

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO DE GRADO:

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN ELABORADA EN BOLIVIA EN CAPA BASE, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL

POSTULANTE: CARLOS ANDER RAMIREZ CHOQUE

ASESOR ACADÉMICO: M. SC. ING. OSCAR LUIS PÉREZ LOAYZA

LA PAZ – BOLIVIA

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento eterno a dios por guiarme en el camino para la culminación de mis metas y a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este proyecto de grado.

Al director de la carrera de Ingeniería Civil, Ing. Miguel Muñoz Black, a los distinguidos jurados M. Sc. Ing. Juan Luis Maldonado, M. Sc. Ing. Víctor Bermejo Franco, Ing. Primitivo Condarco Aguilar, e Ing. Antony Moreno Barrenechea, por su tiempo, dedicación y valiosas observaciones que han sido fundamentales para la mejora y culminación de este trabajo.

Mi gratitud y admiración a mi asesor M. Sc. Ing. Oscar Luis Pérez Loayza, por la orientación, enseñanza y consejos para la culminación de este proyecto de grado.

Por otro lado, agradecer a los señores técnicos Rene Ramos, Diego Quispe correspondientes al área de suelos, a Leoncio Quispe del área de asfaltos con la colaboración en la parte técnica de los ensayos de laboratorio.

A mi familia y a todas las personas más allegadas que me dieron el apoyo, así mismo dar gracias a mis amigos que contribuyeron con ideas, criticas constructivas y animo durante todo este proceso.

Sin el apoyo y colaboración de cada uno de ustedes, este proyecto no habría sido posible. A todos, muchas gracias por hacer realidad este logro académico que marcara un hito en mi vida profesional.

Carlos Ander Ramirez Choque

DEDICATORIA

Con inmerso amor, cariño y agradecimiento eterno y admiración, a mis queridos padres Wilfredo Ramirez P. y Bertha Choque de Ramirez. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido el pilar fundamental de mi educación y desarrollo profesional. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración, guiándome con sabiduría en esta etapa de mi vida. A mi hermano Alan por estar presente, brindándome su apoyo moral y compartiendo los altibajos de nuestras vidas.

A Dios, quien ha sido mi roca y mi fortaleza a lo largo de este viaje académico, dedico humildemente este proyecto. Que este trabajo sea un testimonio vivo de mi fe en Ti y de mi eterno agradecimiento por todas las bendiciones en mi vida.

Carlos Ander Ramirez Choque

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN ELABORADA EN BOLIVIA EN CAPA BASE, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Postulante: Carlos Ander Ramirez Choque, CI: 9861606 LP

Dirección: Z./Sopocachi, C./Muñoz Cornejo #2734, Ciudad de La Paz, Cel: 67338438

E – mail: fmr2and@gmail.com – cander3298@gmail.com

RESUMEN

El presente proyecto de grado tiene como objetivo principal, evaluar la capacidad de penetración de una emulsión asfáltica elaborada en Bolivia para riego de imprimación realizando un cotejo con asfalto diluido, aplicando el procedimiento del Texas Transportation Institute (TTI).

Los ensayos realizados se basan en las normas ASTM y AASHTO, tanto para el estudio de suelos y asfaltos. Donde la emulsión asfáltica EBCI y el diluido MC-30, cumplieron con los parámetros establecidos para su aplicación en campo. Luego se elaboraron las capas base de tipo abierta y cerrada, en moldes de 4 pulgadas de diámetro y 20 centímetros de altura, para ambos tipos de base se compactará el suelo en 5 capas a 25 golpes cada una con el martillo de compactación, no sin antes realizando la separación con una placa de aluminio y regando los 2 imprimantes a una altura de 40 cm.

