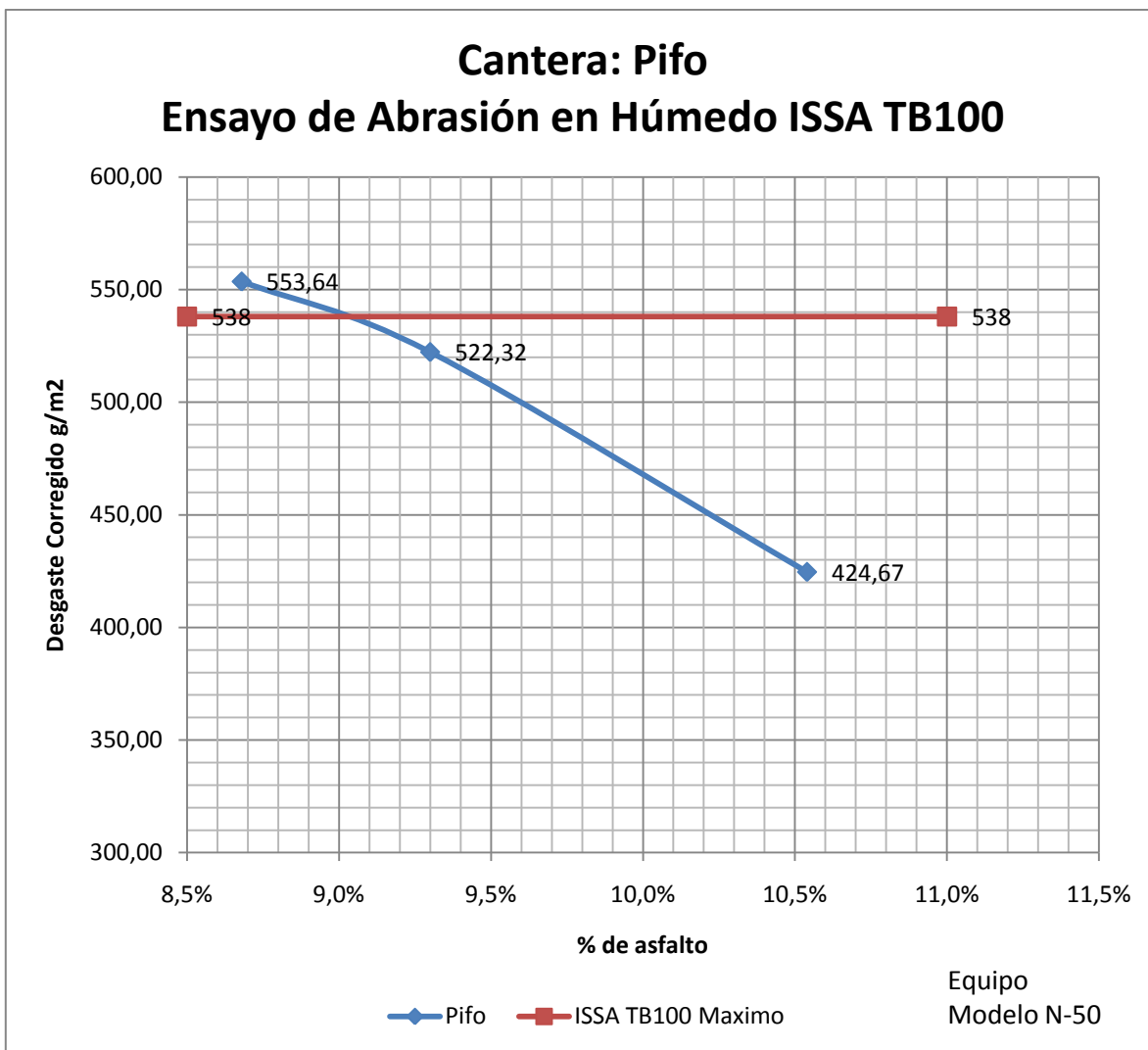
Tabla 5.32: Pesos de muestras ISSA TB-100 Pifo

Factor de Corrección N-50	Pifo 14%		Pifo 15%		Pifo 17%	
32,9	553,64	g/m2	522,32	g/m2	424,67	g/m2

Tabla 5.33: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Pifo

%emulsión	%asfalto
14	8,68%
15	9,30%
17	10,54%

Tabla 5.34: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.14: ISSA TB-100 Pifo

- **Cantera: Pintag**

Cantera: Pintag								
%	Pintag 10%		Pintag 12%		Pintag 14%		Pintag 17%	
	Material	g	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800
1%	cemento	8	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	12%	agua	12%	agua	9%	agua	9%
		96		96		72		72
	emulsión	80	emulsión	96	emulsión	112	emulsión	132

Tabla 5.35: Dosificación ISSA TB-100 Pintag

Antes del ensayo	peso seco	540,72	peso seco	453,3	peso seco	503,54	peso seco	442,6
Después del ensayo		485,85	peso seco	426,14	peso seco	487,04	peso seco	433,83
Diferencia de peso		54,87		27,16		16,5		8,77

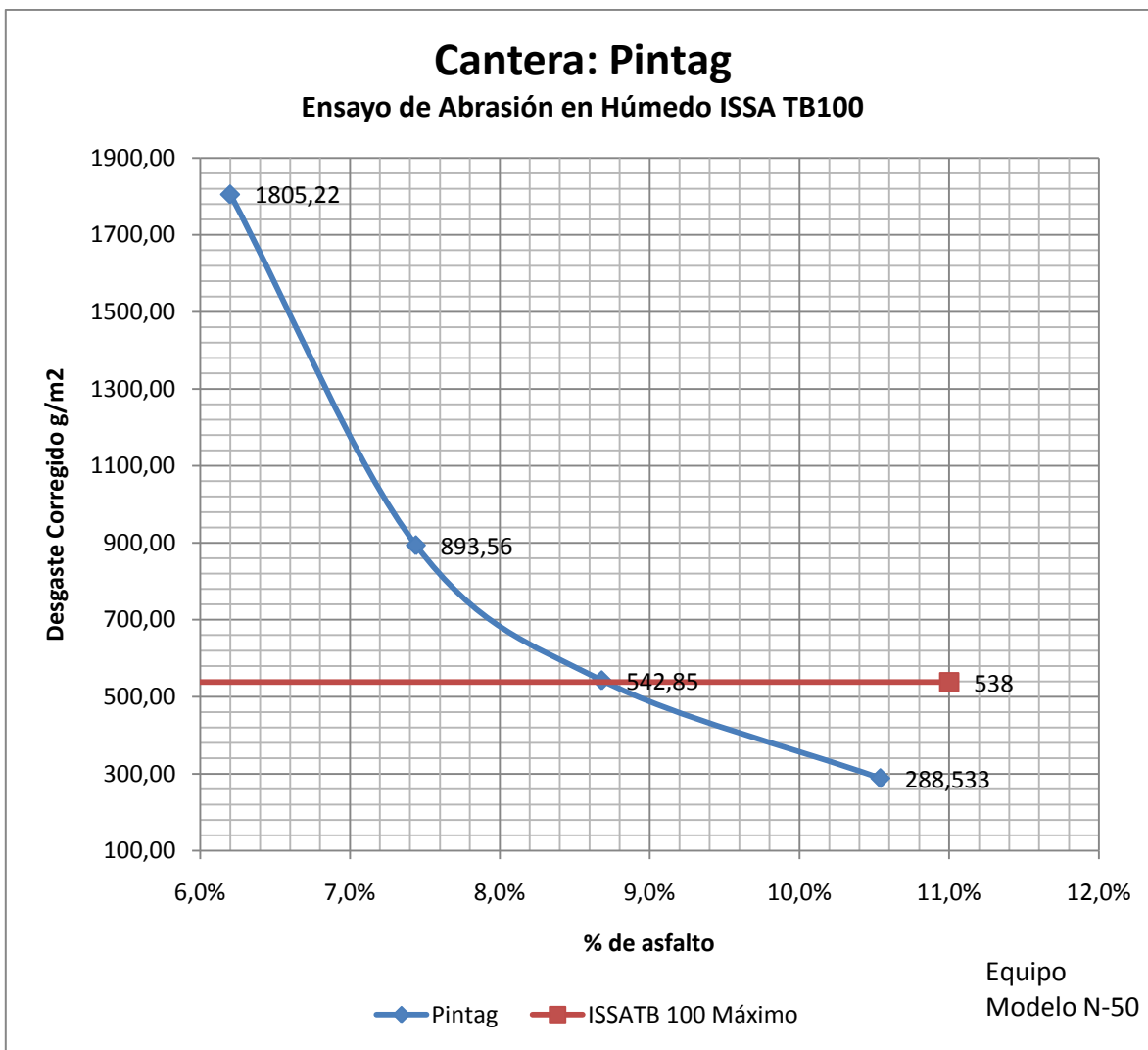
Tabla 5.36: Pesos de muestras ISSA TB-100 Pintag

Factor de Corrección N-50	Pintag 10%	Pintag 12%	Pintag 14%	Pintag 17%
32,9	1805,223 g/m ²	893,564 g/m ²	542,85 g/m ²	288,533 g/m ²

Tabla 5.37: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Pífo

%emulsión	%asfalto
10	6,20%
12	7,44%
14	8,68%
17	10,54%

Tabla 5.38: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.15: ISSA TB-100 Pintag

- **Cantera:** San Antonio

Cantera: San Antonio						
%	San Antonio 14%		San Antonio 15%		San Antonio 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800
1%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	9%	agua	8%	agua	8%
		72		64		64
	emulsión	112	emulsión	120	emulsión	128

Tabla 5.39: Dosificación ISSA TB-100 San Antonio

Antes del ensayo	peso seco	606,84	peso seco	594,97	peso seco	563,48
Después del ensayo		589,69		581,67		551,78
Diferencia de peso		17,15		13,30		11,7

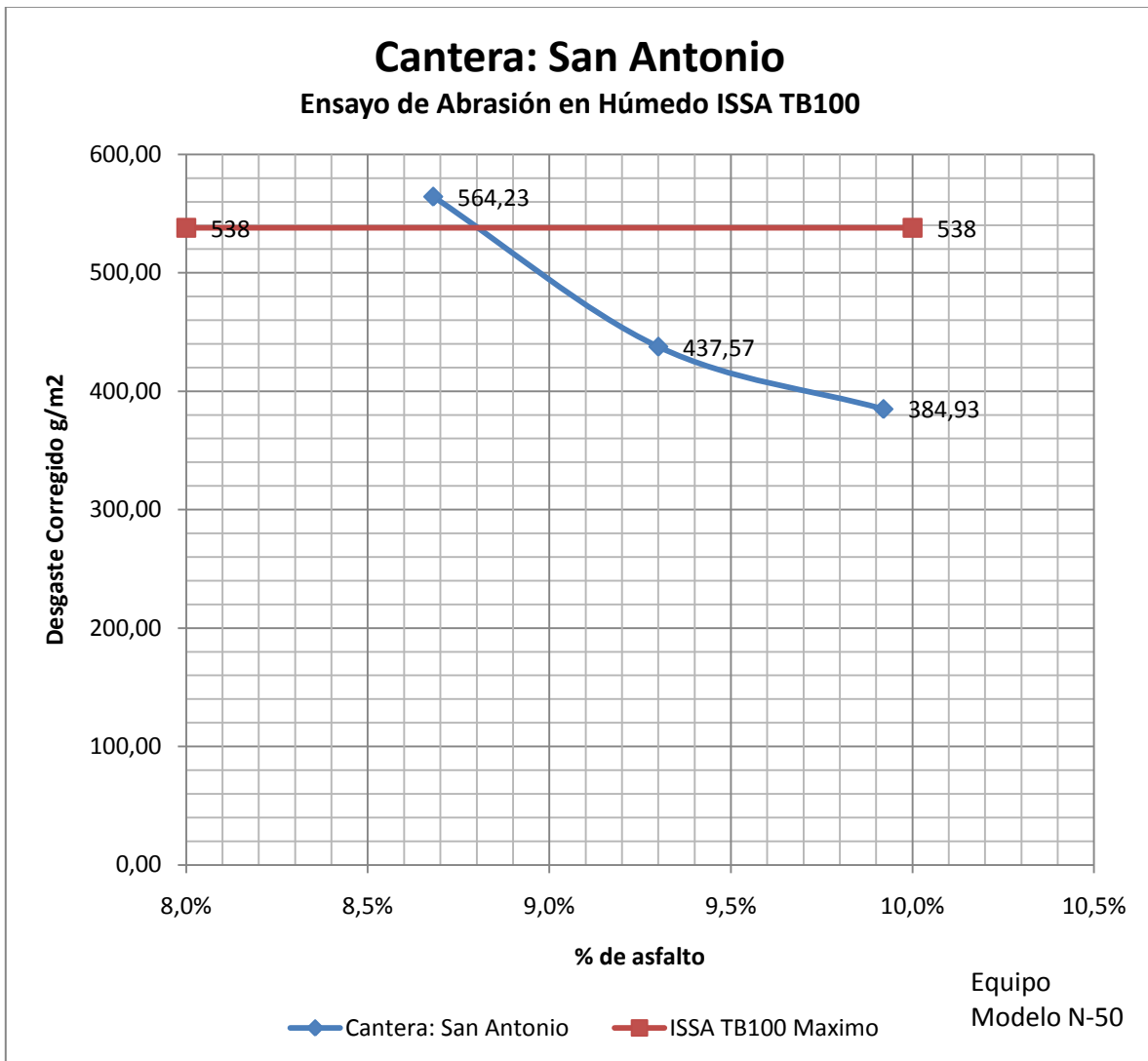
Tabla 5.40: Pesos de muestras ISSA TB-100 San Antonio

Factor de Corrección N-50	San Antonio 14%		San Antonio 15%		San Antonio 16%	
32,9	564,23	g/m2	437,57	g/m2	384,93	g/m2

Tabla 5.41: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 San Antonio

%emulsión	%asfalto
14	8,68%
15	9,30%
16	9,92%

Tabla 5.42: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.16: ISSA TB-100 San Antonio

- **Cantera:** Nayón.

Cantera: Nayón						
%	Nayón 12%		Nayón 14%		Nayón 16%	
	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	800	peso agregado	800	peso agregado	800
1%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	20%	agua	20%	agua	18%
		160		160		144
	emulsión	96	emulsión	112	emulsión	128

Tabla 5.43: Dosificación ISSA TB-100 Nayón

Antes del ensayo	peso seco	500,32	peso seco	606,19	peso seco	545,17
Después del ensayo		474,39		600,23		543,27
Diferencia de peso		25,93		5,96		1,9

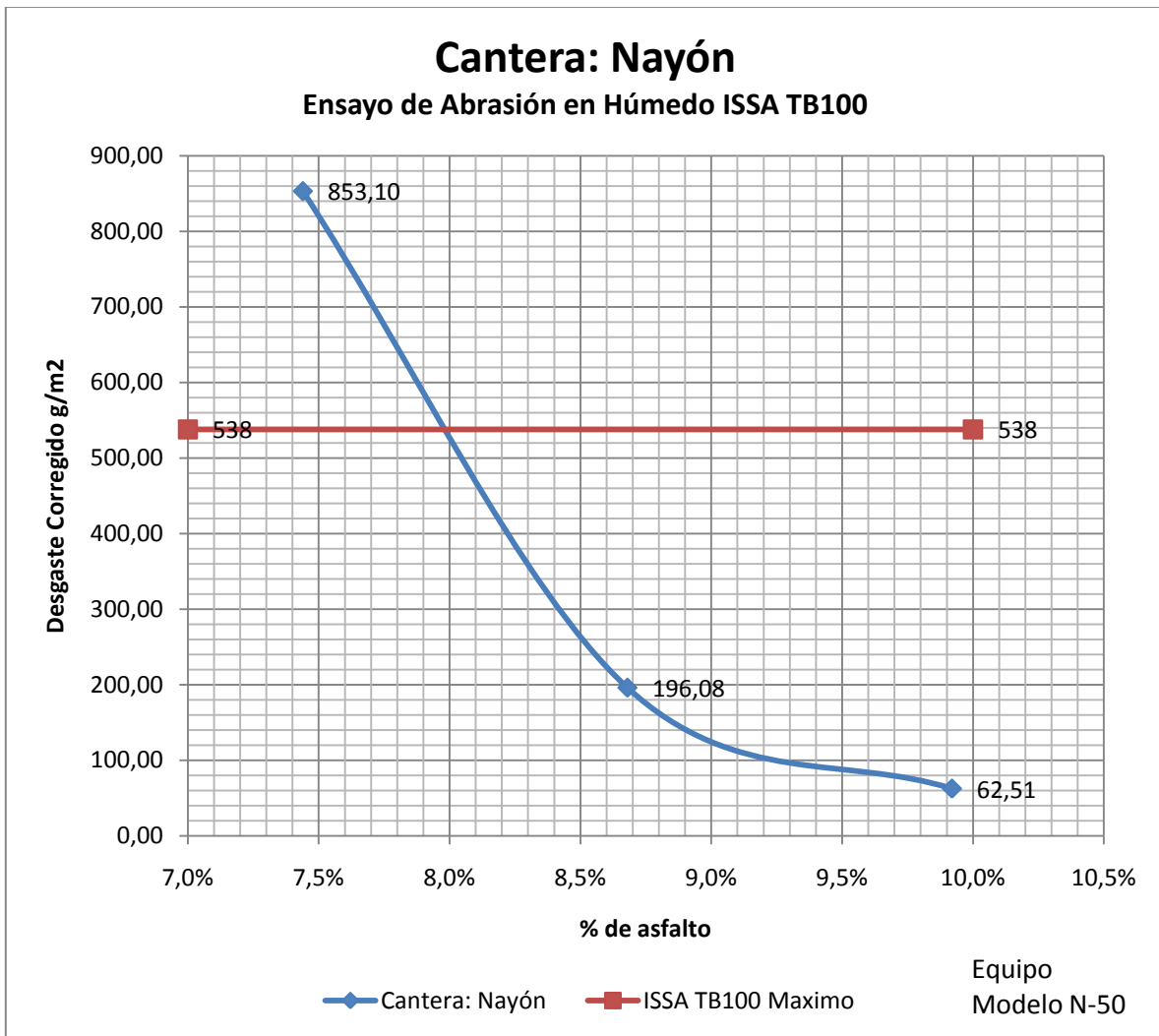
Tabla 5.44: Pesos de muestras ISSA TB-100 Nayón

Factor de Corrección N-50	Nayón 12%		Nayón 14%		Nayón 16%	
32,9	853,097	g/m ²	196,084	g/m ²	62,51	g/m ²

Tabla 5.45: Corrección según maquina de Ensayo ISSA TB-100 Nayón

%emulsión	%asfalto
12	7,44%
14	8,68%
16	9,92%

Tabla 5.46: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.17: ISSA TB-100 Nayón

5.5 Ensayo de Rueda Cargada y Adhesión de Arena para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB-109.

Este método de ensayo se destina para compactar bien los agregados en las mezclas bituminosas tales como los Slurry Seals por medio de una carga, por fatiga del vaivén de la rueda de goma.

Así mismo este método de ensayo pretende **establecer los límites máximos de contenido de asfalto** en el diseño y habilitar al diseñador de la mezcla asfáltica para que evite graves descargas bajo un tránsito presado.

Preparación de la Muestra:

- Las muestras serán elaboradas con la formulación seleccionada y con materiales que se van a usar en el proyecto.
- Se selecciona el espesor de la muestra, lo que dará como resultado una muestra de espesor deseado para la prueba.
- Preparar un 25 – 30% más de mezcla necesaria para llenar el molde de la mezcla (Generalmente 300 gramos de mezcla son necesarios para llenar el molde de ¼")
- Se realiza la mezcla pesando cuidadosamente y teniendo en cuenta que la misma debe romper 30 segundos después de haber de colocado la emulsión.

- Se coloca la mezcla a lo largo molde previamente centrado en la placa metálica. Usando un movimiento de vaivén horizontal se nivela con la barra. Cuando la muestra se ha fijado lo suficiente como para evitar desplazamiento, se desmolda. La se procede a secar la muestra durante un mínimo de 12 horas en el horno a 140°F.



Figura 5.16: Colocación de la muestra en el molde.



Figura 5.17: Nivelación de la muestra.

- Se extrae la muestra del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.



Figura 5.18: Muestra enfriándose.

Colocación de la muestra en la máquina de ensayo:

- La muestra se coloca sobre la placa de montaje y se sujeta con los pasadores con firmeza en las arandelas de fijación.



Figura 5.19: Colocación de la muestra.

Procedimiento:

- Se limpia la rueda con un solvente por evaporación y agua. La rueda se coloca sobre la muestra y así mismo se carga con el peso deseado.
- Se encera el contador y se enciende la máquina hasta que complete 1000 ciclos. (En muchos casos se verá o escuchara una pegajosidad o un brillo, en este punto agregue agua para evitar la adherencia de la muestra a la rueda)



Figura 5.20: Encerado del máquina de ensayo.



Figura 5.21: Máquina de ensayo realizando los 1000 ciclos.

- Se descarga la máquina, y se procede a lavar la muestra y secar a 140°C hasta peso constante. Se procede a pesar y nuevamente se lo coloca en la máquina usando el marco superior con la parte de la goma hacia la muestra, en donde es llenado con 300 gramos de arena caliente a 80°C (180°F).



Figura 5.22: Colocación del Marco y la arena caliente

- Se carga nuevamente a la máquina y se completa con 100 ciclos más.
- Se limpia la arena suelta, se limpia y se pesa. Se observa el incremento de peso debido a la arena adherida.



Figura 5.23: 100 ciclos adicionales y limpieza de la arena no adherida.

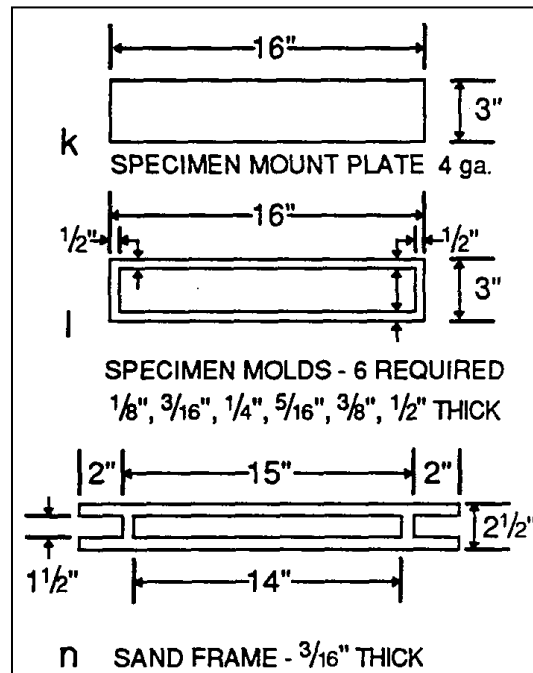
Cálculos:

a: Peso de muestra sin la arena

b: Peso de muestra con la arena

C: Arena Adherida

$$C = a - b$$



Cuadro 5.18: Dimensiones de los moldes.

A: área del molde

$$A = 14 * 1 \frac{1}{2}$$

$$A = 0,01354836 \text{ m}^2$$

$$\text{Arena Adherida } m^2 = C/A$$

5.5.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera:** Guayllabamba

	Cantera: Guayllabamba					
	Guayllabamba 12%		Guayllabamba 14%		Guayllabamba 16%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
1%	cemento	4	cemento	4	cemento	4
Variable	agua	14%	agua	12%	agua	12%
		56		48		48
	emulsión	48	emulsión	56	emulsión	64

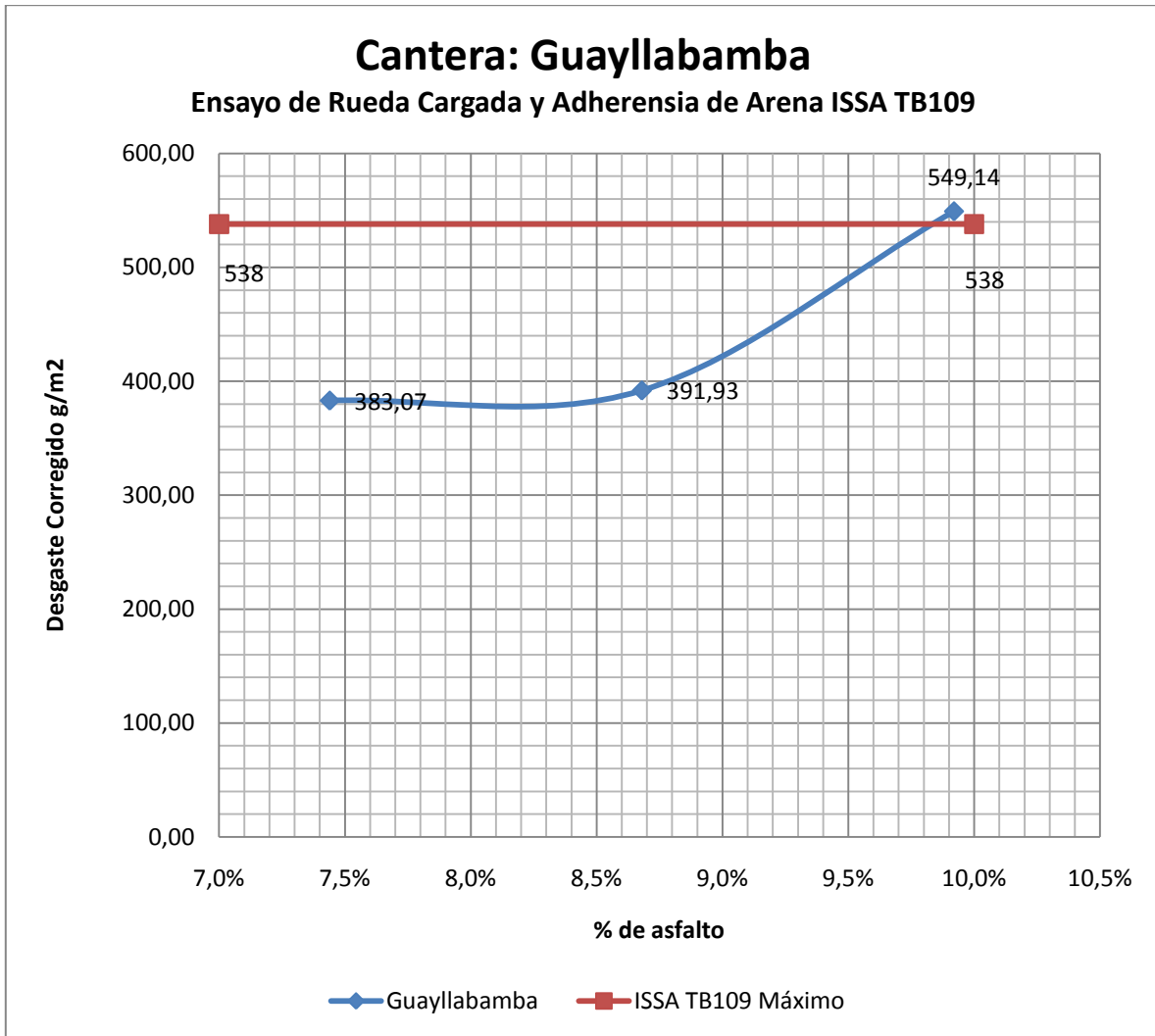
Tabla 5.47: Dosificación ISSA TB-109 Guayllabamba.

	Cantera: Guayllabamba					
	Guayllabamba 12%		Guayllabamba 14%		Guayllabamba 16%	
Muestra ensayada Sin arena	427,27	g	428,02	g	441,71	g
Muestra ensayada Con arena	432,46	g	433,33	g	449,15	g
Arena adherida	5,19	g	5,31	g	7,44	g
	383,07	g/m2	391,93	g/m2	549,14	g/m2

Tabla 5.48: Pesos de la muestra ISSA TB-109 Guayllabamba.

% emulsión	% asfalto
12	7,44%
14	8,68%
16	9,92%

Tabla 5.49: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.19: ISSA TB-109 Guayllabamba.

- **Cantera: Pifo**

	Cantera: Pifo					
	Pifo 14%		Pifo 15%		Pifo 17%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
2%	cemento	8	cemento	8	cemento	8
Variable	agua	14%	agua	12%	agua	12%
		56		48		48
	emulsión	56	emulsión	60	emulsión	68

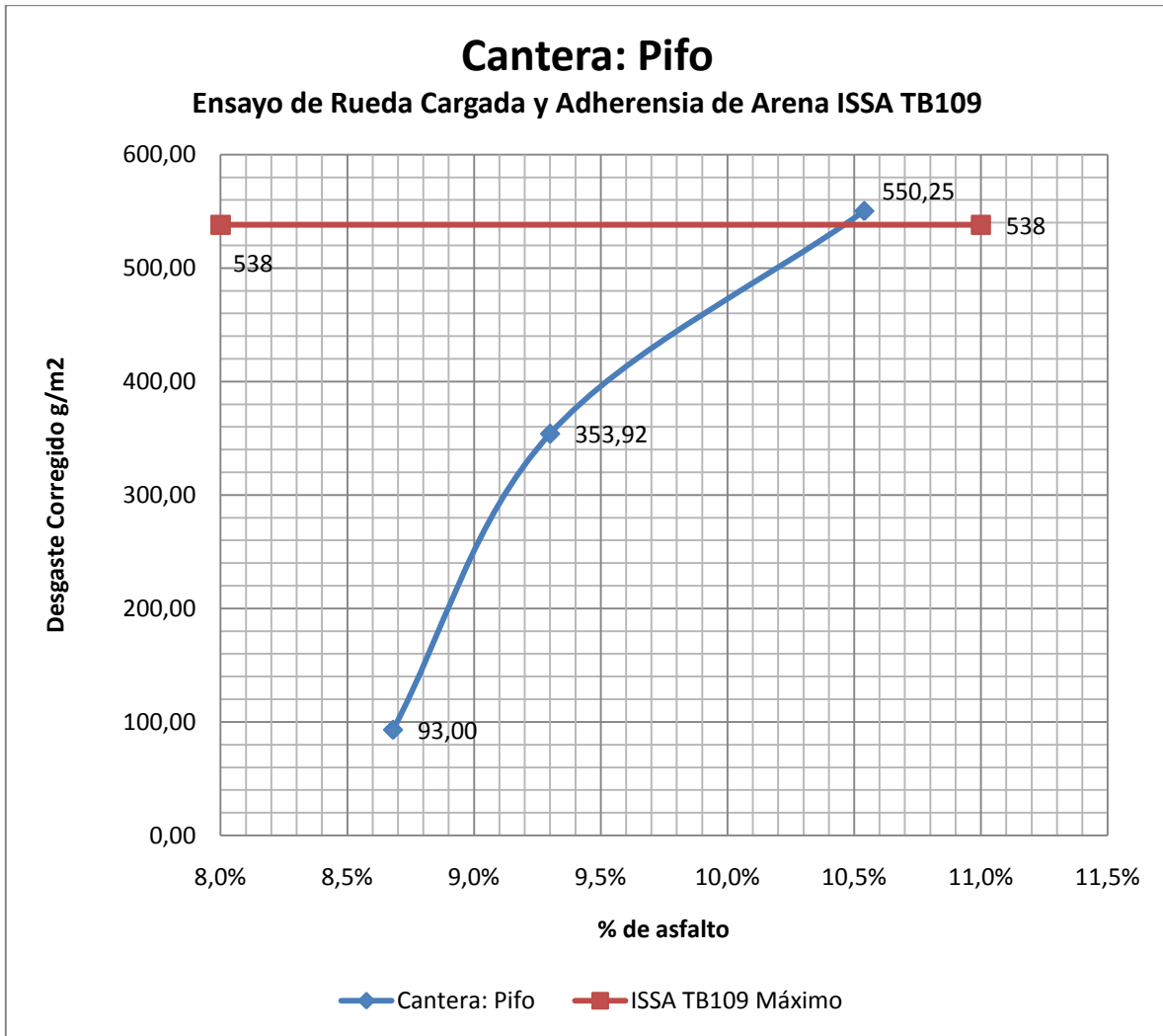
Tabla 5.50: Dosificación ISSA TB-109 Pifo.

	Cantera: Pifo					
	Pifo 14%		Pifo 15%		Pifo 17%	
Muestra ensayada Sin arena	427,27	g	428,02	g	441,71	g
Muestra ensayada Con arena	428,53	g	432,815	g	449,165	g
Arena adherida	1,26	g	4,795	g	7,455	g
	93,00	g/m2	353,92	g/m2	550,25	g/m2

Tabla 5.51: Pesos de la muestra ISSA TB-109 Pifo

%emulsión	%asfalto
14	8,68%
15	9,30%
17	10,54%

Tabla 5.52: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.20: ISSA TB-109 Pifo

- **Cantera:** Pintag

Cantera	Pintag					
	Pintag 12%		Pintag 14%		Pintag 17%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
3%	cemento	12	cemento	12	cemento	12
Variable	agua	14%	agua	12%	agua	10%
		56		48		40
	emulsión	48	emulsión	56	emulsión	64

Tabla 5.53: Dosificación ISSA TB-109 Pintag.

Este es un caso particular, ya que no se pudieron determinar los valores para este ensayo debido la poca resistencia que ofrece estos materiales en la mezcla.



Figura 5.24: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.



Figura 5.25: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.



Figura 5.26: Muestra dañada antes de los 1000 ciclos.

- **Cantera:** San Antonio

	Cantera: San Antonio					
	San Antonio 14%		San Antonio 15%		San Antonio 16%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
1%	cemento	4	cemento	4	cemento	4
Variable	agua	9%	agua	8%	agua	8%
		36		32		32
	emulsión	56	emulsión	60	emulsión	64

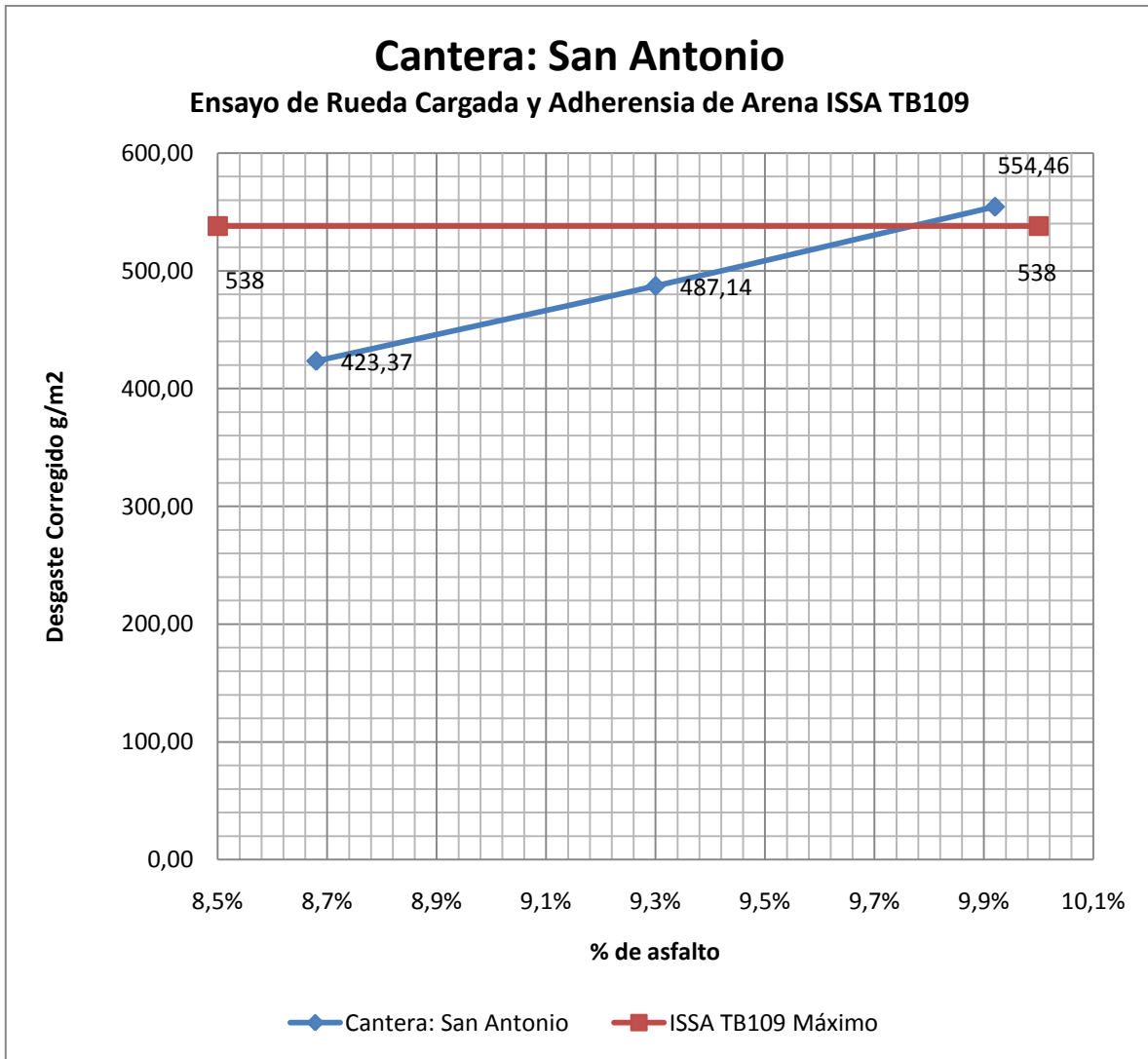
Tabla 5.54: Dosificación ISSA TB-109 San Antonio.

	Cantera: San Antonio					
	San Antonio 14%		San Antonio 15%		San Antonio 16%	
Muestra ensayada Sin arena	427,27	g	428,02	g	441,71	g
Muestra ensayada Con arena	433,006	g	434,62	g	449,222	g
Arena adherida	5,736	g	6,6	g	7,512	g
	423,37	g/m2	487,14	g/m2	554,46	g/m2

Tabla 5.55: Pesos de la muestra ISSA TB-109 San Antonio.

%emulsión	%asfalto
14	8,68%
15	9,30%
16	9,92%

Tabla 5.56: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.21: ISSA TB-109 San Antonio.

- **Cantera: Nayón**

	Cantera: Nayón					
	Nayón 12%		Nayón 14%		Nayón 16%	
%	Material	g	Material	g	Material	g
100%	peso agregado	400	peso agregado	400	peso agregado	400
1%	cemento	4	cemento	4	cemento	4
Variable	agua	20%	agua	20%	agua	18%
		80		80		72
	emulsión	48	emulsión	56	emulsión	64

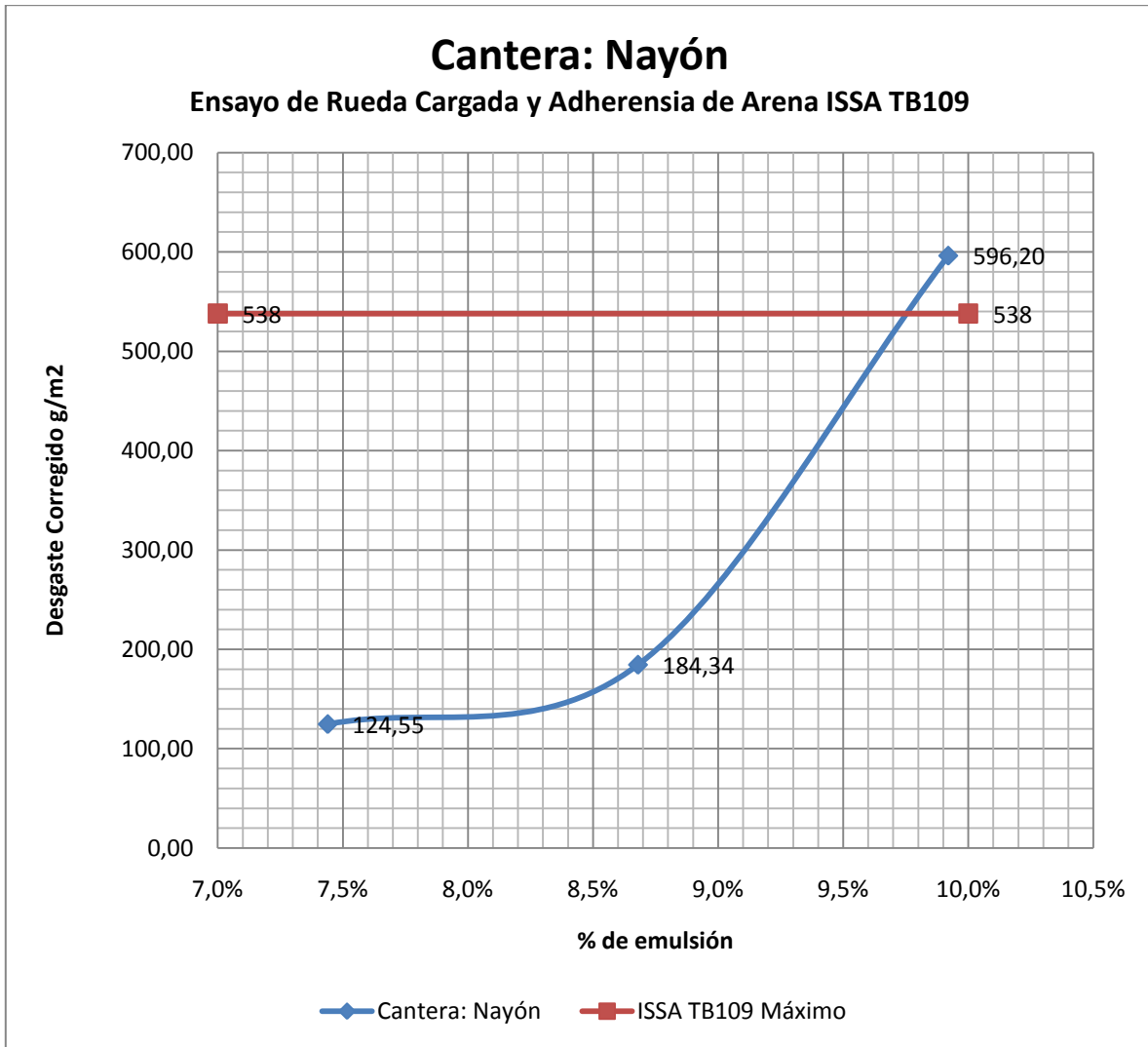
Tabla 5.57: Dosificación ISSA TB-109 San Antonio.

	Cantera: Nayón					
	Nayón 12%		Nayón 14%		Nayón 16%	
Muestra ensayada Sin arena	427,27	g	428,02	g	441,71	g
Muestra ensayada Con arena	428,9575	g	430,5175	g	449,7875	g
Arena adherida	1,6875	g	2,4975	g	8,0775	g
	124,55	g/m2	184,34	g/m2	596,20	g/m2

Tabla 5.58: Pesos de la muestra ISSA TB-109 San Antonio.

%emulsión	%asfalto
12	7,44%
14	8,68%
16	9,92%

Tabla 5.59: Porcentaje de emulsión y porcentaje de asfalto



Cuadro 5.22: ISSA TB-109 Nayón.

CAPITULO VI

DISEÑO DEFINITIVO DEL MICROPAVIMENTO

CAPÍTULO VI: DISEÑO DEFINITIVO DEL MICROPAVIMENTO

La ISSA TB – 111, recomienda seguir el lineamiento establecido a continuación para el Diseño de los **sellos asfálticos**; los mismos que han sido tomados en cuenta para la realización de éste proyecto.

- **PARTE I:** *Consideraciones de diseño preliminar*

- 1. Describir el pavimento a tratar**

- a. Estado de la superficie-macro textura, absorción, la superficie y las grietas estructurales, la contaminación superficial, geometría longitudinal y transversal, ahuellamientos, la vegetación.
- b. El clima y las condiciones climáticas - temperatura, precipitaciones, sombra, viento.
- c. Tráfico medio diario (IMD), los límites de velocidad.

- 2. Estado objetivo del tratamiento**

- a. Número de capas requeridas, macro textura superficial.
- b. Sellado, deshilachado corrección, rellenado de grietas, acañamiento, corrección de surco, preparación para la superposición, la corrección de deslizamiento, etc.
- c. Los requisitos de la esperanza de vida.

3. Evaluación y selección de materiales

a. Evaluación de los agregados propuestos.

- Expediente de durabilidad en campo.
- Nivel de resistencia al deslizamiento (SRL), la susceptibilidad al pulido.
- Gradación, 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, rueda de abrasión británica, dureza, resistencia al aplastamiento, congelación y descongelación, friabilidad.
- Propiedades químicas, insolubilidad del ácido, solvencia al sulfato de sodio, la solubilidad en agua.
- Mineralogía / petrología, geología.
- Ubicación economía, disponibilidad, costo de transporte.

b. Seleccione agregados y gradación para cumplir los objetivos.

c. Evaluación de la emulsión propuesta.

- Expediente de durabilidad en campo.
- Base de origen del asfalto tipo de oxidación/resistencia endurecimiento.
- Estabilidad del tamaño de las partículas de la emulsión, sensibilidad al corte, tamización.
- Requerimientos del clima/penetración-viscosidad.

- Clima-sombra, sol, viento, hielo, sal, tráfico en tiempo requerido.
 - Requisitos de rotura rápida/rotura lenta.
 - Compatibilidad / adherencia de las características del sistema de agregado-filler de retardo/acelerado y re-emulsificación
 - Ubicación económica, disponibilidad, costo de transporte.
- d. Selección de la emulsión para cumplir objetivos.
- **PARTE II: Procedimientos para la formulación de la mezcla de trabajo.**
 1. **Estimación de las necesidades teóricas de asfalto puro (PAR) o requisito Betún (BR), siguiendo el método de superficie para un revestimiento 8µm.**
 - a. Equivalente de arena del Agregado.
 - b. Gravedad específica aparente del Agregado.
 - c. Gradación de Agregado (tamizado en seco).
 - d. Equivalente de centrífuga de kerosene del Agregado.
 - e. Calcular la superficie total.
 - f. Porcentaje de asfalto residual en la emulsión.
 - g. Calcular el **PAR/BR** teórico para un espesor de revestimiento 8µm de la superficie calculada y registre como:
 - Porcentaje de asfalto añadido al peso en seco del agregado.
 - Porcentaje de emulsión añadido al peso en seco del agregado @ % de asfalto residual.

- Porcentaje de asfalto del total de sólidos secos.

2. Determinación del Sistema de compatibilidad.

- a.** Estimación de mineral de relleno (filler) y requisitos de aditivos.
 - Ensayar 100 gramos de mezcla en el recipiente con 100 de **PAR** para estimar el contenido de agua óptimo, requerimiento de mineral de relleno (filler) y las características mezcla-rotura-trafico/tiempo de curado, TB ISSA TB – 102.
 - Ajuste de **PAR** para material de relleno, si es necesario.
- b.** Ensayar la prueba de consistencia del cono para obtener una consistencia de 2,5 centímetros, ISSA TB – 106.
 - Determinar el contenido óptimo de la mezcla de agua para tres niveles de contenido de emulsión, *por ejemplo, el 100%, 85 %, 70 % de PAR de 2,5 cm. de consistencia.*
 - Ajustar el contenido mineral de relleno (filler), que permite combinar el contenido de agua y **PAR** para cambios en tiempos de mezcla-rotura-tráfico, si es necesario.
- c.** Prueba de compatibilidad.

3. Determinación del tiempo de curado o apertura al tránsito por medio del ensayo de cohesión

- a. Establecer tiempos de mezcla y rotura a la temperatura de trabajo de acuerdo a la ISSA TB -102.
- b. Establecer tiempo de apertura al tránsito por medio de cohesiómetro a la temperatura de trabajo.

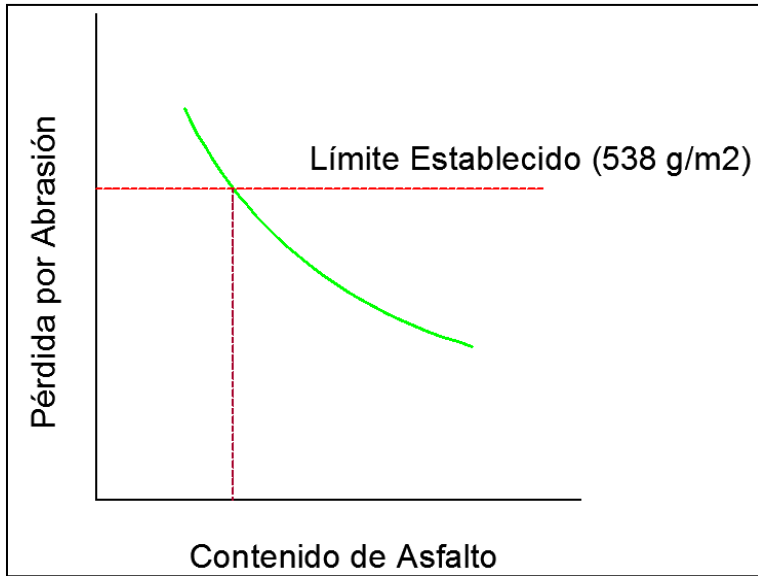
4. Pruebas físicas en el Micropavimento.