Al finalizar el tiempo de secado de los imprimantes, a los dos días, se realizó las respectivas mediciones de los valores de penetración registrados, de cada uno de los parámetros en estudio que se hicieron variar, los cuales fueron: el porcentaje de contenido de humedad óptimo, el tipo de limpieza superficial y el volumen de riego en cada uno de los imprimantes. Se obtuvieron valores de penetración desde los 0 mm, en el peor de los casos, hasta los 18 mm., mejorando considerablemente las condiciones en que se rego los imprimantes donde se cumplió y hasta supero el valor de aceptación de los 5 mm. de penetración como indica en las especificaciones de la ABC.

PALABRAS CLAVE: Asfalto, Emulsión, Diluido, Imprimación, Penetración, Capa Base.

**“COMPARATIVE EVALUATION OF THE PENETRATION CAPACITY OF AN
ASPHALT EMULSION FOR PRIME PRODUCED IN BOLIVIA IN BASE COAT, USING
THE TTI PROCEDURE”**

Applicant: Carlos Ander Ramirez Choque, CI: 9861606 LP

Address: Z./Sopocachi, St./Muñoz Cornejo #2734, La Paz City, Cell.: 67338438

E – mail: fmr2and@gmail.com – cander3298@gmail.com

ABSTRACT

The main objective of this degree project is to evaluate the penetration capacity of an asphalt emulsion produced in Bolivia for prime irrigation by comparing it with the diluted MC-30 asphalt applying the Texas Transportation Institute (TTI) procedure.

The tests carried out are based on ASTM and AASHTO standards, both for the study of soils and asphalts. Where the EBCI asphalt emulsion and the diluted MC-30 met the established parameters for its application in the field. Then the open and closed base layers were made, in molds 4 inches in diameter and 20 centimeters high. For both types of bases, the soil will be compacted in 5 layers at 25 blows each with the compaction hammer, not without before separating with an aluminum plate and placing the 2 printers at a height of 40 cm.

At the end of the drying time of the primers, two days later, the respective measurements of the recorded penetration values were made, of each of the parameters under study that were varied, which were: the percentage of moisture content optimal, the type of surface cleaning and the irrigation volume in each of the primers. Penetration values were obtained from 0 mm, in the worst case, up to 18 mm, considerably improving the conditions in which the primers were watered where the acceptance value of 5 mm was met and even exceeded. of penetration as indicated in the ABC specifications.

KEY WORD: Asphalt, Emulsion, Diluted, Prime, Penetration, Base Coat.