- a. Ensayo de Abrasión en Húmedo: medición de la resistencia a la abrasión mecánica.
- b. Ensayo de Rueda Cargada: simulación de tránsito, medición de la resistencia a la descarga de tránsito pesado.

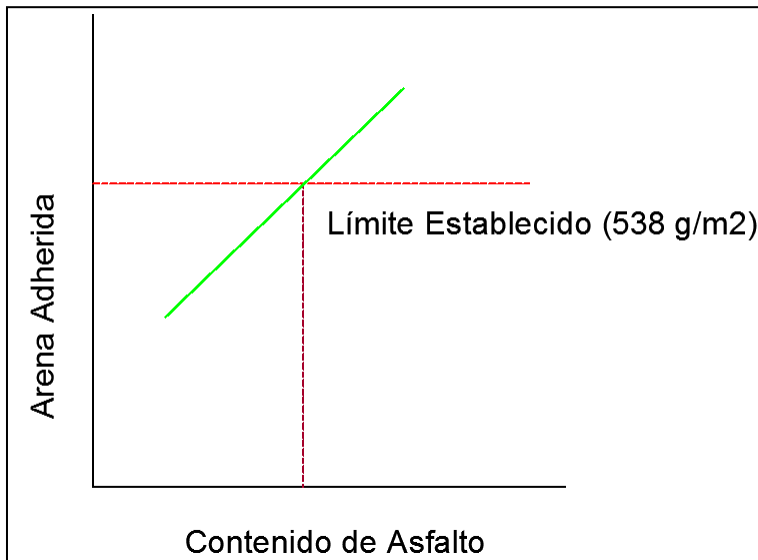
6.1 Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto para los agregados de las canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón de acuerdo a la ISSA TB – 111.

Posteriormente de haberse cumplido con los requisitos planteados anteriormente, se procede a determinar el contenido de asfalto óptimo de la siguiente manera:

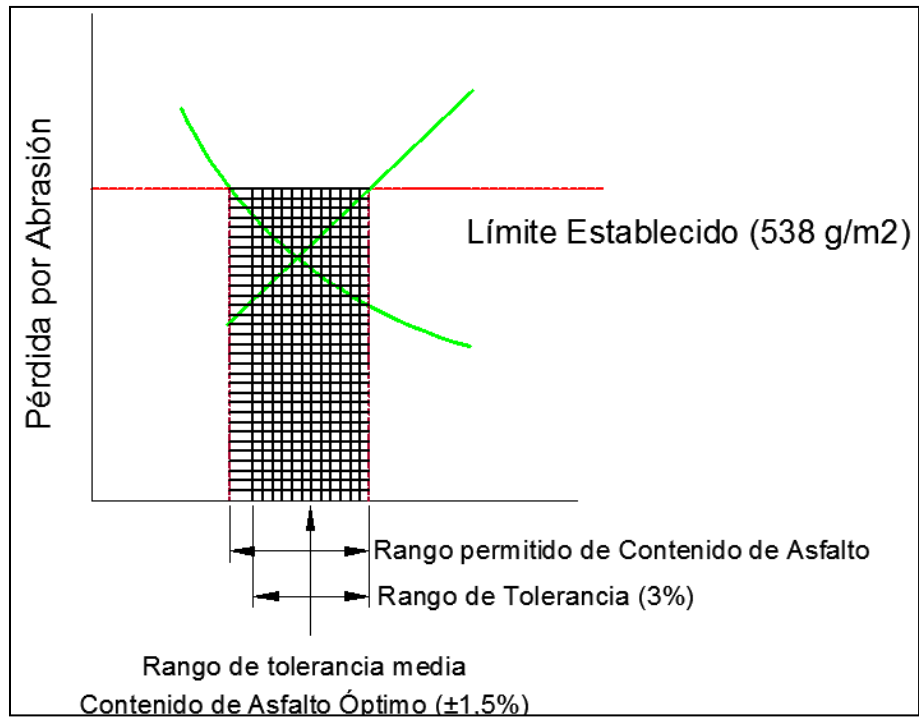
- Determinar los límites máximos de contenido de asfalto
 - Determinación del contenido mínimo de asfalto (ISSA TB - 100).
 - Determinar el contenido máximo de asfalto (ISSA TB - 109).
 - Dibujar las graficas de los datos de pruebas y superponer los límites establecidos.
 - Leer el contenido óptimo de asfalto.



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



Cuadro 6.2: Contenido Óptimo de Asfalto Máximo ISSA TB – 109.



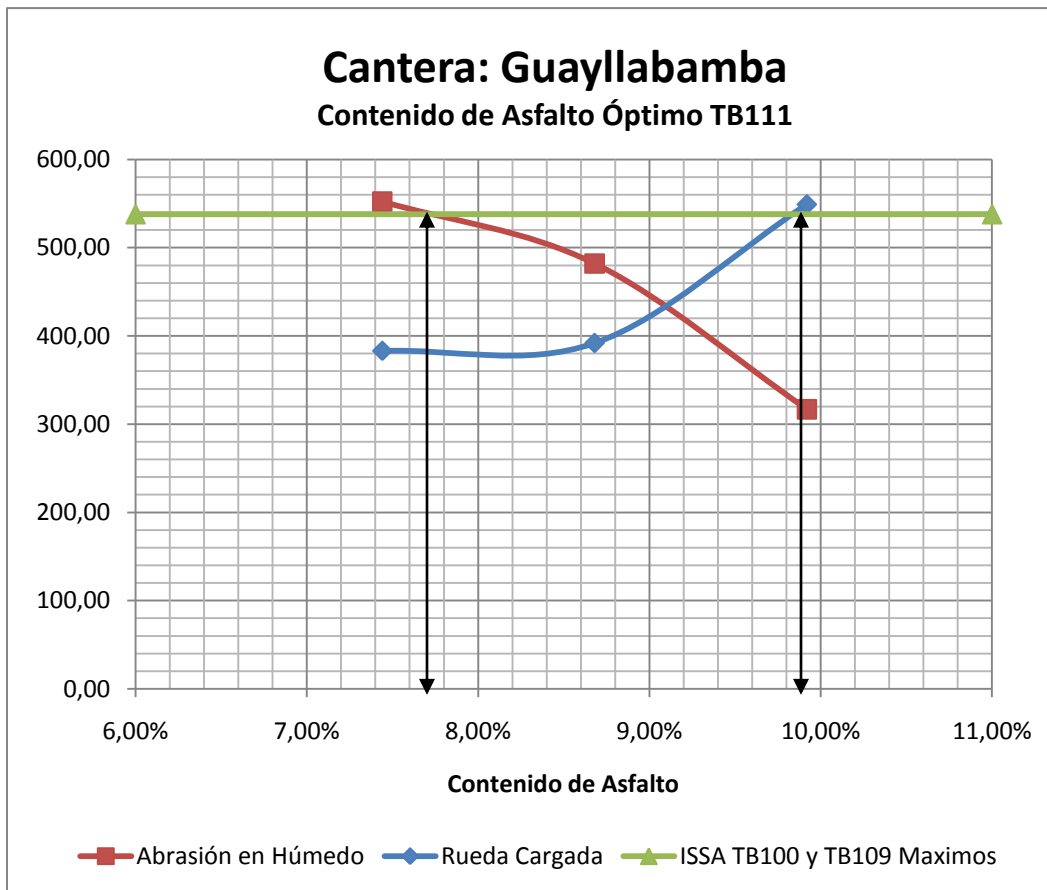
Cuadro 6.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.

6.1.1 Resultados de los ensayos.

- **Cantera: Guayllabamba**

Cantera		Guayllabamba	
%Emulsión	%Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada
12%	7,44%	552,23	383,07
14%	8,68%	481,90	391,93
16%	9,92%	316,83	549,14

Tabla 6.1: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109.



Cuadro 6.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,85 - 7,7}{2} + 7,7 = 8,78\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,78}{0,62} = 14,15\%$$

Asumimos 14%

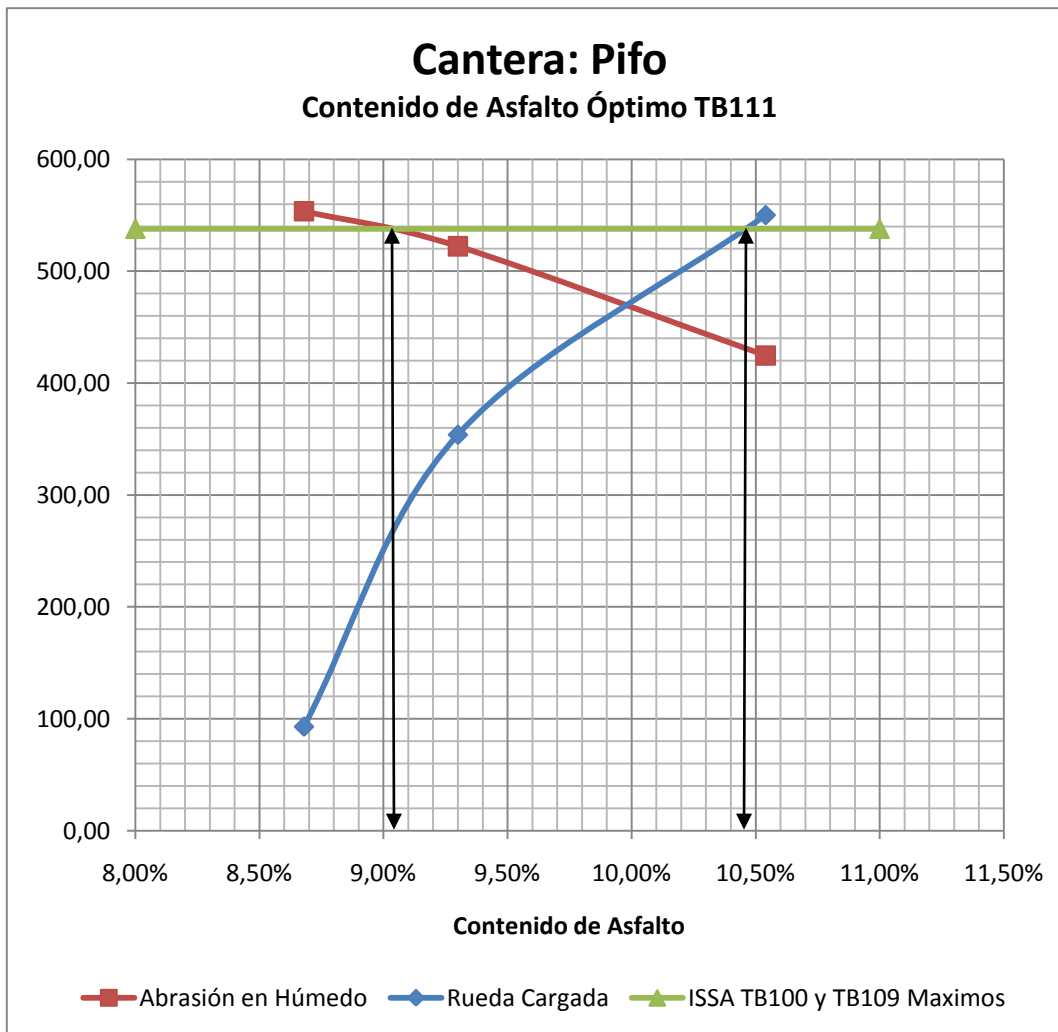
%Asfalto Óptimo	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,78%	14,15%	14,00%

Tabla 6.2: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Cantera: Pifo**

Cantera		Pifo	
%Emulsión	%Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada
14%	8,68%	553,64	93,00
15%	9,30%	522,32	353,92
17%	10,54%	424,67	550,25

Tabla 6.3: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109



Cuadro 6.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{10,45 - 9,1}{2} + 9,1 = 8,425\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,425}{0,62} = 13,59\%$$

Asumimos 14%

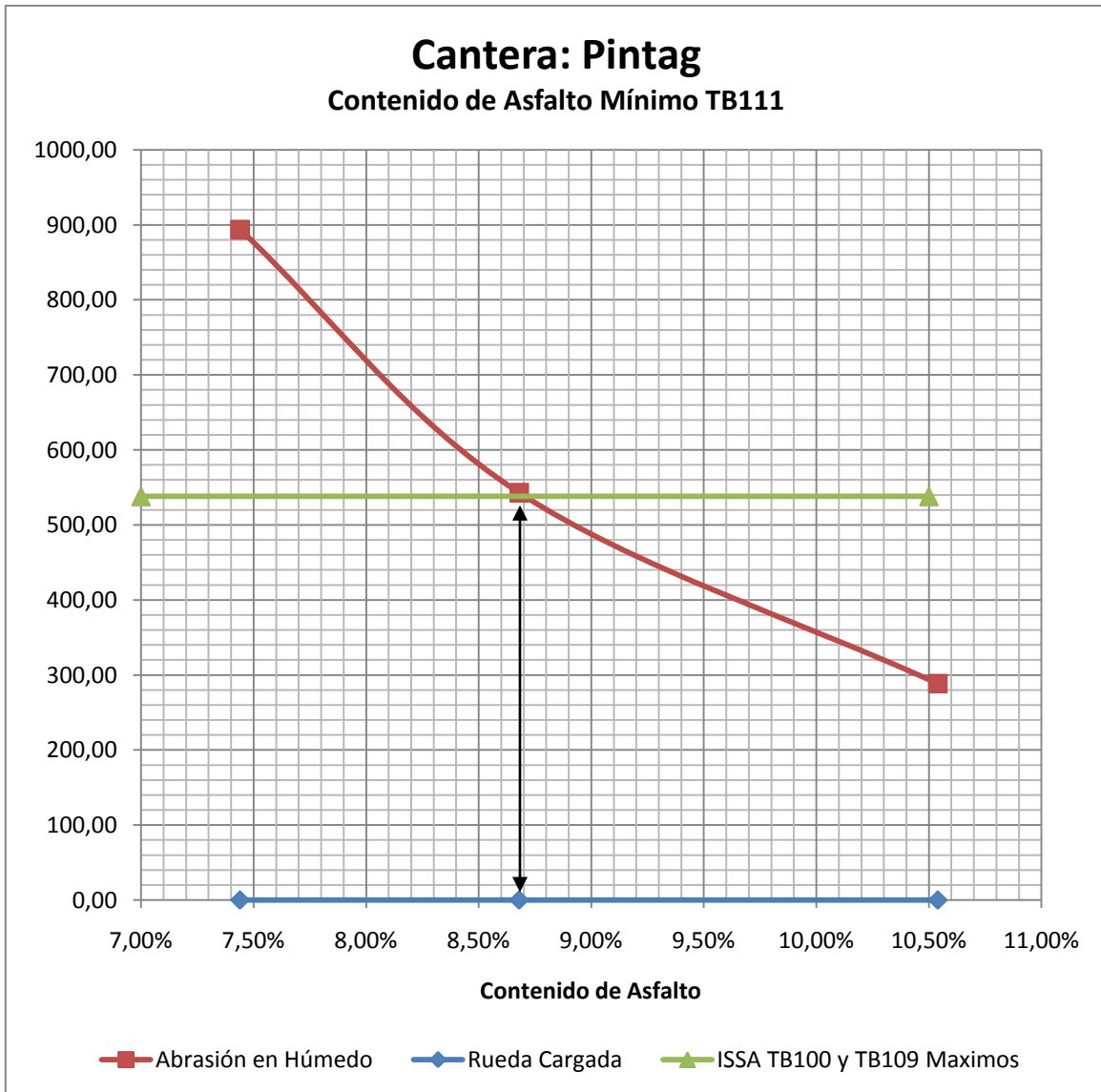
%Asfalto Óptimo	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,425%	13,59%	14%

Tabla 6.4: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Cantera:** Pintag

Cantera		Pintag	
%Emulsión	%Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada
12%	7,44%	893,56	n/a
14%	8,68%	542,85	n/a
17%	10,54%	288,53	n/a

Tabla 6.4: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109



Cuadro 6.6: Contenido Mínimo de Asfalto ISSA TB – 111.

$$\% \text{ mínimo de asfalto} = 8,68\%$$

$$\% \text{ mínimo de emulsión} = \frac{8,68}{0,62} = 14\%$$

Asumimos 14%

%Asfalto Mínimo	% Mínimo de Emulsión	% Mínimo de Emulsión
8,68%	14%	14%

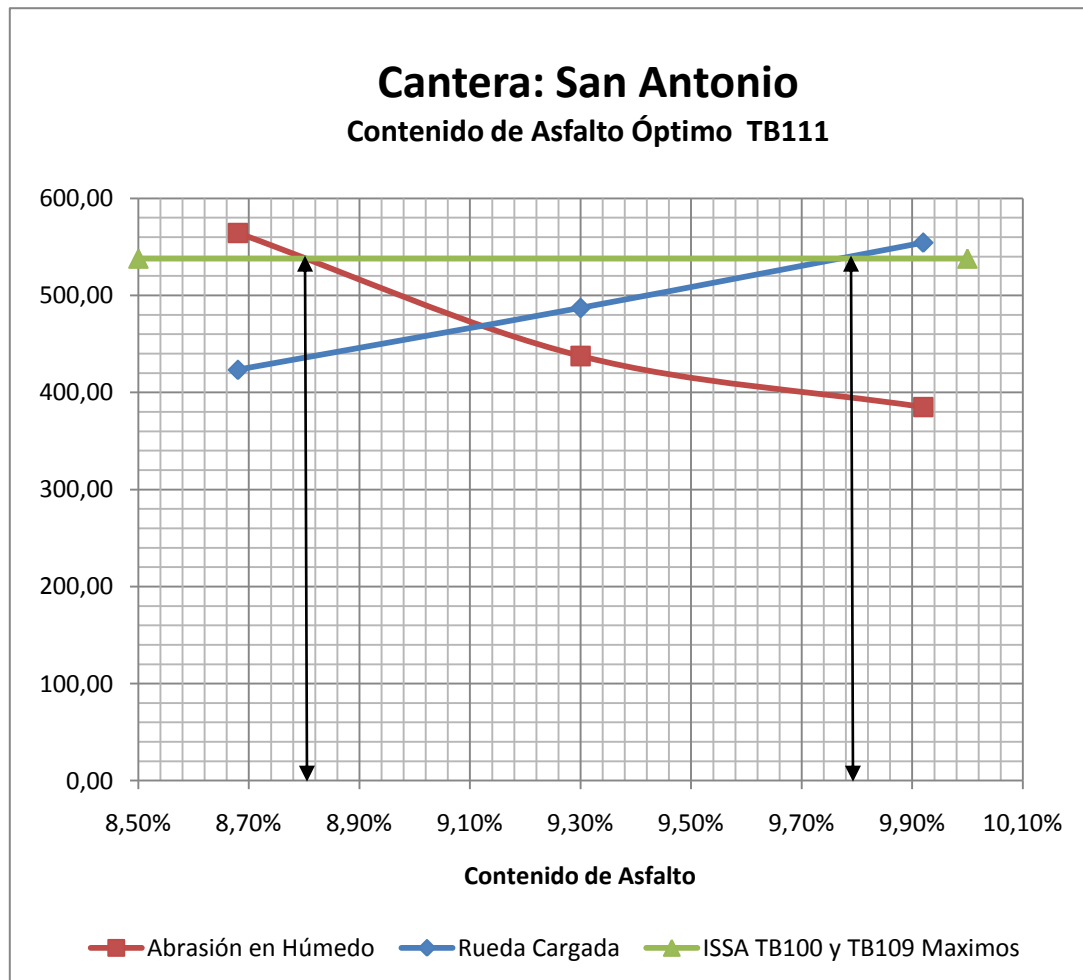
Tabla 6.5: Contenido mínimo de asfalto y emulsión

En este caso particular, solo se pudo determinar el contenido de asfalto mínimo debido a que no se pudo determinar valores con el “ensayo de rueda cargada” ya que se evidenció la falta de resistencia en las muestras; sin embargo en vista de que los valores de porcentaje optimo de asfalto para las demás canteras fueron resultados muy cercanos a los obtenidos teóricamente, para la cantera de Pintag, se procederá en el diseño definitivo con dicho porcentaje (Teórico).

- **Cantera:** San Antonio

Cantera		San Antonio	
%Emulsión	%Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada
14%	8,68%	564,23	423,37
15%	9,30%	437,57	487,14
16%	9,92%	384,93	554,46

Tabla 6.6: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109



Cuadro 6.7: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,8 - 8,8}{2} + 7,8 = 9,3\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{9,3}{0,62} = 15,00\%$$

Asumimos **15%**

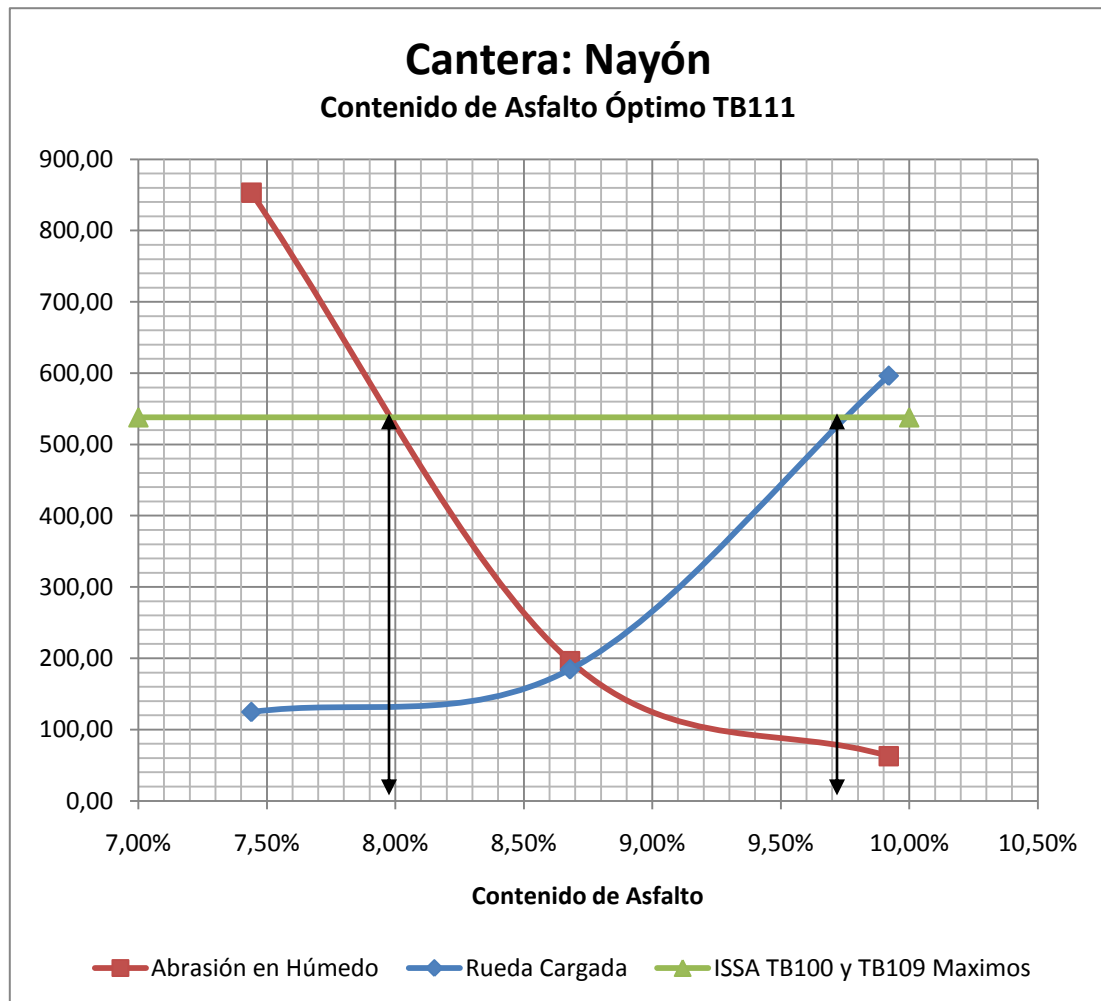
%Asfalto Óptimo	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
9,300%	15,00%	15%

Tabla 6.7: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

- **Cantera: Nayón**

Cantera		Nayón	
%Emulsión	%Asfalto	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada
12%	7,44%	853,10	124,55
14%	8,68%	196,08	184,34
16%	9,92%	62,51	596,20

Tabla 6.8: Resultados de los ensayos ISSA TB-100 e ISSA TB-109



Cuadro 6.8: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111.

$$\% \text{ óptimo de asfalto} = \frac{9,55 - 8,0}{2} + 8,0 = 8,775\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{8,775}{0,62} = 14,15\%$$

Asumimos **14%**

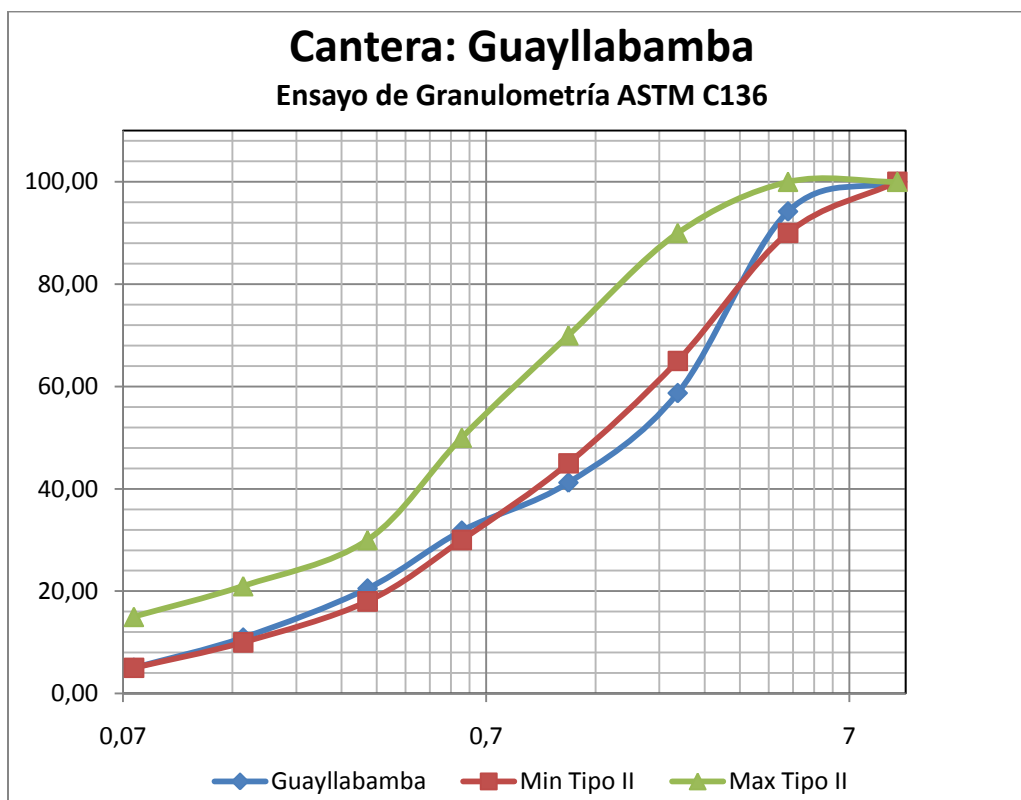
%Asfalto Óptimo	% Óptimo de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
8,775%	14,15%	14%

Tabla 6.9: Contenido óptimo de asfalto y emulsión

6.2 Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Guayllabamba del Distrito Metropolitano de Quito.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultados
Gravedad Especifica (ASTM C - 128)	2,35 g/cm ³
Absorción de Agregado Fino (ASTM C - 128)	2,33%
Abrasión (AASHTO T 96 – 77)	30,52%
Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	83%
Absorción de Azul de Metileno (ASTM D 75 -03)	1 mg/g, N° 200
Granulometría (ASTM C - 117)	12,50%

Tabla 6.10: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.9: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.

Caracterización de la Emulsión (CQS-P)		
Componentes	Resultados	
Asfalto AC - 20	62%	
Emulsificante 1	1,70%	
Acido	1,00%	
Polímero	En emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto residual	3%
Agua	33,44%	

Tabla 6.11: Resultados de la caracterización de la emulsión.

Formulación de trabajo para el Micropavimento	
Componente	%
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	14,00%
Emulsión CQS - P (62% asfalto residual + 3% polímero)	14,00%

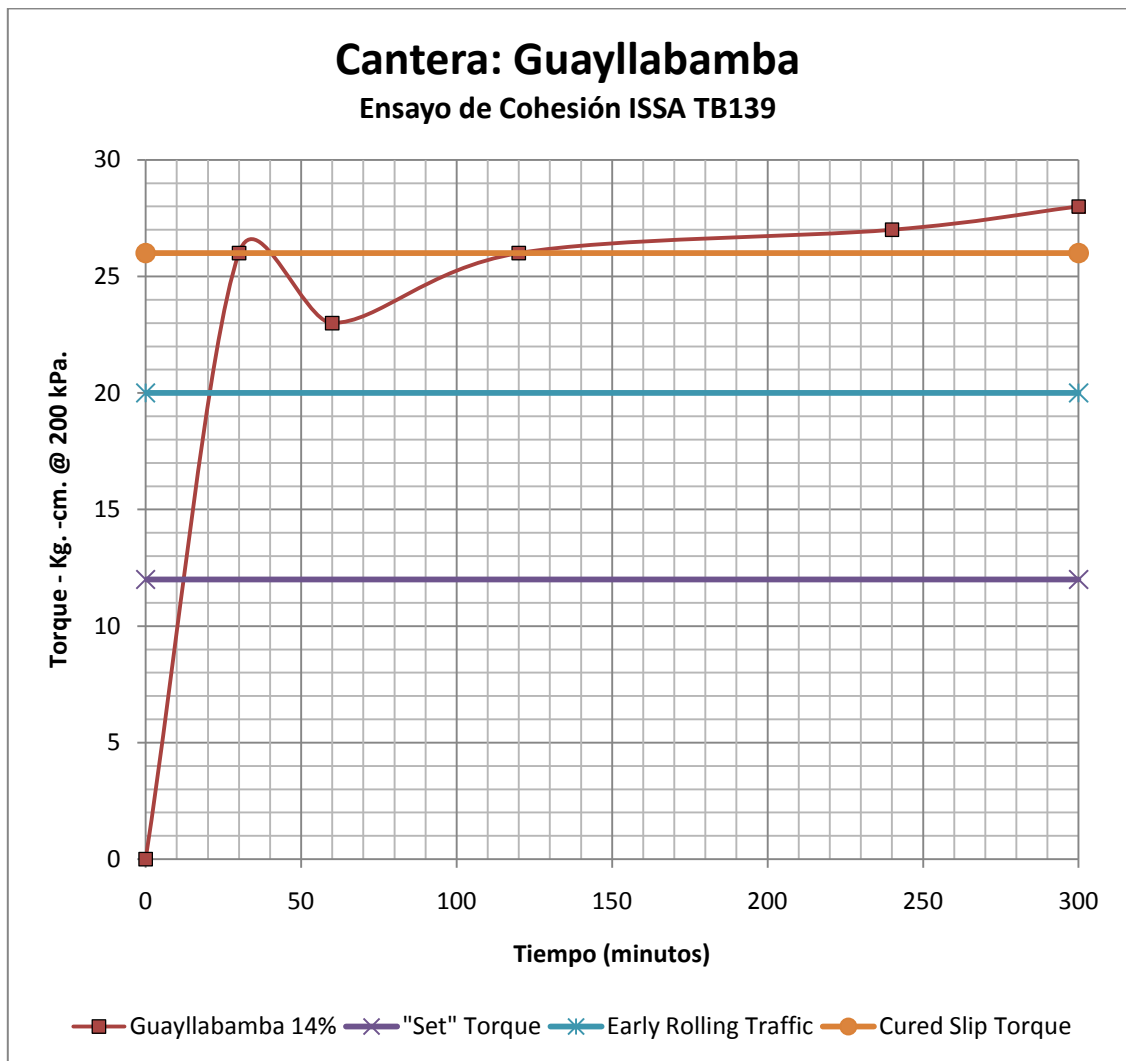
Tabla 6.12: Formulación de trabajo para el Micropavimento.

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	%
Tiempo de Mezcla @ T = 18°C (ISSA TB - 102)	975 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	538 g/m ²
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	385 g/m ²
Cohesión (ISSA TB - 139)	Tabla N°6.14

Tabla 6.13: Resultado de las pruebas de Desempeño.

Guayllabamba 14%	
Tiempos	Carga kg-cm
30'	26
60'	23
120'	26
240'	27
300'	28

Tabla 6.10: ISSA TB – 139 a las 5 horas.

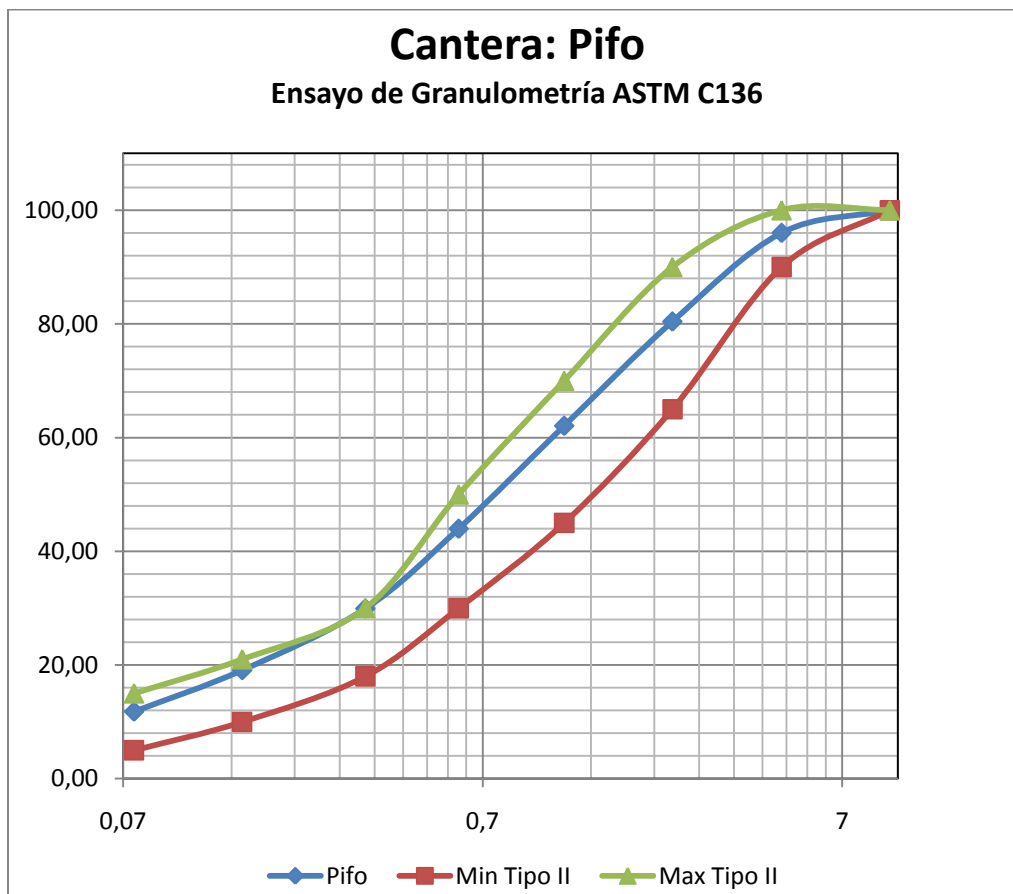


Cuadro 6.10: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.

6.3 Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Pifo del Distrito Metropolitano de Quito.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultados
Gravedad Especifica (ASTM C - 128)	2,40 g/cm ³
Absorción de Agregado Fino (ASTM C - 128)	3,98%
Abrasión (AASHTO T 96 – 77)	21,99%
Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	67%
Absorción de Azul de Metileno (ASTM D 75 -03)	3,75 mg/g, N° 200
Granulometría (ASTM C - 117)	18,30%

Tabla 6.15: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.11: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Guayllabamba.

Caracterización de la Emulsión (CQS-P)		
Componentes		Resultados
Asfalto AC - 20		62%
Emulsificante 1		1,70%
Acido		1,00%
Polímero	En emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto residual	3%
Agua		33,44%

Tabla 6.16: Resultados de la caracterización de la emulsión.

Formulación de trabajo para el Micropavimento	
Componente	%
Agregado	100,00%
Cemento Portland	2,00%
Agua	12,00%
Emulsión CQS - P (62% asfalto residual + 3% polímero)	14,00%

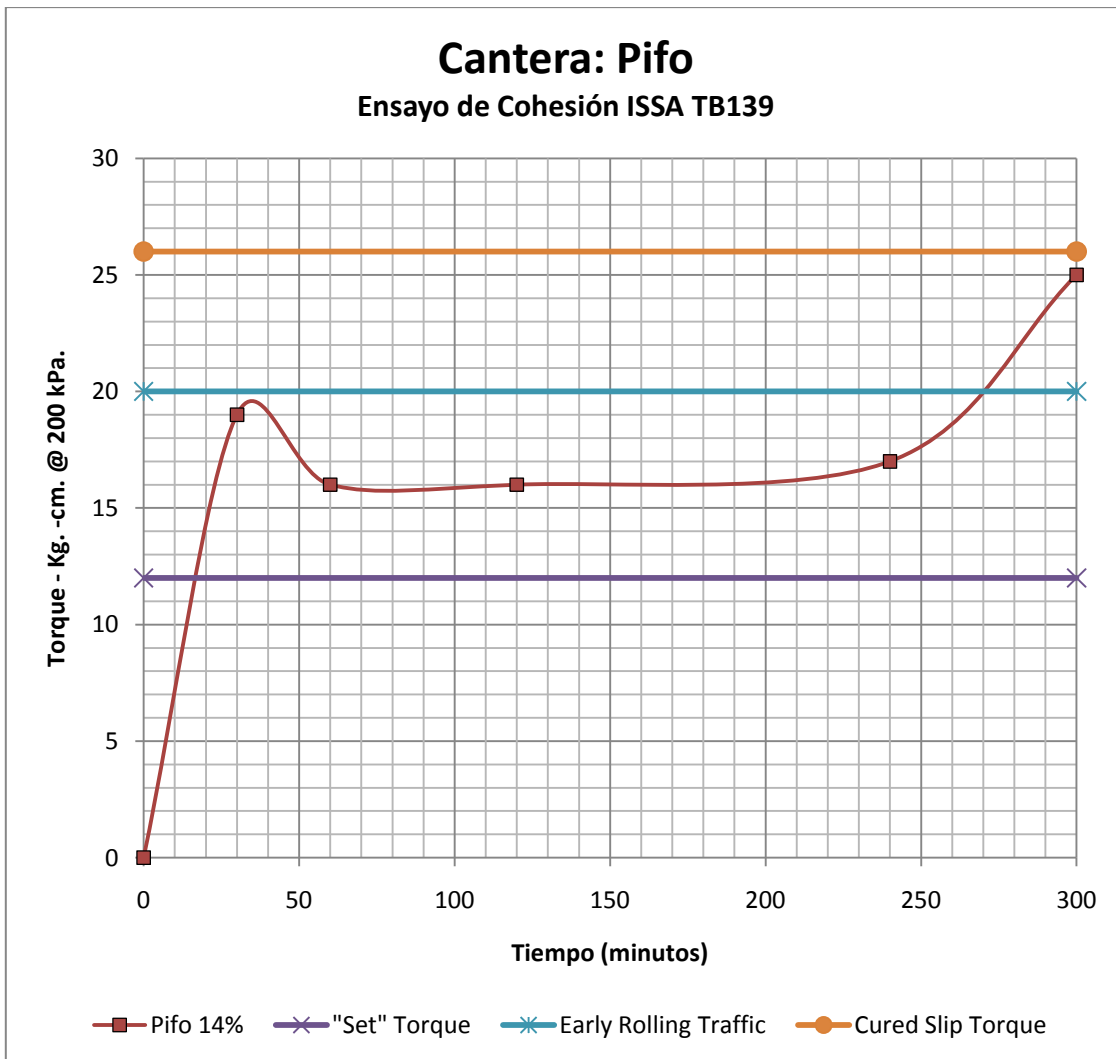
Tabla 6.17: Formulación de trabajo para el Micropavimento.

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	%
Tiempo de Mezcla @ T = 18°C (ISSA TB - 102)	975 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	538 g/m ²
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	270 g/m ²
Cohesión (ISSA TB - 139)	Tabla N°6.19

Tabla 6.18: Resultado de las pruebas de Desempeño.

	Pifo 14%
Tiempos	Carga kg-cm
30'	19
60'	16
120'	16
240'	17
300'	25

Tabla 6.19: ISSA TB – 139 a las 5 horas.

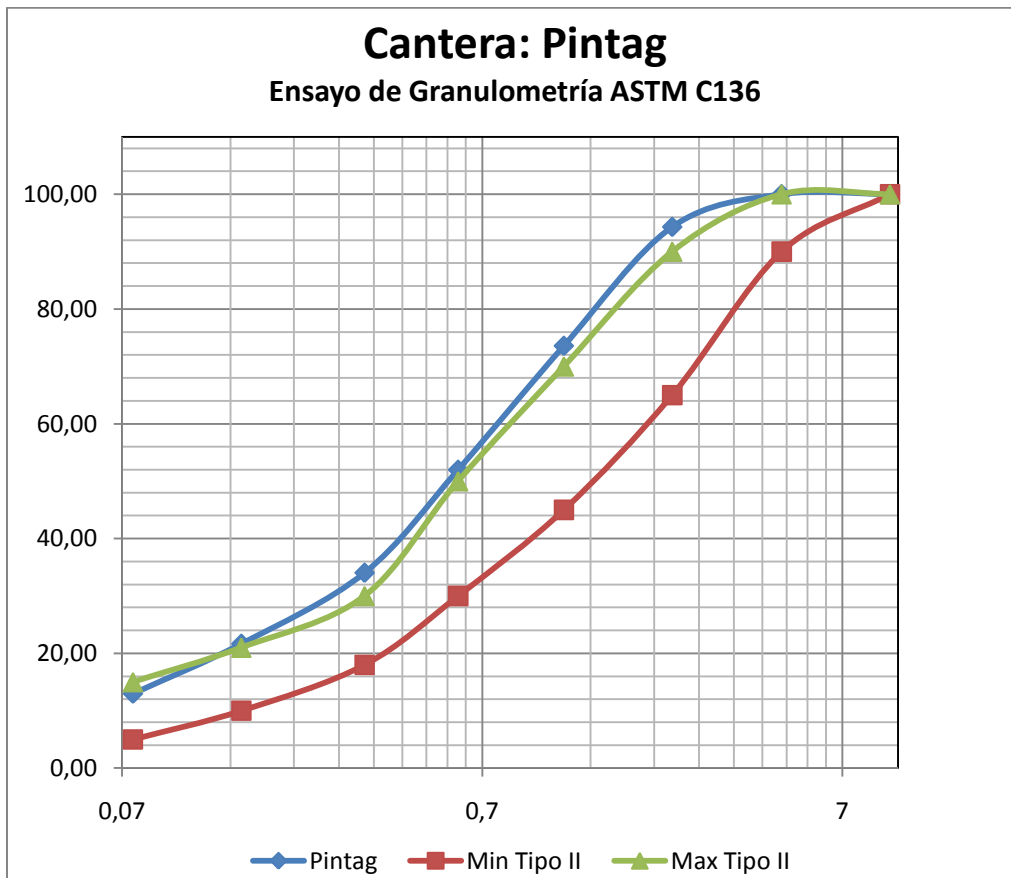


Cuadro 6.12: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.

6.4 Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Pintag del Distrito Metropolitano de Quito.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultados
Gravedad Especifica (ASTM C - 128)	2,47 g/cm ³
Absorción de Agregado Fino (ASTM C - 128)	2,36%
Abrasión (AASHTO T 96 – 77)	30,75%
Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	77%
Absorción de Azul de Metileno (ASTM D 75 -03)	1,5 mg/g, N° 200
Granulometría (ASTM C - 117)	16,70%

Tabla 6.20: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.13: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Pintag.

Caracterización de la Emulsión (CQS-P)		
Componentes		Resultados
Asfalto AC - 20		62%
Emulsificante 1		1,70%
Acido		1,00%
Polímero	En emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto residual	3%
Agua		33,44%

Tabla 6.21: Resultados de la caracterización de la emulsión.

Formulación de trabajo para el Micropavimento	
Componente	%
Agregado	100,00%
Cemento Portland	3,00%
Agua	12,00%
Emulsión CQS - P (62% asfalto residual + 3% polímero)	16,50%

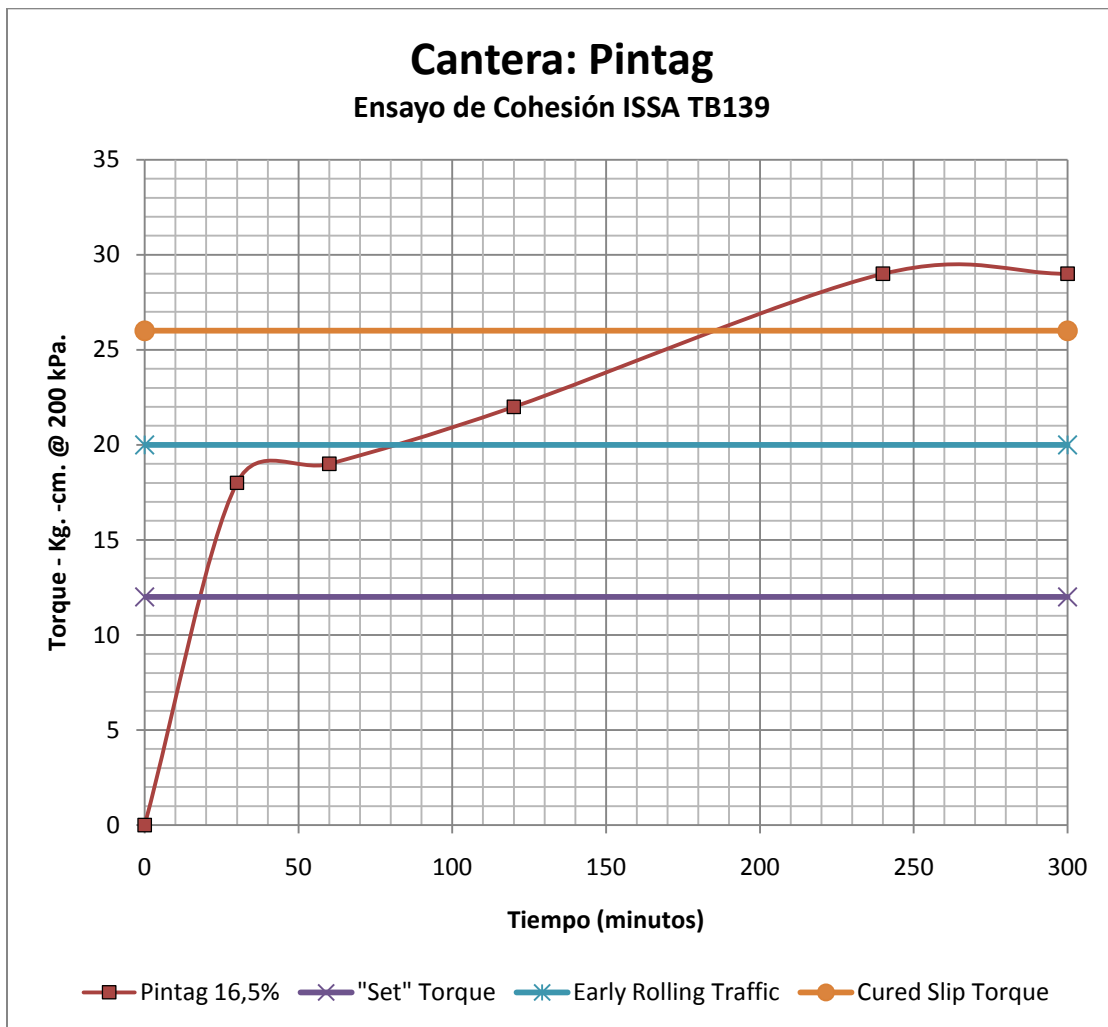
Tabla 6.22: Formulación de trabajo para el Micropavimento.