Índice General

| | |
|--|----|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| 1. ASPECTOS GENERALES..... | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Justificación General | 2 |
| 1.3. Fines | 2 |
| 1.4. Objetivos..... | 3 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 1.5. Alcances y Limitaciones..... | 3 |
| 1.6. Localización Física del Proyecto..... | 4 |
| 1.6.1. A Nivel Nacional | 4 |
| 1.6.2. A nivel Regional | 4 |
| 1.6.3. A Nivel Local | 5 |
| 1.7. Metodología..... | 5 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. Asfalto | 7 |
| 2.1.1. Emulsiones Asfálticas..... | 7 |
| 2.1.1.1. Campo de Aplicación de las Emulsiones Asfálticas..... | 8 |
| 2.1.2. Asfaltos Diluidos | 8 |
| 2.2. Riego de Imprimación | 8 |
| 2.2.1. Objetivos del Riego de Imprimación..... | 9 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.2. | Mecanismo de penetración de las imprimaciones | 10 |
| 2.2.3. | Problemas frecuentes por deficiencias en el riego de imprimación | 10 |
| 2.3. | Ensayos para la Caracterización del Asfalto Diluido MC-30..... | 13 |
| 2.3.1. | Viscosidad Saybolt Furol a 25°C: ASTM D88 – AASHTO T72 | 14 |
| 2.3.2. | Penetración a 100 gr. 5 seg. a 25°C: ASTM D5 – AASHTO T49..... | 14 |
| 2.3.3. | Destilación a 360°C: AASHTO T78 – ASTM D402..... | 14 |
| 2.3.4. | Ductilidad a 25°C, 5 cm/min: ASTM D113– AASHTO T51 | 15 |
| 2.3.5. | Determinación de la Densidad: ASTM D71 – AASHTO T229 | 15 |
| 2.3.6. | Punto de inflamación por Copa Abierta: AASHTO T79 – ASTM D92 | 16 |
| 2.3.7. | Ensayo de la Mancha: AASHTO T102 – ASTM D244..... | 16 |
| 2.4. | Ensayos para Caracterizar la Emulsión Asfáltica EBCI..... | 17 |
| 2.4.1. | Viscosidad Saybolt Furol a 25°C: AASHTO T72 – ASTM D244 | 17 |
| 2.4.2. | Hidrocarburos por destilación: ASTM D6997 – AASHTO T78 | 18 |
| 2.4.3. | Contenido de Agua por destilación: ASTM D6997 – AASHTO T55 | 18 |
| 2.4.4. | Tamizado en la malla 850 µm: ASTM D244 – AASHTO T59 | 19 |
| 2.4.5. | Residuo Asfáltico por evaporación: ASTM D6934 – AASHTO T179 | 19 |
| 2.4.6. | Ductilidad a 25°C, 5 cm/min: ASTM D113 – AASHTO T51 | 20 |
| 2.4.7. | Viscosidad a 60°C: ASTM D2171 – AASHTO T202 | 21 |
| 2.5. | Estudio de Suelos | 21 |
| 2.5.1. | Características Físico – Mecánicas del Suelo..... | 21 |
| 2.5.1.1. | Análisis Granulométrico: ASTM D422 – AASHTO T27 | 22 |
| 2.5.1.2. | Contenido de Humedad: ASTM D2216 – AASHTO T265..... | 23 |
| 2.5.1.3. | Lím. de Atterberg: AASHTO T89 y T90 – ASTM 423 y 424... .. | 24 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.5.1.4. | Clasificación de Suelo según AASHTO..... | 25 |
| 2.5.1.5. | Clasificación de Suelo según SUCS..... | 28 |
| 2.5.1.6. | Equivalente Arena: AASHTO T176 – ASTM D2419 | 29 |
| 2.5.1.7. | Desgaste de Los Ángeles: AASHTO T96 – ASTM C131..... | 30 |
| 2.5.1.8. | Proctor Modificado: AASHTO T180 – ASTM D1557 | 30 |
| 2.5.1.9. | CBR (California Bearing Ratio): AASHTO T193 – ASTM D1883 | |
| 31 | | |
| 2.6. | Desarrollo Experimental de Laboratorio por el TTI..... | 31 |
| 2.6.1. | Metodología del Ensayo | 31 |
| 2.6.2. | Preparación del material granular..... | 32 |
| 2.6.3. | Dosificación de Imprimantes..... | 33 |
| 2.6.4. | Medición de la Penetración | 33 |
| 3. | MARCO PRÁCTICO..... | 36 |
| 3.1. | Recolección de la Muestra de Suelo..... | 36 |
| 3.2. | Ensayos de la Muestra de Suelo | 37 |
| 3.2.1. | Contenido de Humedad | 37 |
| 3.2.2. | Granulometría por Tamizado..... | 39 |
| 3.2.3. | Límites de Atterberg | 42 |
| 3.2.4. | Clasificación por el Método AASHTO | 44 |
| 3.2.5. | Clasificación por el Método SUCS | 46 |
| 3.2.6. | Ensayo de Equivalente Arena..... | 47 |
| 3.2.7. | Ensayo de Desgaste de Los Ángeles | 48 |
| 3.2.8. | Ensayo de Compactación..... | 49 |