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	%
Tiempo de Mezcla @ T = 18°C (ISSA TB - 102)	740 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	538 g/m ²
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	g/m ²
Cohesión (ISSA TB - 139)	Tabla N°6.24

Tabla 6.23: Resultado de las pruebas de Desempeño.

	Pintag 16,5%
Tiempos	Carga kg-cm
30'	18
60'	19
120'	22
240'	29
300'	29

Tabla 6.24: ISSA TB – 139 a las 5 horas.

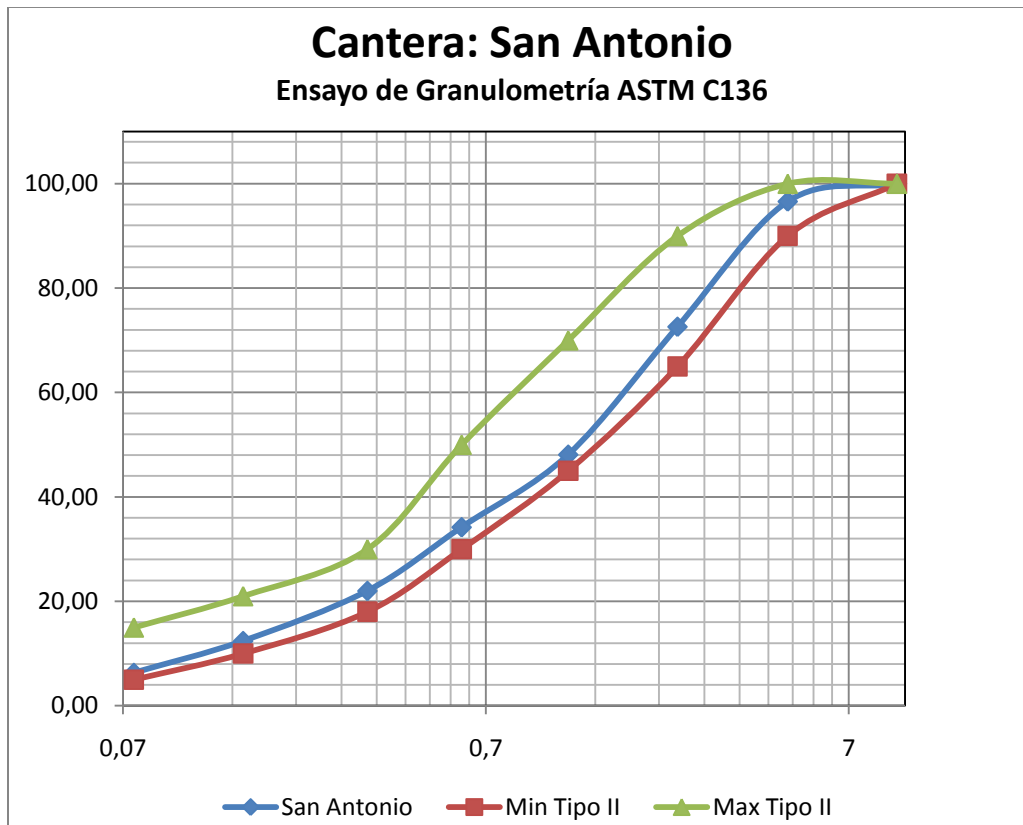


Cuadro 6.14: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.

6.5 Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de San Antonio del Distrito Metropolitano de Quito.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultados
Gravedad Especifica (ASTM C - 128)	2,37 g/cm ³
Absorción de Agregado Fino (ASTM C - 128)	5,46%
Abrasión (AASHTO T 96 – 77)	33,91%
Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	90%
Absorción de Azul de Metileno (ASTM D 75 -03)	13,5 mg/g, N° 200
Granulometría (ASTM C - 117)	11,90%

Tabla 6.25: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.15: Curva Granulométrica, ASTM C 136, San Antonio.

Caracterización de la Emulsión (CQS-P)		
Componentes		Resultados
Asfalto AC - 20		62%
Emulsificante 1		1,70%
Acido		1,00%
Polímero	En emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto residual	3%
Agua		33,44%

Tabla 6.26: Resultados de la caracterización de la emulsión.

Formulación de trabajo para el Micropavimento	
Componente	%
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	8,00%
Emulsión CQS - P (62% asfalto residual + 3% polímero)	15,00%

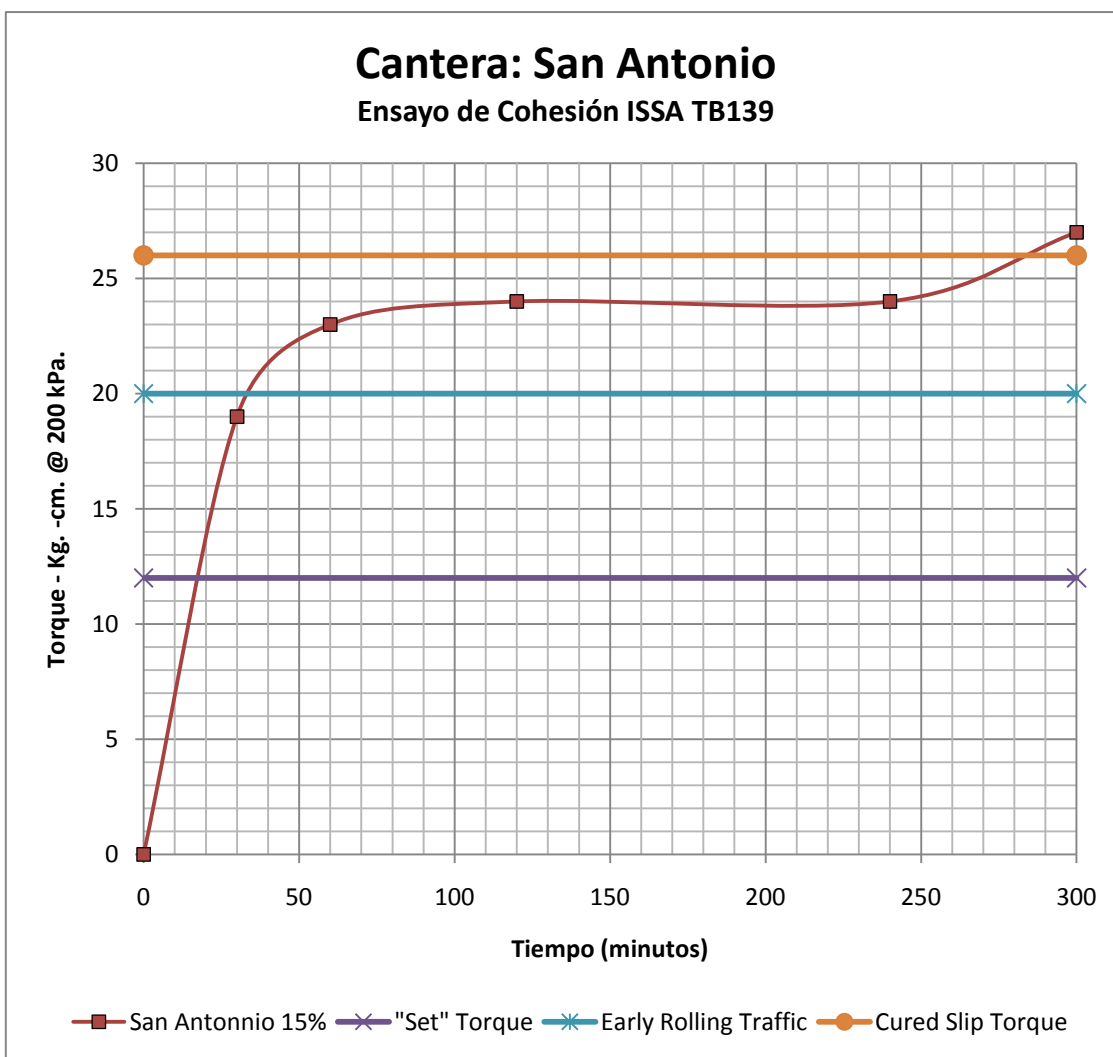
Tabla 6.27: Formulación de trabajo para el Micropavimento.

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	%
Tiempo de Mezcla @ T = 18°C (ISSA TB - 102)	975 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	538 g/m ²
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	440 g/m ²
Cohesión (ISSA TB - 139)	Tabla N°6.29

Tabla 6.28: Resultado de las pruebas de Desempeño.

San Antonio 15%	
Tiempos	Carga kg-cm
30'	19
60'	23
120'	24
240'	24
300'	27

Tabla 6.29: ISSA TB – 139 a las 5 horas.

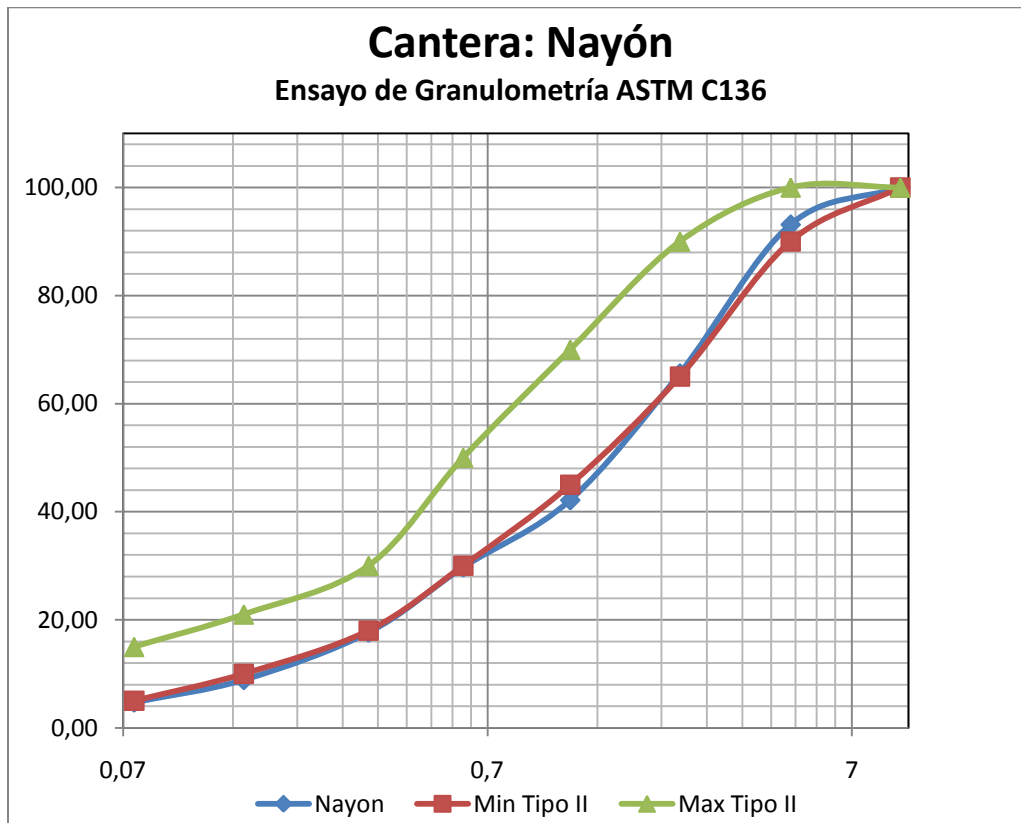


Cuadro 6.16: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.

6.6 Diseño definitivo con emulsión asfáltica modificada con polímeros para el agregado de la cantera de Nayón del Distrito Metropolitano de Quito.

Caracterización del Agregado	
Ensayo	Resultados
Gravedad Especifica (ASTM C - 128)	2,49 g/cm ³
Absorción de Agregado Fino (ASTM C - 128)	3,35%
Abrasión (AASHTO T 96 – 77)	37,74%
Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	83%
Absorción de Azul de Metileno (ASTM D 75 -03)	3 mg/g, N° 200
Granulometría (ASTM C - 117)	12,20%

Tabla 6.30: Resultados de la caracterización del agregado.



Cuadro 6.17: Curva Granulométrica, ASTM C 136, Nayón.

Caracterización de la Emulsión (CQS-P)		
Componentes		Resultados
Asfalto AC - 20		62%
Emulsificante 1		1,70%
Acido		1,00%
Polímero	En emulsión	1,86%
	Sobre Asfalto residual	3%
Agua		33,44%

Tabla 6.31: Resultados de la caracterización de la emulsión.

Formulación de trabajo para el Micropavimento	
Componente	%
Agregado	100,00%
Cemento Portland	1,00%
Agua	20,00%
Emulsión CQS - P (62% asfalto residual + 3% polímero)	14,00%

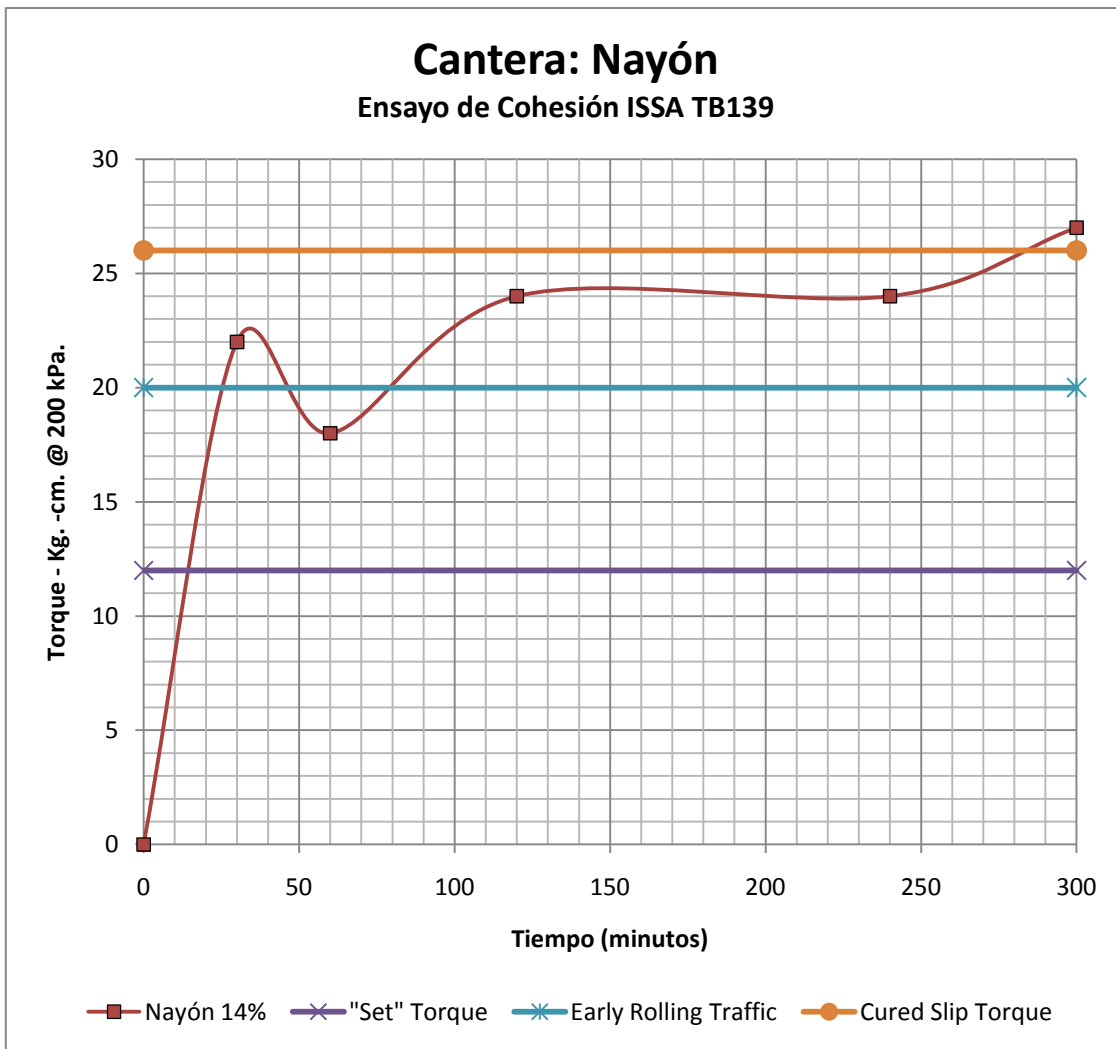
Tabla 6.32: Formulación de trabajo para el Micropavimento.

Pruebas de Desempeño	
Ensayo	%
Tiempo de Mezcla @ T = 17,7°C (ISSA TB - 102)	157 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	538 g/m ²
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	130 g/m ²
Cohesión (ISSA TB - 139)	Tabla N°6.34

Tabla 6.33: Resultado de las pruebas de Desempeño.

Nayón 14%	
Tiempos	Carga kg-cm
30'	22
60'	18
120'	24
240'	24
300'	27

Tabla 6.34: ISSA TB – 139 a las 5 horas.



Cuadro 6.18: Diseño Definitivo, Cohesión ISSA TB – 139.

CAPITULO VII

PROCESO CONSTRUCTIVO, COSTOS E IMPACTO AMBIENTAL

CAPITULO VII: PROCESO CONSTRUCTIVO, COSTOS E IMPACTO

AMBIENTAL

Los siguientes puntos a tratar se han tomado con referencia a la publicación realizada por la Federal Highway Administration N^o FWHA-SA-94-051 Junio 1994, traducida por Ray Saucedo (2004) y en base a la ISSA A143

7.1 Proceso constructivo del Micropavimento

7.1.1 Condiciones atmosféricas

El micro-pavimento no deberá ser colocado si la temperatura del pavimento o la temperatura ambiente son menores de 10° C, si llueve o si hay un pronóstico de temperaturas por debajo de 0°C durante las 24 horas siguientes a su colocación. Pero se podrá colocar si la temperatura del pavimento y la del aire es de 7°C y en aumento, Muchos proyectos han fracasado debido a que han sido aplicados en condiciones de frío y/o lluvia. En clima frío el micro-pavimento puede grietarse o desintegrarse o si se coloca en un día muy caliente y seco, el tiempo de rotura es demasiado rápido, causando retención de agua retardando el curado interior. El clima caliente requiere un cambio de formulación (porcentaje de agua) para tiempos de mezclado más largos y permitir al micro-pavimento ser aplicado apropiadamente.

7.1.2 Equipo.

Todo el equipo, herramientas y maquinaria usada en la realización de este trabajo se mantendrá en condiciones satisfactorias de trabajo todo el tiempo para garantizar un producto de alta calidad.

Máquina Mezcladora/Aplicadora:

Para aplicar micro-pavimentos en carreteras de alto volumen de tráfico, se usa una máquina de mezclado, carga y aplicación continua (ver Figura 7.1). Estas máquinas son capaces de recibir materiales de camiones alimentadores, mientras ellas continúan mezclando y aplicando la mezcla. Este tipo de máquinas tienen estaciones de manejo en el lado opuesto, para optimizar la alineación longitudinal durante la aplicación. Las máquinas permiten al operador (en la parte trasera de la maquina) un total control de la velocidad durante la colocación. El control de velocidad es importante cuando se recuperan ahuellamientos en carriles de circulación con variaciones en su profundidad, ya que permite al operador ajustar el suministro de material simplemente ajustando la velocidad. El conductor al frente de la máquina, es responsable solo de la alineación de la máquina durante la aplicación.

Las maquinas autopropulsadas de aplicación continua, tienen una tolva para la transferencia del agregado, contenedores para finos minerales y tanque separados para agua, emulsión y aditivos. El agregado es recibido

en una tolva frontal, enviado a la tolva de agregados y posteriormente alimentado por una banda transportadora impulsada por un rodillo de mando antideslizante hacia el mezclador. A cualquier velocidad de la banda transportadora, la cantidad de agregado que es enviado al mezclador puede ser controlada, variando la apertura de una compuerta situada directamente sobre el rodillo de mando. En muchas maquinas, la emulsión es suministrada a presión al mezclador por una bomba de desplazamiento positivo que incluye un dispositivo contador. El agua es suministrada a presión mediante una bomba centrífuga tanto al mezclador como a una barra irrigadora inferior antes de la aplicación, para humedecer la superficie de la vía y las mangueras que son usadas para limpieza del mezclador y caja esparcidora una vez terminada la aplicación. Los aditivos líquidos son almacenados en tanques que varían de 95 a 950 lt. (Dependiendo de la concentración) y son adicionados, ya sea por bombas centrífugas o de desplazamiento positivo.

Las máquinas autopropulsadas están diseñadas para trabajar a velocidades de 1 a 4 km/h y son capaces de aplicar hasta 450 TM de micro-pavimentos por día. Además de las máquinas de aplicación continuas autopropulsadas, muchas Agencias de Carreteras permiten unidades montadas sobre camiones, para proyectos de micro-pavimentos de menor magnitud. Una unidad montada sobre camión totalmente cargada, puede aplicar por lo general de 0.4 - 0.5 km lineales de producto terminado, por carga.



Figura 7.1: Máquina típica de aplicación continua de micro-pavimentos

(Fuente: Federal Highway Administration N0 FWHA-SA-94-051)

Dispositivos de dosificación:

Las máquinas están equipadas con controles individuales de volumen y peso para dosificar el material que se suministre al mezclador. Las cantidades de emulsión, agregados y finos minerales, son generalmente fijadas antes de la aplicación y solo las cantidades de agua y aditivo necesitan ser controladas durante la aplicación para obtener la consistencia apropiada, control de la mezcla y tiempo de rompimiento.

Calibración:

La calibración de los diferentes sistemas es esencial, en orden de obtener las proporciones adecuadas de todos los componentes de la mezcla. La práctica común es calibrar la máquina por lo menos una vez al año. Los sistemas de dosificación (con contadores) en la máquina, deben

ser verificados y calibrados cuando se cambia la fuente del (los) materiales en uso. La calibración debe ser verificada antes del inicio de cada proyecto, o al menos una vez por semana durante los contratos usando controles métricos y contadores de revoluciones en la máquina.

Mezclador:

Los mezcladores de las máquinas de micro-pavimentos tienen una longitud entre 1 – 1.3 metros y estar equipados con doble eje de paletas múltiples, para permitir un mezclado homogéneo de los materiales, los cuales son mezclados de 5 – 10 seg @ 3000 RPM. El tiempo de mezclado depende de las características del sistema emulsión-agua-agregados, por lo que un tiempo excesivo de mezclado puede conducir a la separación del asfalto del agregado. Los mezcladores de micro-pavimentos son impulsados motores de 90 HP, en comparación con las máquinas convencionales de mortero asfáltico, que requieren mezcladores con motores de solo 30 HP.

Los finos minerales son adicionados al agregado justo antes de entrar al mezclador. El agua y los aditivos son combinados y adicionados al agregado, conforme éste cae dentro del mezclador. Estos materiales son mezclados antes de inyectar la emulsión asfáltica en él, usualmente en la tercera parte a lo largo del mezclador. La descarga de la mezcla dentro de la caja esparcidora, es controlada por la cantidad de agregados fluyendo dentro del mezclador. La mezcla debe ser descargada dentro de la caja

esparcidora en movimiento, y con una cantidad suficiente que permita siempre mantener un amplio suministro a todo lo ancho de la banda de enrasado. El mezclador deberá limpiarse cada vez que la operación de pavimentado se detiene, por acumulación de material.

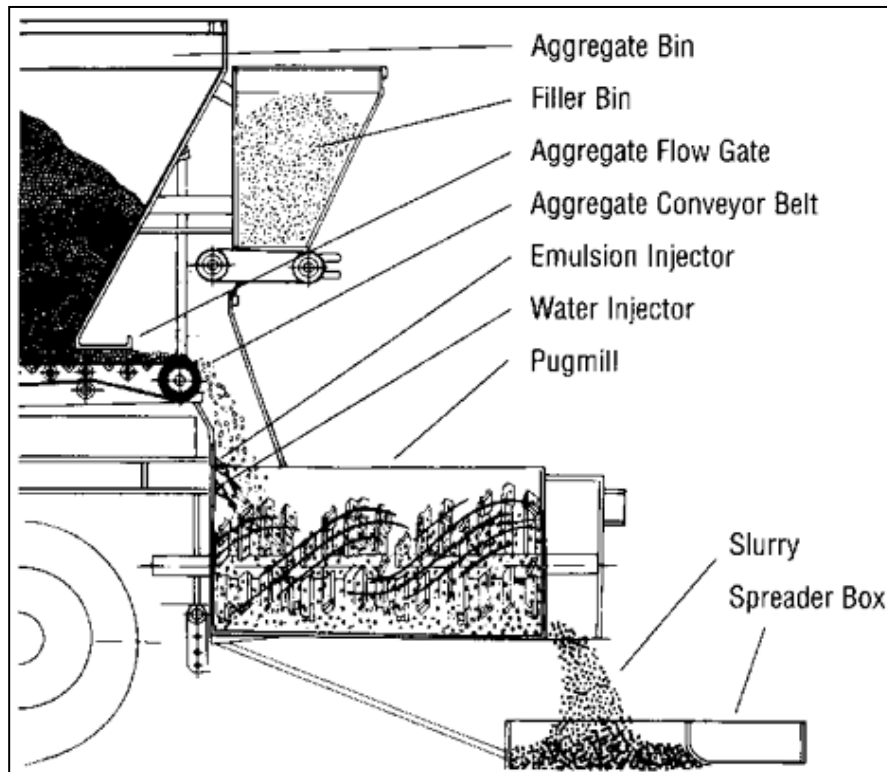


Figura 7.2: Esquema del proceso de producción de micro-pavimento. (Fuente; MS19.)

Equipos terminadores/esparcidores:

a. Caja esparcidora

Para aplicaciones de sellado/texturizado y pre-nivelado, el micro-pavimento es aplicado por una caja a su máxima extensión, equipada con gusanos hidráulicos sinfín para manejar (durante 10-15 seg) y extender la mezcla a través de toda la caja permitiendo con esto, una

aplicación uniforme. El ancho de la caja terminadora/esparcidora se puede ajustar de 2.4 – 4.2 metros, la cual es posicionada y acoplada en la parte trasera de la máquina de micro-pavimento.

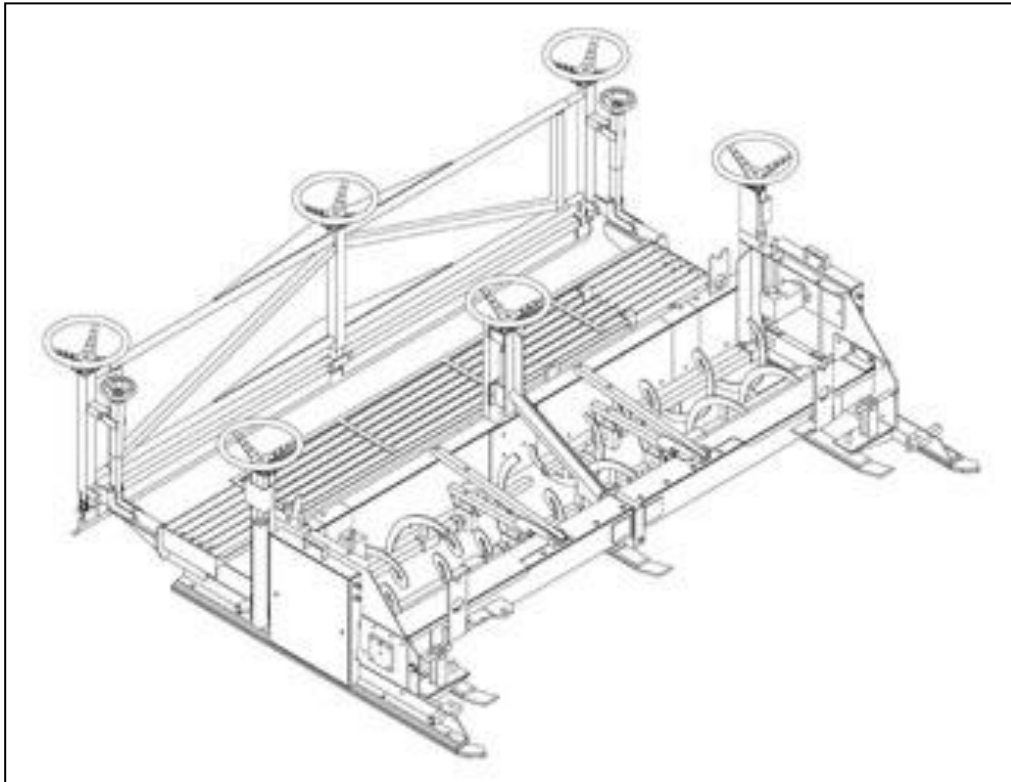


Figura 7.3: Caja esparcidora

(Fuente: http://www.bergkampinc.com/espanol/spreader_boxes.html)

Está equipada con bandas de caucho o neopreno como elemento de sellos laterales, frontales y traseros de la caja. El propósito de las bandas laterales y frontales es mantener la mezcla dentro de la caja y la banda trasera actúa como enrasadora (terminadora estructural) usualmente de caucho, neopreno o uretano. Placas de acero son usadas como enrasadoras en pases de pre-nivelación y algunas

agencias las utilizan para el texturizado (aplicación intermedia) en superficies irregulares. La Figura 7.4 muestra un esquema de producción y aplicación de mezcla de micro-pavimentos.

Para mejorar la textura de la superficie, muchos contratistas utilizan una barra secundaria de acabados que es acoplada a la parte trasera de la caja esparcidora.

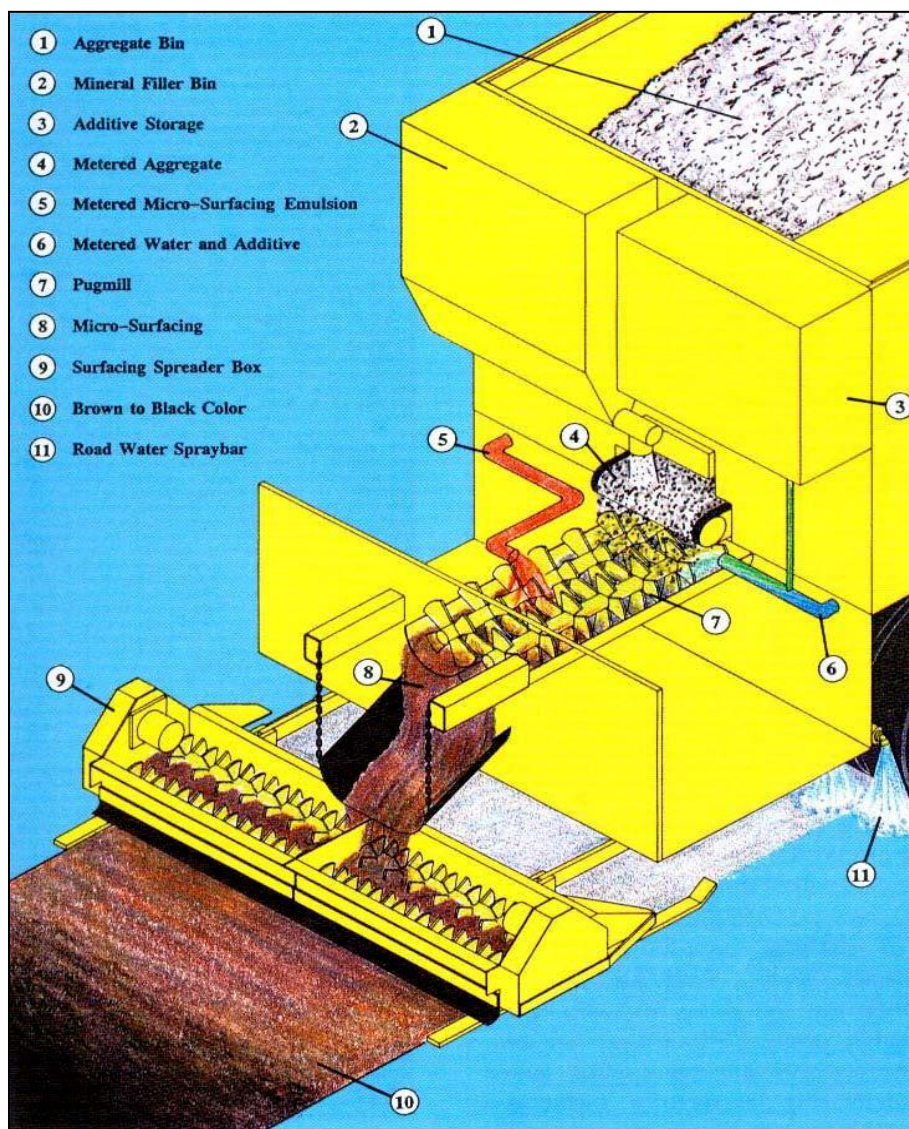


Figura 7.4: Esquema del proceso de producción de micro-pavimento. (Fuente; ISSA.)

b. Caja recuperadora de ahuellamientos

Para recuperar los ahuellamientos en carriles, se utiliza una caja especialmente diseñada. Usualmente se suministran en dos tamaños: 1.5 y 1.8 metros, cuya estructura tienen dos cámaras perfiladas horizontalmente en “V”, con la punta de la “V” hacia la parte trasera de la caja. La caja está provista de dos ejes con gusanos sinfín para agitar continuamente el material, está diseñada para impulsar los agregados de mayor tamaño, hacia la parte más profunda y central del ahuellamiento o canal. Estas cajas tienen una o dos placas metálicas de nivelación y una banda de caucho para el enrasado final. Los ahuellamientos hasta de 38 mm pueden ser llenados con un solo pase (aunque no es recomendable). Las cajas son ajustadas para dejar una ligera corona en la superficie, para que pueda ser compensada con la compactación inicial del tráfico.

Cada ahuellamiento es recuperado individualmente (ejemplo: cada carril de tráfico, requerirá dos pases de la caja recuperadora) para restaurar el perfil de la carretera.

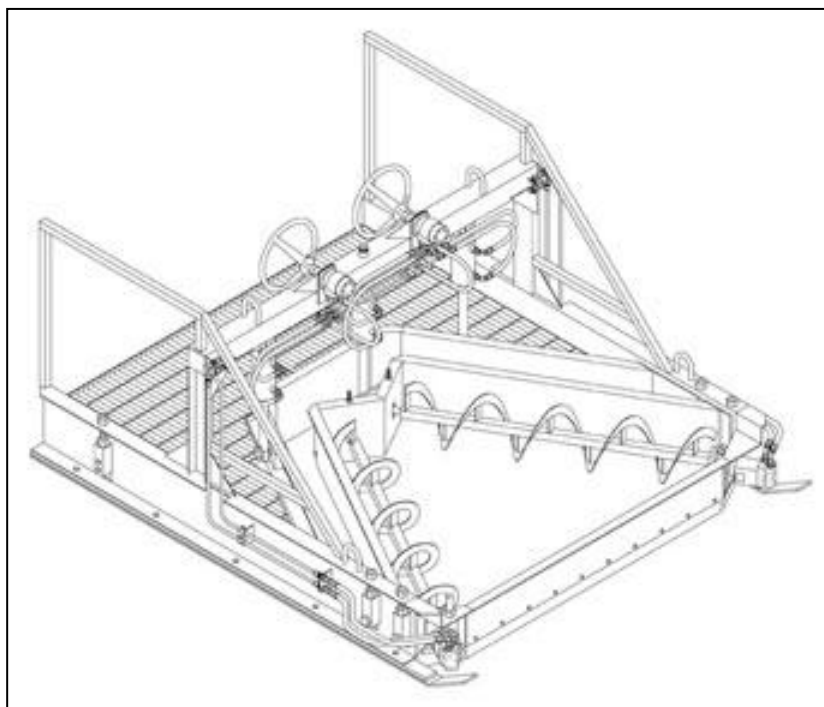


Figura 7.5: Caja recuperadora de ahuellamientos

(Fuente: http://www.bergkampinc.com/espanol/spreader_boxes.html)

Fabricantes de equipos y costos (valores referenciales)

En los Estados Unidos, las máquinas aplicadoras continuas y montadas sobre camiones son producidas por varias empresas fabricantes. Las máquinas montadas sobre camión tienen precios en fábrica entre US\$ 120,000.00 – US\$ 180,000.00 (excluyendo el costo del camión) y las máquinas continuas su costo es US\$ 350,000 – US\$ 450,000.00. Las cajas esparcidoras tienen costos de \$ 15,000 – US\$ 35,000.00 y las cajas recuperadoras de ahuellamientos su costo es de US\$ 10,000.00 – US\$ 15,000.00. Cualquier información sobre fabricantes de equipos, puede ser obtenida a través de la ISSA.

7.1.3 Preparación de la superficie.

Inmediatamente antes de aplicar el Micropavimento, la superficie se limpia de todo el material suelto, manchas de lodo, vegetación y otras materias objetables.

Cualquier método de limpieza estándar será aceptable. Si se utiliza agua, las grietas se dejarán secar completamente antes de aplicar el Micropavimento. Alcantarillas, cajas de válvulas, tomas de gota y otras entradas de servicio deben estar protegidas de los Micropavimento por el método adecuado. Ningún agregado seco ya sea derramado debajo de la maquinaria de trabajo o ya existente en la carretera, se permitirá.



Figura 7.6: Protección de alcantarillas.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)



Figura 7.7: Colocación del micropavimento

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)



Figura 7.8: Retiró de la protección sobre la alcantarilla.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

Tratamiento de Grietas/Juntas de Pavimento

Las juntas y grietas en pavimentos mayores de 6 mm, deberán ser preparadas y selladas antes de la aplicación del micro-pavimento. Todas las

grietas superficiales, juntas y baches, deben ser reparados de 1 a 6 meses antes de la aplicación del micro-pavimento, para asegurar un curado apropiado del trabajo de reparación.



Figura 7.9: Fisura transversal (Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica Lic. Patricia Irrgang)

El material de sellado de grietas/juntas no deberá salir sobre el perfil superficial, ya que puede ser dañado por los deslizadores y estructura de las cajas esparcidoras/terminadoras durante la aplicación del micro-pavimento, dejando rasgos y marcas de arrastre. La acumulación de material de sellado en la superficie del pavimento, es particularmente problemático durante climas cálidos y cuando se usan placas metálicas para enrasado en cajas esparcidoras. Es mejor mantener el material de sellado de grietas debajo o al ras de la superficie, asimismo cualquier sellado en mal estado deberá ser raspado y retirado de la superficie antes de la aplicación del micro-pavimento.

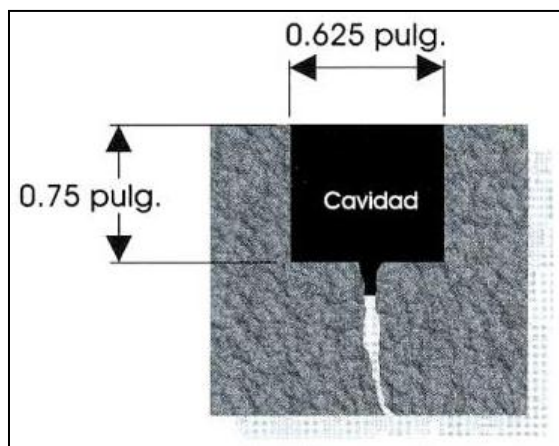


Figura 7.10: Sello de junta al ras de la superficie (Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica Lic. Patricia Irrgang)

Riego de Liga

No se requiere riego de liga al menos que la superficie se encuentre extremadamente seca, desintegrada o sea de concreto hidráulico, de ser necesario una emulsión diluida como riego de liga deberá preceder a la aplicación del micro-pavimento. La ISSA recomienda que el riego de liga deberá de consistir en la dilución de 1 parte de emulsión asfáltica en 3 partes de agua y ser aplicada en cantidades de 0.16 – 0.32 lt/m², la cual deberá permitírsele curar antes de aplicar el micro-pavimento, de otro modo el residuo puede acumularse produciendo grumos subsecuentes en la caja esparcidora. Se requiere normalmente un periodo de curado mínimo de 1 ½ - 2 horas, en condiciones favorables.

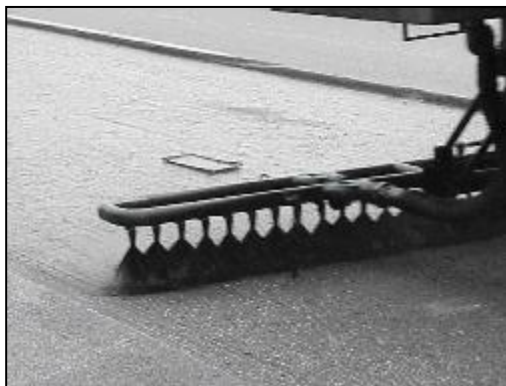


Figura 7.11: Riego de liga.

(Fuente: https://imagenes.repsol.com/pe_es/ejecucion%20del%20riego252x189_tcm18-535278.JPG)

Nebulización con Agua

Durante climas cálidos, el pavimento es usualmente pre-humedecido para controlar la ruptura prematura de la emulsión y mejorar la adherencia con la superficie existente. Este pre-humedecimiento debe dejar la superficie saturada, pero sin agua remanente al frente de la caja esparcidora.

7.1.4 Aplicación.

Cuadrilla de Construcción

La mayor parte del éxito en la construcción de micro-pavimentos, depende del conocimiento y habilidad de la cuadrilla que opera la máquina como una planta móvil de mezcla en frío. Las agencias usuarias han indicado que la calidad del trabajo mejora, a medida que aumenta la experiencia adquirida por los trabajadores de las empresas contratistas.

Una cuadrilla básica de aplicación, consiste en un operador/supervisor, un chofer y de 3 – 5 obreros. Durante la aplicación, el chofer es principalmente responsable de guiar la máquina y asegurar que esta permanezca en la ruta trazada. El operador en la parte trasera controla la velocidad y la operación de aplicación, así como también es el responsable de ajustar las cantidades de agua y aditivos. Los obreros son necesarios para realizar trabajos manuales requeridos, colocar y mover la señalización de control de tránsito, ayudar en labores del cargado de materiales y la limpieza del equipo.

Consistencia de la Mezcla y Cantidades de Aplicación

Cuando la mezcla del micro-pavimento se deposita en la caja esparcidora, deberá de tener la consistencia y estabilidad deseadas. Si la mezcla es muy rígida, puede fraguar prematuramente en la caja esparcidora o arrastrarse bajo la barra niveladora de acabado, por el contrario si es demasiado fluida, la mezcla puede segregarse o correr en canales y los finos enriquecidos con ligante, pueden migrar hacia la superficie produciendo una superficie de fricción irregular

Durante el diseño de la mezcla, se determina un contenido óptimo de agua para aplicación en el campo, una vez ahí la cantidad de agua necesaria en la mezcla es afectada por la cantidad de humedad en el agregado, la humedad ambiental, el viento, la temperatura y la cantidad de humedad que la superficie del pavimento absorbe. A medida que las

condiciones cambian el operador debe cambiar las cantidades de agua para mantener una consistencia uniforme. Los ajustes en el campo deben permanecer dentro del rango de diseño. Durante la operación de extendido, la caja esparcidora debe ser ajustada para proveer una cantidad de aplicación que llene completamente los vacíos superficiales y aplique un recubrimiento uniforme.

Las cantidades de aplicación para sellos con textura en carreteras de alto volumen de tráfico, varían de 8 - 20 kg/m², dependiendo del peso por unidad (granulometría) del agregado, las condiciones del pavimento y el espesor promedio de la superficie que se selecciona en base a los volúmenes de tráfico. Generalmente para espesores de 6 – 13 mm en un solo pase, se usan de 8 – 16 kg/m². La cantidad de aplicación para pases de pre-nivelación, varía dependiendo de las irregularidades de la superficie, para recuperación de ahuellamientos la cantidad de aplicación varía de acuerdo a la profundidad del surco.



Figura 7.12: Colocación de micropavimento

(Fuente: <http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm>)

El micro-pavimento como superficie de desgaste, usualmente es aplicado en espesores de 10 - 15 mm. El objetivo básico es aplicar el material con espesores al menos $1 \frac{1}{4}$ veces el tamaño nominal máximo del agregado en la mezcla. Cuando la superficie existente se encuentra desgastada o de alguna forma áspera y abierta, se requiere más material para llenar los vacíos o huecos superficiales. Si se aplica muy poca mezcla de micro-pavimento sobre una superficie abierta, piezas individuales de agregado serán capturadas por la caja esparcidora y arrastradas a lo largo de la superficie, dejando excesivas marcas de arrastre, por el contrario cuando la superficie es lisa o resbalosa, se necesita menos material. Una sola aplicación de micro-pavimento puede ser suficiente para lograr el objetivo deseado, cuando se aplica sobre superficies con un buen perfil, sin embargo si la superficie del pavimento es irregular o las huellas por

neumáticos tienen una profundidad de 6 – 13 mm, se deberán aplicar dos pases de micro-pavimento.

El primer pase deberá ser usado como “pase de pre-nivelación” (scratch course) para mejorar el perfil transversal y el segundo pase deberá de tener la textura de una superficie de rodadura.

Tiempo de Rompimiento y Deposición

Prevenir y controlar el proceso de rompimiento es esencial para aplicaciones apropiadas de micropavimento. La temperatura y la humedad afectan el rompimiento, curado y consistencia del micropavimento. A medida que la temperatura aumenta y la humedad disminuye, el tiempo de ruptura y expulsión de agua de la emulsión, también disminuye. El tipo de agregado, el área superficial y las características químicas y de absorción del agregado, tienen influencia en el tiempo de rompimiento y en la cantidad de asfalto depositado en el agregado

Aditivo

Durante la aplicación, se utiliza un aditivo para controlar el tiempo de rompimiento de la emulsión. El diseño de mezcla incluye un rango recomendado para el tipo y cantidad de aditivo, el operador decide sobre la cantidad y uso del aditivo según las condiciones en campo, ya que la cantidad de aditivo varía y es adicionada según las condiciones ambientales. En tiempos cálidos el aditivo es usado para incrementar el tiempo de rompimiento, pero si el tiempo de rompimiento no puede ser

controlado usando aditivo, puede ser necesario reformular la emulsión. En temporada de frío, el aditivo puede no ser necesario. Por lo general, una baja cantidad de aditivo resultara en un mejor producto.

Finos Minerales

La cantidad de finos minerales es determinada durante el diseño y por lo general, al contratista no se le pide que cambie las cantidades de diseño durante la construcción. Sin embargo en condiciones de frío excesivo, el micro-pavimento puede no romper o curar lo suficientemente rápido para permitir el tráfico en el tiempo estipulado, aun cuando no se le adicione aditivo a la mezcla, bajo estas circunstancias el mejor curso de acción es reformular la emulsión. Si se requiere acción inmediata durante condiciones frías en campo, puede ser necesario incrementar la cantidad de finos minerales para acelerar el tiempo de rompimiento. El operador deberá de tener cuidado al incrementar la cantidad finos minerales, porque una excesiva cantidad puede producir un rompimiento prematuro de la emulsión en la cámara de mezclado o en la caja esparcidora. Un incremento del 0.5 % sobre el valor de diseño (hasta un máximo de 3% de cemento) normalmente es suficiente para obtener los resultados deseados. En adiciones del 0.5 - 2 % el cemento normalmente actúa como un acelerador de rompimiento, para varios agregados.

Manejo de Emulsiones y Temperaturas de Aplicación

El manejo de la emulsión afectara el comportamiento del producto final. Acciones de bombeo excesivo en la emulsión, pueden resultar en una disminución de la viscosidad o en la separación de los ingredientes. Han sido reportadas que emulsiones arribando a obra muy calientes (65° a 82° C), pueden romper muy rápido o no mezclarse bien, produciendo marcas de arrastre y ralladuras en la aplicación, por lo tanto la emulsión debe ser almacenada por un tiempo, para reducir la temperatura antes de ser usada. También, las emulsiones deberán de ser agitadas con cuidado antes de usarse para asegurar la consistencia del polímero, temperatura y el residuo asfáltico. La temperatura de la emulsión debe estar entre 27°– 45° C durante la aplicación.

Tiempo de Apertura al Tráfico.

El micro-pavimento es diseñado, para que el sistema pueda soportar tráfico vehicular después de una hora que haya sido aplicado. Para que esto ocurra, la emulsión debe romper, la mezcla debe ganar cohesión y desarrollar adherencia con la superficie del pavimento subyacente. Existen opiniones entre usuarios, que un micro-pavimento bien diseñado y aplicado, cura rápido y puede soportar tráfico después de una hora, sin efectos de daño como ahuellamientos o desprendimientos. Si se presenta desprendimientos en áreas donde el tráfico gira los neumáticos frontales aun después de una hora. El uso de mezclas relativamente secas, seguido

de un riego superficial de arena, ha demostrado efectividad para corregir estos defectos. Planes de control de tráfico que consideren estas situaciones, son esenciales para llevar estos proyectos a feliz término. Hasta el presente no existen pruebas de campo para determinar exactamente cuándo se debe permitir al tráfico circular después de la aplicación, por lo que la ISSA está trabajando en el desarrollo de una prueba de cohesión en campo.