| | |
|--|----|
| 3.2.9. Ensayo de Relación Soporte California CBR..... | 53 |
| 3.3. Caracterización de los Asfaltos Líquidos | 55 |
| 3.3.1. Caracterización del Asfalto Diluido MC-30..... | 56 |
| 3.3.1.1. Ensayo 1: Determinación de la Densidad | 56 |
| 3.3.1.2. Ensayo 2: Viscosidad Saybolt Furol a 25°C..... | 58 |
| 3.3.1.3. Ensayo 3: Destilación a 360 °C (por la altura a 340°C)..... | 60 |
| 3.3.1.4. Ensayo 4: Penetración a 100 gr. 5 seg. a 25°C..... | 62 |
| 3.3.1.5. Ensayo 5: Determinación de ductilidad | 64 |
| 3.3.1.6. Ensayo 6: Ensayo de punto de inflamación | 66 |
| 3.3.1.7. Ensayo 7: Ensayo de la Mancha..... | 67 |
| 3.3.2. Caracterización de la Emulsión Asfáltica EBCI..... | 69 |
| 3.3.2.1. Ensayo 1: Viscosidad Saybolt Furol a 25°C..... | 69 |
| 3.3.2.2. Ensayo 2: Contenido de hidrocarburos por destilación..... | 71 |
| 3.3.2.3. Ensayo 3: Contenido de agua por destilación | 72 |
| 3.3.2.4. Ensayo 4: Tamizado a 850 µm | 72 |
| 3.3.2.5. Ensayo 5: Contenido de Residuo por Evaporación..... | 74 |
| 3.3.2.6. Ensayo 6: Ductilidad a 25°C, 5 cm/min..... | 75 |
| 3.3.2.7. Ensayo 7: Viscosidad a 60°C | 76 |
| 3.4. Aplicación del Procedimiento desarrollado por el TTI | 79 |
| 3.4.1. Elaboración de la Capa Base Granular | 79 |
| 3.4.2. Dosificación de Imprimantes..... | 81 |
| 3.4.3. Medición de la Penetración | 86 |
| 3.5. Análisis de datos..... | 91 |