Pase Inicial de Prueba

El micro-pavimentos es un sistema de curado rápido. Es muy posible que una mezcla diseñada bajo condiciones de laboratorio, tal vez no trabaje bien en condiciones de campo. El resultado puede ser un rompimiento/deposición excesivamente rápido o bien demasiado lento. Para asegurar un micropavimento apropiadamente dosificado y colocado en el campo, es obligatoriamente la aplicación de franjas como pases iniciales de prueba previas a la aplicación final.

Mantenimiento y Protección del Tráfico.

Durante las inspecciones en campo, muchos proyectos de micro-pavimentos fueron ejecutados sin planes formales de control de tráfico. El mantenimiento y la protección del tráfico para proyectos de micro-pavimentos son tan importantes como para cualquier otro tipo de construcción y deben de recibir la misma atención.

7.1.5 Calidad de la construcción.

7.1.5.1 Sellado/Texturizado

Uno de los usos más comunes del micro-pavimento es el sellado/texturizado de superficies. El micropavimento debe resultar en una superficie suave pero anti-derrapante. Para lograr esto, la superficie final debe estar libre de excesivas marcas de rayado, desprendimientos, ondulaciones y otras irregularidades por lo que además, se exige una buena calidad en juntas longitudinales, transversales y en alineaciones laterales de la aplicación, lo cual mejora la calidad del manejo y la apariencia de la vía.



Figura 7.13: Micropavimento terminado lado izquierdo

(Fuente: <http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm>)

Ondulado

El ondulado también conocido como corrugado, son ondulaciones transversales (valles y crestas alternadas) a intervalos regulares en la superficie del pavimento.

Ondulado Transversal

Aplicaciones muy delgadas y/o cantidades de mezcla inadecuadas, se piensa que contribuyeron al ondulado transversal. La velocidad de extendido puede también tener un efecto de la textura, a mayores velocidades de extendido, tienen tendencia a resultar con ondulaciones de la superficie terminada.

El uso de una banda de caucho como regla de enrasado en la esparcidora, usualmente resulta en un mejor texturizado que con la placa metálica como regla rasante.



Figura 7.14: Caja esparcidora con banda de caucho

(Fuente: <http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm>)

Para controlar el ondulado transversal en un proyecto se pueden especificar límites en la extensión y profundidad (por ejemplo: 5 mm) del ondulado. Para efectos de medir el ondulado, se puede usar una regla recta de 3 metros.

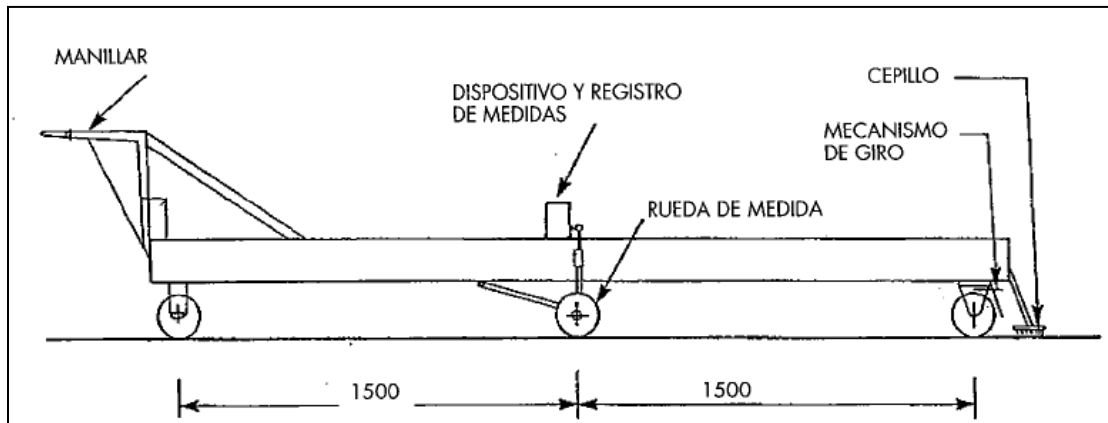


Figura 7.15: Regla rodante de 3 metros (Fuente: NLT-134/98)

Ondulado longitudinal

Cajas esparcidoras con falta de limpieza o en mal estado y telas de arrastre (cuando se usaron), pueden ser la causa. El ondulado longitudinal debe ser mantenido al mínimo. El criterio de construcción para el ondulado transversal, debe ser usado también para el ondulado longitudinal.



Figura 7.16: Caja esparcidora con tela de arrastre.

(Fuente: http://www.bergkampinc.com/espanol/images/slurry_photo_02.jpg)

Marcas de Arrastre/Rayado

Las razones de estas marcas son:

1. Falta de limpieza en cajas esparcidoras y/o en mal estado
2. Sobremedidas en la granulometría de los agregados
3. material insuficiente
4. desprendimiento de material de sellado de grietas cuando se usa placa metálica como regla rasante
5. Rompimiento prematuro de la mezcla.

Estas condiciones deben ser evitadas, para obtener una superficie libre de marcas. Algunas veces durante la operación de pavimentado, el material comenzara a acumularse dentro de la caja esparcidora. Con solo esto, este material puede resultar en marcas de arrastre detrás de la caja terminadora o puede caerse en forma de grumos dentro de la mezcla. El operador debe de vigilar cualquier acumulación, para remover el material antes de que ocurra el problema. Para evitar marcas de arrastre, el agregado debe ser seleccionado y cribado (tamizado) antes de usarlo en un proyecto de micro-pavimento.

Otra razón de las marcas de arrastre, son volúmenes de aplicación más bajos. Los volúmenes de aplicación más bajos deben ser evitados, asegurándose que el espesor de la capa sea como mínimo $1 \frac{1}{4}$ (preferentemente $1 \frac{1}{2}$ veces) el tamaño más grande del agregado. Para prevenir desprendimientos, el sellado de grietas deberán ser selladas al ras

o ligeramente por debajo del nivel de la superficie. Para asegurar un buen acabado superficial, es deseable especificar un criterio que limite el número y extensión (por ejemplo; largo y ancho) de las marcas de arrastre dentro de un área específica del pavimento.

Sección Transversal de Superficies

Irregularidades menores de la superficie del pavimento existente, pueden ser corregidas durante la aplicación del texturizado con una caja esparcidora de ancho total equipada con barra metálica secundaria niveladora (de acabado). El caucho en la barra secundaria no es tan efectivo para perfilar el pavimento, porque se adapta a las irregularidades existentes del pavimento y resulta en el extendido de la misma cantidad de mezcla a través del pavimento sin importar el perfil existente. El acabado de la superficie, debe ser verificado con una regla recta de 3 metros para determinar secciones transversales superficiales aceptables.

Consistencia de la Textura

En secciones transversales normales, una textura con más humedad de lo normal aparece algunas veces hacia el centro o a un lado de la línea de pavimentación. Una mezcla excesivamente fluida es usualmente responsable de la inconsistencia. Particularmente en secciones con pendiente transversal, se notó una descarga más húmeda en la parte más

baja de la superficie del pavimento. Esas inconsistencias generalmente resultan de:

- Mezclado y distribución insatisfactorio del material a través de la caja esparcidora
- Una mezcla más húmeda de lo normal.

Como se mencionó anteriormente, el uso de de mezclas con exceso de humedad deberá ser descartado. Las emulsiones deben formularse para permitir a los constructores aplicar una mezcla consistente, relativamente seca en todas las condiciones de la carretera. Cajas esparcidoras modernas, permiten controlar la velocidad y dirección del vaciado. Esta característica es importante cuando se trabaja en curvas y secciones con pendientes transversales. Una caja esparcidora que no pueda distribuir el material uniformemente a todo lo ancho, no debe permitirse. La industria, está considerando futuras mejoras en el diseño de las cajas esparcidoras. Un posible diseño reemplazará las paletas ancladas a los ejes agitadores de la caja, por gusanos sinfín en espiral para mejorar la distribución de la mezcla a través de toda la caja esparcidora. Otro método, segmentaría la caja con diversas tolvas y compuertas (placas) para obtener una distribución más uniforme de la mezcla a todo lo ancho.

Juntas de Construcción

Las especificaciones actuales del Estado prohíben excesivos traslapes, áreas descubiertas y apariencia discontinua, tanto en juntas transversales como longitudinales. Sin embargo estos parámetros no están siempre bien definidos o bien exigidos. Además, el número de juntas

transversales permitidas por sección, o traslape máximo permitido en el caso de juntas longitudinales, usualmente no está especificado. Esto ha resultado, en construcción insatisfactoria de juntas en algunos proyectos. En el caso de juntas transversales, la aparición de abultamientos y baches fueron algunas veces notados. Debido a que el micro-pavimento es un material de rompimiento rápido y cada vez que se detiene la producción, la caja esparcidora debe ser levantada y limpiada de mezcla que se haya endurecido dentro de ella. El levantado y reposicionamiento de la caja, puede dejar marcas de exceso de material y producir abultamientos o parches en las juntas transversales.



Figura 7.17: junta transversal de alta calidad y junta transversal de baja calidad.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

Similarmente, las juntas longitudinales pueden ser un problema ya que debido a un traslape excesivo puede dejar una cresta. Muchas de las especificaciones no indican el tipo de junta longitudinal (por ejemplo; junta al tope o junta con traslape) que puede usarse en proyectos de micro-

pavimento. Las juntas de al tope mejorarán esta condición, pero son difíciles de construir debido a lo preciso de la aplicación.

Para asegurar una buena junta de construcción, se debe colocar juntas longitudinales en carriles usando juntas al tope o juntas con traslape con menos de 50 mm de traslape sobre pase adyacente y no más de 6 mm de espesor del traslape total, medidos con una regla recta de 3 metros. Si es posible, colocar pases con traslape en la parte más alta, para prevenir cualquier acumulación de agua. Restringir las juntas transversales a 5 por cada 6,500 metros. De pavimento lineal. Construir juntas transversales con un máximo 3 mm de diferencia en el perfil a lo largo de la junta. Utilizar tiras de cartón o metálicas, durante la construcción de juntas transversales. Construir juntas transversales que resulten nítidas y uniformes.

Bordes

La mayoría de especificaciones actuales no contemplan la delineación de bordes laterales. Inspecciones en campo encontraron que la calidad de la construcción en la delineación de los bordes. Algunos usan una línea de cuerda y otros simplemente tratan de seguir a ojo, los bordes existentes. Para asegurar resultados consistentes, se deben especificar uniformidad de criterios para la alineación de bordes laterales. Por ejemplo, criterios como “colocación y delineación de bordes laterales de apariencia nítida y uniforme a lo largo de carriles de circulación existentes, acotamientos (bermas, cunetas, etc.) y líneas de aceras. Colocación de bordes con una variación horizontal máxima de 50 mm por cada 30 metros”, pueden ser usados.



Figura 7.18: Bordes de alta calidad y bordes de baja calidad.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

7.1.5.2 Recuperación de Ahuellamientos.

La recuperación de ahuellamientos con micro-pavimentos será más exitoso (que ofrezca una solución a largo plazo) si la huella es causada por desgaste o por compactación mecánica de la estructura del pavimento y/o si el pavimento existente es estable. La consolidación por los neumáticos está limitada generalmente de 6 – 13 mm de profundidad, dependiendo del espesor de la de la carpeta de superficie. Si la huella es causada por la base o por una capa de pavimento inestable, el micro-pavimento corregirá el perfil de la superficie por un periodo de tiempo más corto dependiendo del tipo y severidad de la huella. El flujo plástico en la capa superficial puede ser reconocido por doble hundimiento en cada huella del neumático y por la apariencia dentada de crestas. Si el micro-pavimento debe ser usado

como una medida temporal, cualquier deformación elevada presente (tipo corona) debida al flujo plástico, debe ser corregida antes de la recuperación del ahuellamiento. El micro-pavimento tampoco debe ser usado si las huellas son acompañadas de agrietamientos tipo piel de cocodrilo, lo que indica un pavimento estructuralmente dañado. Cuando ahuellamientos profundos se deben a razones distintas a la consolidación por el tráfico, deberá ser realizado un análisis de la estructura del pavimento para determinar la causa de su aparición. Generalmente, si el pavimento ha estado en servicio por diez años y ha desarrollado solamente ahuellamientos de 10 – 20 mm de profundidad, el pavimento puede ser considerado como estable.



Figura 7.19: Principio de recuperación de ahuellamiento.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

Cuando se recuperan ahuellamientos particularmente de profundidades variables, el suministro adecuado de mezcla asfáltica debe

ser mantenido en la caja niveladora de ahuellamientos. Esto se logra controlando la velocidad de la máquina, ya que surcos más profundos necesitarán más material, requiriendo menor velocidad. Por esta razón, las máquinas autopropulsadas continuas con estación trasera de operación y control de velocidad, son particularmente útiles para la recuperación de ahuellamientos.



Figura 7.20: Recuperación de ahuellamiento.

(Fuente: http://west-cansealcoating.com/micro_surfacing.html)

Recuperación de Ahuellamientos Profundos

En muchos proyectos se han experimentado problemas de exudación, al recuperar ahuellamientos de 40 mm o más, en solo un pase sencillo. La fracción de agregados más gruesos puede alojarse dentro de las áreas más profundas del surco dejando los finos ricos en ligante en la superficie, produciendo una textura superficial desigual y la apariencia de desagradables “manchas de grasa”.

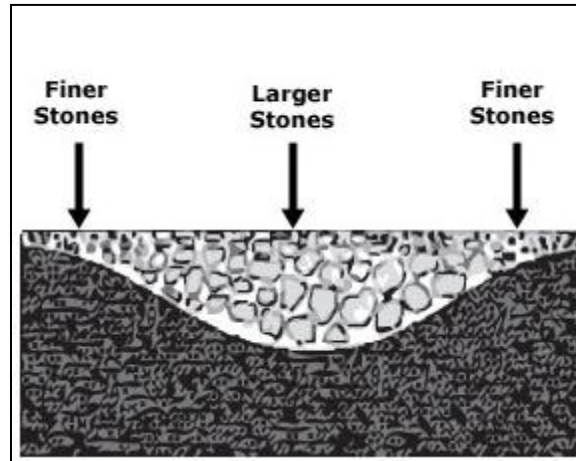


Figura 7.21: Recuperación de ahuellamiento

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

Para mejores resultados, los ahuellamientos con profundidades mayores de 25 mm deben ser recuperados con múltiples pases. Usando un agregado más grueso y una mezcla más, seca se ayudará a solucionar los problemas de exudación cuando se recuperan ahuellamientos profundos. Normalmente esta situación no es frecuente, por lo cual se exigen medidas de recuperación especiales cuando las profundidades exceden los 15 mm. Un periodo de curado suficiente (24 horas bajo tráfico) debe ser establecido entre la colocación de pases (capas) adicionales.

Al final de la construcción, el perfil transversal no deberá mostrar ninguna depresión. Las especificaciones, deben exigir el uso de una regla recta de 3 metros para asegurarse que no existe más ahuellamiento.

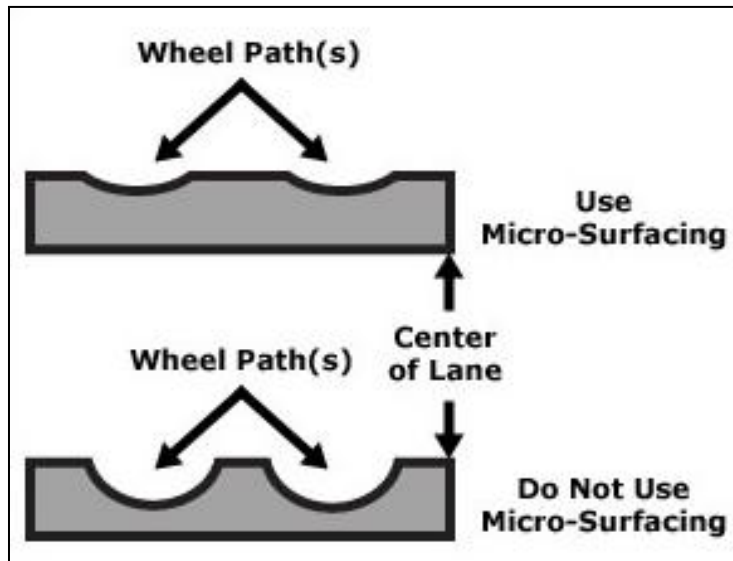


Figura 7.22: Superficies adecuadas y aptas para la recuperación de ahuellamiento con micropavimento.

(Fuente: http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/unit5.htm)

Re-consolidación/re-ahuellamiento

Algunos proyectos han experimentado variados grados de consolidación inmediata, después de que el pavimento es abierto al tráfico. Resultados de laboratorio y observaciones en campo indican que el micropavimento se compactara inicialmente bajo las cargas del tráfico, por un periodo de tiempo antes de alcanzar una estabilidad relativa. ISSA recomienda que por cada 25 mm de nivelado del surco con micropavimento, se agregue 3 mm como corona para compensar la compactación inicial. Es preferible prevenir la sobre-recuperación de surcos, ya que puede causar problemas de drenaje por cortos periodos. Otros métodos para abordar este problema incluyen:

- Utilización de compactador de neumáticos de 5 – 7 TON sobre la sección tratada, este método sin embargo requerirá cerrar el tránsito por un período mayor.
- Tratar de nuevo secciones que experimenten cantidades inaceptables de sobre-recuperaciones, por ejemplo; entre 6 y 13 mm, aunque esta alternativa causará molestias al tráfico usuario.

También una excesiva consolidación inicial representa un pobre diseño de mezcla, a menos que el micro-pavimento haya sido colocado en una sección de inestable del pavimento que experimente flujo plástico.



Figura 7.23: Compactador neumático. (Fuente: <http://www.viarural.com.es/agroindustria/maquinaria-construccion/caterpillar/compactadores/ps-200b.jpg>)

7.1.5.3 Pases de Pre-nivelación

En ocasiones cuando la superficie es irregular o cuando la profundidad de los ahuellamientos por neumáticos está entre 5 y 10 mm, pueden ser aplicados dos pases de micro-pavimento. El primer pase debe usarse como una capa de pre-nivelación para establecer el perfil transversal, seguido por un pase como superficie de rodamiento. Si la aplicación como capa superficial del micro-pavimento es aplicada directamente sobre un pavimento irregular, la superficie resultante puede también ser irregular. Si los ahuellamientos son mayores a 10 mm, deben ser recuperados con la caja recuperadora de ahuellamientos antes de aplicar cualquier pase final. Si se usa la caja pavimentadora/esparcidora convencional para recuperación de ahuellamientos profundos, puede ocurrir exudación en los senderos de los neumáticos. El pase de pre-nivelación es aplicado con la caja esparcidora convencional de ancho total con barra niveladora metálica. Durante la aplicación, la caja se ajusta para hacer contacto con los puntos más elevados de la superficie, para que de esta manera se llenen las depresiones más bajas. El ancho del pase normalmente se fija en 3 metros, para evitar aplicación sobre las delineaciones laterales o sobre los bordes. Durante la colocación del pase de pre-nivelación, se pueden esperar marcas de arrastre entre los senderos de neumáticos, debido a la mínima cantidad de material en éstas áreas. Para una textura superficial uniforme con altas propiedades anti-derrapantes, se recomienda que la recuperación de ahuellamientos y el

pase de pre-nivelación sean cubiertos con un pase final como superficie de rodamiento.

7.1.6 Recomendaciones y Otros Usos

Uso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico.

El uso de micro-pavimento sobre pavimentos de PCC (Portland Cement Concrete), no ha sido muy amplio. Sin embargo, se ha usado para mejorar la resistencia anti-derrapante en pavimentos de PCC y sobre plataforma de puentes. El micro-pavimento aplicado directamente sobre un pavimento de PCC puede desprenderse (levantarse), dentro de un período relativamente corto. Para asegurar una adhesión adecuada con la superficie de PCC existente, se recomienda un riego de liga (se recomienda emulsión asfáltica de 0.22 – 0.45 lt/m²) antes de la aplicación de micro-pavimentos.



Figura 7.24: Colocación de micropavimento sobre pavimento rígido.

(Fuente: <http://www.jmmt.gob.mx/PavimentacionConservacionphp=id16.htm>)

Micro-pavimento sobre Líneas de Señalización (señalización horizontal).

Las marcas de material termoplástico y de plástico en frío (preferentemente marcas de pintura) deben ser removidas antes de la aplicación del micro-pavimento. Las marcas de pintura pueden colocarse sobre el micro-pavimento al día siguiente después de su aplicación. Sin embargo, el marcado termoplástico no debe aplicarse sino hasta que el micro-pavimento se encuentre completamente curado, lo que puede tomar de 7 a 14 días.

Aplicaciones sobre OGFC (Open Graded Friction Courses) y/o Superficies Desintegradas.

Si la superficie es porosa (como la de un OGFC- Carpetas Abiertas como Superficies de Fricción), debe de aplicarse un riego de emulsión diluida o con una capa delgada de mezcla húmeda de micropavimento para sellar la superficie previa a la aplicación de texturizado. Si el pavimento subyacente no está totalmente sellado, pueden ocurrir desprendimientos. Se podría usar emulsiones modificadas con polímeros en riegos de liga, con cantidades de 0.22 – 0.44 lt/m² antes de la aplicación del micro-pavimento.



Figura 7.25: Superficie OGFC

(Fuente: <http://pavementinteractive.org/index.php?title=Image:Ogfc.jpg>)

Uso sobre Pavimentos con Exudado Superficial

El micro-pavimento ha sido usado en algunos proyectos, para corregir/minimizar exudaciones de tratamientos superficiales con gravilla y pavimentos de concreto hidráulico. El uso del micro-pavimento sobre pavimentos exudados, debería estar limitado a sitios donde el exudado es de bajo a moderado; de otra manera el exudado puede reaparecer. Cuando es usado sobre pavimentos exudados, deberán de considerarse dos aplicaciones de micropavimentos. La primera aplicación debe consistir de un considerablemente reducido contenido de ligante y la segunda aplicación de un ligeramente reducido a un normal contenido de ligante.

Uso sobre Superficies Desniveladas y Oxidadas

Si la superficie aparece demasiado oxidada o irregular, es mejor colocar una capa de pre-nivelación de micro-pavimento o de asfalto en caliente (HMA). Alternativamente, se puede usar fresado o escarificación en

caliente para corregir la oxidación y corregir las irregularidades superficiales.

Uso sobre Fibras (geomembranas o geomallas)

El micro-pavimento usado directamente sobre fibras de pavimentación no ha probado ser efectivo, ya que se han reportado desprendimientos a los pocos meses o fallas inmediatas.

7.1.7 Diseños alternos y aspectos constructivos.

Niveles de Ruido

El micro-pavimento, es usual y ligeramente más ruidoso que los pavimentos de concreto asfáltico. El ruido puede deberse a la forma, tipo y granulometría de los agregados o a la rugosidad total de la superficie debido a la consistencia de la mezcla o al flujo en la aplicación (velocidad de avance). Durante las inspecciones de campo, en pocas aplicaciones (nuevas y de 2 a 3 años) se puede observar niveles de ruido objetables. Mientras que los niveles de ruido excesivos se notaron en solo algunos proyectos, la industria necesita fijarse en la composición del agregado, el diseño de mezcla y las prácticas de construcción, para lograr un balance más consistente entre las propiedades anti-derrapantes y superficies de manejo suaves. Las agencias usuarias pueden considerar desarrollos sobre algunos lineamientos en referencia a niveles de ruido.

Exudación (perdida de propiedades anti-derrapantes)

Los factores que pueden causar que los micro-pavimentos tiendan a exudarse, incluyen; apertura al tráfico anticipada, excesivo ligante y/o agua en la mezcla y climas calientes. Además, las mezclas más finas no deben usarse en carreteras de alto tráfico. Durante inspecciones de campo, se puede notar en algunos casos que cuando los ahuellamientos (de más de 30 mm) fueron recuperados con un solo pase, el pavimento puede mostrar exudación después de un corto período. Como lo mencionamos anteriormente, ahuellamientos de más de 25 mm deben ser recuperados en pases múltiples para evitar la exudación.

Desintegración

Las aplicaciones de micro-pavimentos pueden desintegrarse debido a uno a la combinación de los siguientes factores:

- Contenido deficiente de asfalto
- Cantidades insuficientes de agregados finos para mantener juntas las partículas más gruesas del agregado
- Aplicaciones muy delgadas
- Baja calidad del cemento asfáltico
- Insuficiente agua
- Condiciones frías durante y dentro de las 24 horas después de la aplicación.

Desprendimientos.

Los desprendimientos pueden ser definidos como el debilitamiento o eventual pérdida de la adhesión entre la superficie del agregado y el cemento asfáltico, en pavimentos en caliente o mezclas, usualmente en presencia de humedad. Generalmente, el micro-pavimento exhibe buena resistencia al desprendimiento. Con la excepción donde muy pocas aplicaciones diseñadas con bajo control de calidad, se puede observar desprendimientos superficiales de películas de ligante o baches, lo que puede ocasionar el desprendimientos o fracturas en el pavimento subyacente.

7.1.8 Especificaciones.

Para el diseño de micropavimento nos debemos regir a dos especificaciones para materiales que son: Agregado y Emulsión Asfáltica. No existen requerimientos específicos para otros materiales como el agua, finos minerales y aditivos. La cantidad de finos minerales es generalmente controlada por la granulometría. La cantidad y uso de agua y aditivo puede seguir los lineamientos ya sea de ISSA o de pruebas Marshall para asfalto en caliente. Los actuales procedimientos de diseño de mezcla de la ISSA no son pruebas estándar ASTM ni AASHTO y su repetitividad no está bien establecida. Similarmente, los procedimientos Marshall pueden no ser

apropiados para mezclas en frío. Las especificaciones de construcción se refieren al tipo de equipos y operaciones de colocación en términos generales.

El éxito en la aplicación de micro-pavimentos y su eventual comportamiento, es por lo tanto afectado por la experiencia del constructor, que es no solo responsable por la operación de la aplicación, sino también por los ajustes en las cantidades de algunos de los componentes de la mezcla. El control de materiales por el Estado se limita usualmente al muestreo y pruebas del agregado y de la mezcla, para asegurar su conformidad con las especificaciones. Pruebas de extracción se realizan en las muestras de la mezcla, para verificar los porcentajes de cemento asfáltico y agregados. Los resultados de las pruebas de extracción, sin embargo, pueden no ser precisos en cada caso, debido a la presencia de polímeros en la emulsión. En algunos casos, la extracción de cemento asfáltico de la mezcla fue encontrado considerablemente menor (hasta 1 ½ %) que el residual del cemento asfáltico original en la mezcla. Un estudio reciente de ISSA identifica al Troxler (Densímetro nuclear, ASTM D 4125) y al Soxhlet (Texas modificado 215F) como los métodos más apropiados para determinar el contenido de ligante en sistemas de micro-pavimento.

7.2 Costos.

Los costos del micro-pavimentos varían dependiendo de muchos factores incluyendo localización, disponibilidad de buenos materiales, contratista, cantidades de aplicación, mantenimiento del tráfico y otros elementos de licitación.

Actualmente se usan varios métodos para medir y pagar los Micropavimentos. Los métodos de medición incluyen:

- Medida de la cantidad de agregados y emulsión asfáltica modificada con polímeros.
- Medida de la cantidad de los componentes de la mezcla.
- Medida del área superficial.

El pago se efectúa ya sea por el precio unitario de los componentes o por el precio por unidad contratada en metros cuadrados.

El micro-pavimento es aproximadamente dos o tres veces el costo del concreto asfáltico en caliente en referencia al peso. Desde que su costo unitario es mayor, la efectividad en costo-beneficio del micropavimento depende del concepto de cuan delgadas las aplicaciones puedan utilizarse. Aplicaciones más delgadas, también reducen los ajustes en bordillos o bordes de aceras, acotamientos (bermas, hombrillos, etc.) entrada de alcantarillas de drenaje, registros, plataforma de puentes y rieles de protección. Cuando se utilizan en recuperación de ahuellamientos, la efectividad en costo beneficio depende de que generalmente no se requiere la combinación usada de escarificación y aplicación de sobre-carpetas. Cuando se compara con otros tratamientos de superficie como el mortero asfáltico (slurry seal) y tratamientos superficiales con gravilla (chip seal) factores de

ingeniería y experiencias de comportamiento junto con análisis de costos por todo el período de vida útil, deberán ser considerados al seleccionar una técnica apropiada.

Mientras que existen pocos estudios formales para determinar la efectividad de costo del micropavimento, los usuarios Estatales generalmente creen que el micro-pavimento es una técnica prudente y económicamente efectiva para un buen texturizado superficial y recuperación de ahuellamientos en vías de alto volumen.

El costo de la emulsión asfáltica modificado con polímeros rodea los 10.000 dólares los 9000 galones, y el material utilizado en este caso arena triturada depende de la localización del proyecto y la cantera utilizada, un costo aproximado rodea los 10 dólares el metro cubico.

7.3 Impacto en el Medio Ambiente de Emulsiones Asfálticas. ¹⁷

Las publicaciones aparecidas en los últimos años sobre las técnicas de asfaltado y sus incidencias ecológicas, se deben por la agresión sobre los operarios en los trabajos de carreteras o bien, al daño causado a los seres vivos o cosas en las inmediaciones de las zonas de trabajo. Respecto al tipo de técnica empleada, hay que destacar los siguientes problemas:

- Humus debido al calentamiento de ligante y áridos mediante quemadores de fuel o petróleo (planta de asfalto en caliente).
- Gases de los cementos asfálticos emanados de los tanques de almacenamiento y calefacción, de las cisternas de transporte y los producidos durante la extensión y compactación de las mezclas (mezcla en caliente).
- Polvo debido al manejo de áridos, y muy especialmente al funcionamiento de los secadores en las plantas asfálticas en caliente que no tengan dispositivos adecuados para evitar su lanzamiento a la atmósfera.
- Evaporación de solventes cuando se emplea mezclas en frío con asfaltos diluidos como el RC-250.

Respecto a la comunidad, se ha conseguido mediante una serie de medidas, paliar el efecto del polvo de las plantas asfálticas en caliente, que tradicionalmente son perniciosos para las personas y animales, así como para la vida vegetal. En zonas poco aireadas y pobladas, el empleo de asfaltos diluidos, especialmente aquellos que contienen alto porcentaje en componentes ligeros como son el MC y

¹⁷ <http://www.scribd.com/doc/10478011/Slurry-Seal-y-Micropavimentos>

RC, contaminan seriamente al evaporarse dichos componentes, produciendo una contaminación más importante que la que puede atribuirse a un tráfico intenso. El caso puede ser especialmente grave si se usa en imprimaciones o riegos similares, u otros tratamientos derivados del alquitrán u otros productos agresivos. También hay que mencionar las notables molestias que producen los actuales sistemas de reciclado en caliente en zonas urbanas donde se unen los gases emitidos por los quemadores a los humos de la combustión de residuos de los pavimentos antiguos.

El problema es más grave desde el punto de vista de los operarios. Recientes estudios de distintos organismos norteamericanos han puesto de manifiesto que los maquinistas de extendedoras y de tanques regadores, así como los reglistas y el personal que está en las inmediaciones de la obra, están sometidos a la agresión de una serie de compuestos nocivos, muy superiores a la que toleran las autoridades sanitarias y laborales. No hay que olvidar que este personal permanece durante muchas horas al día sometido a acciones perniciosas (hay estudios hechos en los EE.UU. donde demuestran una relación entre el grado de contaminación y la infertilidad masculina). Por lo cual, es muy claro que el uso de emulsiones es imprescindible ya que son muy amigables con el ambiente por su alto contenido de agua y un 2% de otros elementos emulsificantes, también cabe recalcar que para la producción de emulsión asfáltica se usa un 5% de energía de la que es empleada para producir mezclas en caliente.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. Introducción.

En este capítulo se presentarán las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y culminación de este proyecto de tesis, y en base a los resultados obtenidos los autores plantean recomendaciones.

8.2. Conclusiones.

8.2.1. Emulsión Asfáltica CQS-P.

- La emulsión CQS-P presenta un contenido de asfalto residual del 61,99%, con lo que se encuentra dentro del límite establecido por la ISSA A – 143, que nos recomienda un mínimo del 62%.
- La emulsión usada presenta un valor de penetración en el residuo de 40 mm/10 a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos, dándonos así un valor aceptable según lo recomendado por la ISSA A – 143, que es de entre 40 a 90 mm/10 a los 25°C, 100 gramos y 5 segundos.
- Se determinó en el ensayo de viscosidad Saybot Furol un valor de 18,9 segundos, el cual de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM 2397, no cumple con el valor mínimo que es de 20 segundos. Este valor se ve reducido por el tiempo de almacenamiento que tuvo la muestra, sin embargo es un valor muy cercano al mínimo.

- El ensayo de punto de reblandecimiento arrojó valores de 41,2 °C y 42,4°C, con lo que se puede concluir que no cumple con lo recomendado en la ISSA A – 143, esto debido a falta de calidad del asfalto Ecuatoriano.
- Se determinó en el ensayo de tamiz N°20 un valor de 0,0002%. Dicho valor es menor al especificado en la norma ASTM D – 2397, el cual es del 0,1%, lo que nos garantiza que no va a haber problema en el almacenamiento y bombeo de la emulsión.

8.2.2. El Agua y aditivos.

- Se utilizó el agua potable de la red del Distrito Metropolitano de Quito, esto nos garantizó que no contenía sales solubles o químicos reactivos, con lo cual no se tuvo inconvenientes en las mezclas.
- No se utilizaron ningún tipo de aditivo, ya que no se considero que era necesario.

8.2.3. Guayllabamba.

- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 30,5%, valor muy cercano a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, con lo que sí se puede realizar un diseño de micropavimento.
- El ensayo de equivalente de arena arrojó un valor de 83%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%.
- La absorción que presenta el agregado es de 2,33%,

- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 1 mg/g, con lo que se presenta como un agregado poco reactivo.
- Este agregado no cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143, debido a que su graduación es muy gruesa, teniendo como resultado segregación de la emulsión.
- Se obtuvo los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 1%.
 - Agua 14%.
 - Emulsión CQS-P 14%.

Con estos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de la colocación.

- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 120 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 14% de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 g/m², máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantiza el tiempo de vida útil estimado.

- Para el ensayo de rueda cargada se evidencio que sí ofrece resistencia del micropavimento diseñado a las cargas de tránsito y que no existirá exudación de asfalto.
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es de 60 minutos de haber colocado el material.

8.2.4. Pifo.

- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 21,99%, valor aceptado a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, con lo que sí se puede realizar un diseño de micropavimento. Cabe destacar que este es el material que presenta el menor desgaste entre los agregados analizados.
- El ensayo de equivalente de arena arrojo un valor de 67%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%.
- La absorción que presenta el agregado es de 3,98%,
- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 3,75 mg/g, con lo que se presenta como un agregado poco reactivo.
- Este agregado cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143, debido a que su graduación se encuentra dentro de los máximos y mínimos recomendados.

- Se obtuvo los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 2%.
 - Agua 12%.
 - Emulsión CQS-P 14%.

Con estos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de la colocación.

- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 125 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 14% de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 g/m^2 , máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantice el tiempo de vida útil estimado.
- Para el ensayo de rueda cargada se evidenció que sí ofrece resistencia del micropavimento diseñado a las cargas de tránsito y que no existirá exudación de asfalto.
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es de 5 horas de haber colocado el material ya que el material presenta un falso curado.

8.2.5. Pintag.

- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 30,75%, valor cercano a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, con lo que sí se puede realizar un diseño de micropavimento.
- El ensayo de equivalente de arena arrojó un valor de 77%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%.
- La absorción que presenta el agregado es de 2,36%,
- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 1,5 mg/g, con lo que se presenta como un agregado poco reactivo.
- Este agregado no cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143, debido a que su graduación muy fina. Este material no presentó la suficiente cantidad de agregados gruesos, lo que dio como resultado una poca resistencia a las cargas evidenciado en el ensayo de rueda cargada.
- Se obtuvo los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 3%.
 - Agua 12%.
 - Emulsión CQS-P 16,5%.

Debido a que no se pudo determinar el contenido óptimo de emulsión, se procedió a tomar el contenido teórico, ya que se evidenció en los demás agregados, que el contenido óptimo de emulsión es muy similar al

contenido teórico. Dicho porcentaje de emulsión es alto debido a su gradación, ya que al con mayor cantidad de agregado fino, se tendrá mayor área específica, y a su vez se requiere de mayor cantidad de emulsión.

El porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de la colocación.

- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 740 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 16,5% de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 g/m², máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantice el tiempo de vida útil estimado. Sin embargo, se puede destacar que existió un mayor desgaste en comparación a los demás agregados.
- Para el ensayo de rueda cargada se evidencio que no ofrece resistencia del micropavimento diseñado a las cargas de tránsito a pesar de que se incrementó la cantidad de material de relleno mineral (cemento), hasta el máximo recomendado (3%).
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es de 1 hora y 30 minutos después de haber colocado el material.

8.2.6. San Antonio.

- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 33,91%, valor cercano a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, con lo que sí se puede realizar un diseño de micropavimento.
- El ensayo de equivalente de arena arrojó un valor de 90%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%. Cabe notar que este material presenta más contenido de arena en comparación a los demás materiales de las diferentes canteras.
- La absorción que presenta el agregado es de 5,46%, (máximo)
- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 13,5 mg/g, con lo que se presenta como un agregado muy reactivo.
- Este agregado cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143, debido a que su graduación se encuentra dentro de los máximos y mínimos recomendados.
- Se obtuvo los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 1%.
 - Agua 8%.
 - Emulsión CQS-P 15%.

Con estos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla. El porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al

momento de la colocación, sin embargo, el material presenta una economía de agua y sin perder su trabajabilidad.

- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 975 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.
- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 15% de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 g/m^2 , máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantice el tiempo de vida útil estimado.
- Para el ensayo de rueda cargada se evidencio que sí ofrece resistencia del micropavimento diseñado a las cargas de tránsito y que no existirá exudación de asfalto.
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es a la 1 hora de haber colocado el material.

8.2.7. Nayón.

- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 37,74%, valor no aceptado a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, y que inclusive es un valor mayor a lo recomendado para un Slurry Seal. Cabe

destacar que este es el material que presenta el mayor desgaste entre los agregados analizados.

- El ensayo de equivalente de arena arrojó un valor de 83%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%.
- La absorción que presenta el agregado es de 3,35%,
- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 3,0 mg/g, con lo que se presenta como un agregado poco reactivo.
- Este agregado no cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143, debido a su graduación muy gruesa y lo que deriva en segregación de la emulsión.
- Se obtuvo los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 1%.
 - Agua 20%.
 - Emulsión CQS-P 14%.

Con estos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla. El porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de la colocación, sin embargo, se destaca la gran cantidad de agua que se ocupa en la mezcla para evitar que el tiempo de ruptura sea prematuro.

- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 157 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con

lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.

- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 14% de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 g/m^2 , máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantice el tiempo de vida útil estimado.
- Para el ensayo de rueda cargada se evidencio que sí ofrece resistencia del micropavimento diseñado a las cargas de tránsito y que no existirá exudación de asfalto.
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es de 1 hora y 30 minutos de haber colocado el material ya que el material presenta un falso curado.

Se presenta a continuación un cuadro comparativo entre los diferentes agregados de las canteras:

Ensayo	Guayllabamba	Pifo	Pintag	San Antonio	Nayón	
Caracterización del Agregado	Abrasión	30,50%	21,99%	30,75%	33,91%	37,74%
	Equivalente de arena	83,00%	67,00%	77,00%	90,00%	83,00%
	Azul de Metileno	1 mg/g	3,75 mg/g	1,5 mg/g	13,5 mg/g	3,0 mg/g
	Absorción	2,33%	3,98%	2,36%	5,46%	3,35%
Formulación de Trabajo	Agregado	100%	100%	100%	100%	100%
	Cemento	1%	2%	3%	1%	1%
	Agua	14%	12%	12%	8%	20%
	Emulsión	14%	14%	16,5%	15%	14%
Pruebas de Desempeño	Tiempo de Mezcla	127 segundos	125 segundos	740 segundos	975 segundos	157 segundos
	Abrasión en húmedo	<538 g/m ²	<538 g/m ²	<538 g/m ²	<538 g/m ²	<538 g/m ²
	Rueda Cargada	385 g/m ²	270 g/m ²	-	440 g/m ²	130 g/m ²
	Cohesión (<u>Apertura al tránsito</u>)	60 minutos	300 minutos	120 minutos	60 minutos	60 minutos
	30'	26	19	18	19	22
	60'	23	16	19	23	18
	120'	26	16	22	24	24
	240'	27	17	29	24	24
300'	28	25	29	27	27	

Tabla 8.1: Tabla de Resumen General.

8.3. Recomendaciones.

- Se recomienda que la emulsión asfáltica tenga un contenido de asfalto residual de 62% o mayor.
- Se debe considerar las variaciones de temperatura y humedad ambiental, ya que influencia directamente en el contenido de humedad en formulación de la mezcla.
- Con el agregado de la cantera de Guayllabamba se recomienda controlar la granulometría, reduciendo el porcentaje de agregado superior al tamiz N° 4, de esta manera se obtendrá mejor trabajabilidad de la mezcla y además se evitará segregación de la emulsión; sin embargo este agregado es recomendable para la aplicación en Micropavimentos.
- Con respecto al agregado la cantera de Pifo se recomienda el control del mineral de relleno (Filler) ya que la disminución de éste afectará en la resistencia y tiempo de apertura al tránsito del Micropavimento. Este agregado es recomendable para la aplicación de Micropavimentos.
- El agregado de Pintag presenta problemas en el Diseño de Micropavimentos, debido a su granulometría; se recomienda graduar de mejor manera a este agregado para su uso y a su vez se debe realizar un rediseño total y así evaluar su uso como Micropavimento.
- Con relación al agregado de la cantera de San Antonio, es muy recomendable para la aplicación de Micropavimentos, debido a su gran desempeño mecánico y bajo consumo de agua en la formulación de

trabajo, dándonos como resultado buena trabajabilidad de la mezcla y apertura al tránsito.

- El agregado de la cantera de Nayón a pesar de tener un buen comportamiento en las pruebas de desempeño, no es recomendable para el uso en Micropavimentos debido a que su periodo de vida útil es muy corta ya que el agregado presenta gran desgaste a la abrasión.

De acuerdo a todos los puntos analizados, los agregados más recomendables para el uso en Micropavimentos son los agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio.

BIBLIOGRAFÍA

- 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), y la absorción de Agregado Fino”
- ASTM C 136 (2001); “Análisis Granulométrico de los agregados”
- ASTM C 117 (1995); “Análisis Granulométrico de los agregados finos”
- ASTM D 2419 (2002); “Ensayo de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino”
- AASHTO T 96 (2002); “Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles”
- ASTM D 244 (2004); “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 (2000); “Punto de ablandamiento por el uso del anillo y bola”
- ASTM D 5 (2005); “Penetración 3,5 oz. (100 gr.) a los 5 segundos a 77°F (25°C)”
- ASTM D 88 (1999); “Viscosidad Saybolt Furol”
- ASTM D 6933 (2004); “Ensayo de Tamiz N° 20”

- ASTM D 6934 (2004); “Residuo por evaporación”
- ISSA TB 100 (1990); “Abrasión en Húmedo para Slurry Seal (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); “ Guia de Diseño para la producción de Slurry Seal”
- ISSA TB 109 (1990); “ El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)”
- ISSA TB 113 (1990); “Tiempo de mezcla”
- ISSA TB 139 (1990); “Ensayo de Cohesión”
- CARRIÓN ESTUPIÑÁN Eduardo (2006); “Mantenimiento Vial”
- BRITO S., SOSA J., WOLFF F. (1992); “Reubicación de las nuevas canteras en el área de Quito”
- CARRIÓN HUAMÁN RAÚL METODIO (Enero 2011); “Tecnología de emulsiones asfálticas, Slurry Seal y Micropavimentos”
<http://www.scribd.com/doc/10478011/Slurry-Seal-y-Micropavimentos>.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION N° FWHA-SA-94-051 (Junio 1994), traducida por Ray Saucedo (2004).

- QUIMINET; http://www.quiminet.com/ar9/ar_aasdarmaasd-la-importancia-de-las-emulsiones-asfalticas-en-la-construccion-de-carreteras.htm; Septiembre 2010.
- BITUPER S.A.C; <http://www.bituper.com/emul.htm>; Septiembre 2010.
- 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; Enero 2010.
- PAVEMENT PRESERVATION TREATMENT CONSTRUCTION GUIDE http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/index.htm; Enero 2010.
- LOS HABITANTES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y SUS NECESIDADES (BIVAPAD: BIBLIOTECA VIRTUAL ANDINA PARA LA PRESERVACIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES); <http://www.bivapad.gov.ec/pdf/spa/doc728/doc728-2a.pdf>; Enero 2010.
- DIRECCIÓN METROPOLITANA DE PLANIFICACIÓN Y SERVICIOS PÚBLICOS; PUCE, FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS, DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA. “El Sistema de agua potable del DMQ y sus escenarios de riesgo volcánico: caso de volcanes Cotopaxi y Guagua

Pichincha”http://www4.quito.gov.ec/spirales/3_publicaciones/libros/8.%20EI%20sistema%20de%20agua%20potable%20del%20DMQ.pdf; Enero 2010.

- DIRECCIÓN METROPOLITANA DE PLANIFICACIÓN Y SERVICIOS PÚBLICOS;
http://www4.quito.gov.ec/spirales/9_mapas_tematicos/9_7_economia/9_7_2_2.html; Enero 2010.
- 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.
- CAP(r) BLANDIN LANDIVAR Carlos, “Clima y sus aplicaciones características en el Ecuador”, 1976; Enero 2010.

BIOGRAFÍA

DATOS PERSONALES

- **Nombres y Apellidos:** Luis Gustavo Boada Parra.
- **Cédula de identidad:** 1718831637.
- **Lugar y fecha de nacimiento:** Quito, 28 de julio de 1987.
- **Nacionalidad:** ecuatoriana.
- **Estado Civil:** Soltero.
- **Dirección:** Guayllabamba, Av. 10 Agosto N°360 y Quito.
- **Teléfonos:** 099842314, 022368910, 022368523, 022368512.
- **E-Mail:** gustades@hotmail.com.

EDUCACIÓN

- **Primaria:** U.E.M “San Francisco de Quito”, (Guayllabamba – Ecuador), 1999.
- **Secundaria:** U.E. “José Julio Letort”, (Quito – Ecuador), 2005.
- **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.
- **Curso:** “Civil 3D 2010”; Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha; 2009.
- **Curso:** “Residencia de Obras”; Cámara de la Construcción de Quito; 2010.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante:

- Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE (CEINCE). Agosto – Octubre 2008.
- Subsecretaría de Planificación Vial (Consejo Provincial de Pichincha). Febrero – Abril 2007.
- Departamento de Construcciones (Ministerio de Transporte y Obras Públicas). Febrero – Abril 2009.

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:** Luis Miguel Urgiles Guarderas.
- **Cédula de identidad:** 1720359494.
- **Lugar y fecha de nacimiento:** Quito, 8 de enero de 1988.
- **Nacionalidad:** ecuatoriana.
- **Estado Civil:** Soltero.
- **Dirección:** Sangolquí, Urb. La Colina. Calle Guayas y Esmeraldas N°410.
- **Teléfonos:** 087088907, 022336011
- **E-Mail:** luis_urgiles@hotmail.com.

EDUCACIÓN

- **Primaria:** U.E. “Americano” (El Carmen - Ecuador), 1999
- **Secundaria:** U.E. “Cristiano Verbo”, (Quito – Ecuador), 2005.
- **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.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante:

- Constructora Naranjo Ordoñez.

IDIOMAS

- Español
- Ingles – Suficiencia del Idioma Inglés (ESPE)

OTROS CONOCIMIENTOS

- Manejo de AutoCad 2009 – ESPE.
- Manejo de MatLab 2008 – ESPE.
- Microsoft Office.

HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS

ELABORADO POR

Sr. Gustavo Boada

Sr. Luis Urgiles

**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, marzo de 2011.