| | |
|---|-----|
| 3.6. Análisis económico | 97 |
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 102 |
| 4.1. Análisis del Estudio de Suelos | 102 |
| 4.2. Análisis del Asfalto Diluido MC – 30 | 110 |
| 4.3. Análisis de la Emulsión Asfáltica EBCI..... | 114 |
| 4.4. Análisis de Resultados del Procedimiento TTI | 118 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 121 |
| 5.1. Conclusiones..... | 121 |
| 5.2. Recomendaciones | 124 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA..... | 125 |
| ANEXOS | 127 |
| Planillas de Cálculo de Suelos | 128 |
| Planilla de Ensayo de Asfalto Diluido | 148 |
| Planilla de Precios Unitarios..... | 154 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Constante de tubos capilares | 21 |
| Tabla 2: Gradaciones recomendadas para capa base | 32 |
| Tabla 3: Resultados del contenido de humedad | 38 |
| Tabla 4: Resultados de granulometría - Pozo 1 | 41 |
| Tabla 5: Resultados de granulometría - Pozo 2 | 41 |
| Tabla 6: Resultados de límites de consistencia | 44 |
| Tabla 7: Clasificación por el método AASHTO | 45 |
| Tabla 8: Clasificación por el método SUCS | 47 |
| Tabla 9: Resultados % de Desgaste de los Ángeles | 49 |
| Tabla 10: Resultados del ensayo de compactación | 52 |
| Tabla 11: Resumen de resultados de CBR – Pozo 1 | 55 |
| Tabla 12: Ensayos de caracterización del diluido MC-30 | 56 |
| Tabla 13: Resultados de ensayo de destilación | 61 |
| Tabla 14: Resultados obtenidos del ensayo de penetración | 64 |
| Tabla 15: Valores de punto de inflamación y combustión | 67 |
| Tabla 16: Valores del ensayo de la mancha..... | 68 |
| Tabla 17: Ensayos de caracterización de emulsión asfáltica..... | 69 |
| Tabla 18: Medición de Penetración 1 – Barrido – Pozo 1 | 87 |
| Tabla 19: Medición de Penetración 2 – Barrido – Pozo 1 | 88 |
| Tabla 20: Medición de Penetración 3 – Barrido – Pozo 2 | 89 |
| Tabla 21: Medición de Penetración 4 – Barrido – Pozo 2 | 91 |
| Tabla 22: Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBC | 91 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23: Mediciones de penetración en Diluido – Barrido – CBC | 92 |
| Tabla 24: Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBA | 94 |
| Tabla 25 : Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBA | 95 |
| Tabla 26 : Resumen de costos con Emulsión Asfáltica..... | 101 |
| Tabla 27: Resumen de costos con Asfalto Diluido | 101 |
| Tabla 28: Especificaciones para capa base – “INVIAS” | 103 |
| Tabla 29: Resumen de granulometría y límites - Pozo 1 | 104 |
| Tabla 30: Resumen de granulometría y límites - Pozo 2 | 105 |
| Tabla 31: Resumen de clasificación por AASHTO - Pozo 1 | 107 |
| Tabla 32: Resumen de clasificación por AASHTO - Pozo 2 | 107 |
| Tabla 33: Resumen de clasificación por SUCS – Pozo 1 | 108 |
| Tabla 34: Resumen de clasificación por SUCS - Pozo 2 | 108 |
| Tabla 35: Análisis de resultados E.A. - Pozo 1 | 108 |
| Tabla 36: Análisis de resultados E.A. - Pozo 2 | 109 |
| Tabla 37: Análisis de resultados de desgaste - Pozo1 | 109 |
| Tabla 38: Análisis de resultados de desgaste - Pozo 2 | 109 |
| Tabla 39: Resumen de resultados de compactación - Pozo 1 | 110 |
| Tabla 40: Resumen de resultados de compactación - Pozo 2 | 110 |
| Tabla 41: Resumen de resultados de CBR..... | 110 |
| Tabla 42: Parámetros de aceptación para el diluido MC-30 | 111 |
| Tabla 43: Análisis de resultados de viscosidad | 112 |
| Tabla 44: Análisis de resultados de destilación..... | 112 |
| Tabla 45: Análisis de resultados de residuo de destilación | 112 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 46: Análisis de resultados de penetración | 113 |
| Tabla 47: Resumen de resultados de ductilidad | 113 |
| Tabla 48: Resumen de resultados de punto de inflamación | 114 |
| Tabla 49: Resumen de resultados ensayo de la mancha | 114 |
| Tabla 50: Especificaciones técnicas emulsión “EBCI” | 115 |
| Tabla 51: Análisis de resultados de viscosidad Saybolt..... | 115 |
| Tabla 52: Análisis de resultados de residuo por evaporación | 116 |
| Tabla 53: Análisis de resultados de hidrocarburos por destilación | 116 |
| Tabla 54: Análisis de resultados de contenido de agua..... | 117 |
| Tabla 55: Resumen de resultados de tamizado | 117 |
| Tabla 56: Resumen de resultados de ductilidad..... | 118 |
| Tabla 57: Resumen de resultados de viscosidad por capilaridad | 118 |

Índice de Imágenes

| | |
|---|----|
| Imagen 1: Mapa de Bolivia-Ciudad de La Paz | 5 |
| Imagen 2: Esquema de procedimiento de Proyecto de Grado | 6 |
| Imagen 3: Aplicación de Riego de Imprimación | 9 |
| Imagen 4: Delaminación de la Capa Superficial..... | 11 |
| Imagen 5: Esquema de esfuerzo de tensión y corte | 12 |
| Imagen 6: Deslizamiento o corrimiento en el pavimento | 12 |
| Imagen 7: Excesiva aplicación de riego de imprimación | 13 |
| Imagen 8: Tipos de curvas granulométricas..... | 23 |
| Imagen 9: Localización relativa de límites de humedad..... | 24 |
| Imagen 10: Sistema de clasificación AASHTO | 27 |

| | |
|--|----|
| Imagen 11: Sistema de clasificación SUCS | 29 |
| Imagen 12: Esquema de elaboración de probetas – Base Cerrada..... | 34 |
| Imagen 13: Esquema de elaboración de probetas – Base Abierta | 35 |

Índice de Fotografías

| | |
|---|----|
| Fotografía 1: Muestra y pesaje de material húmedo | 37 |
| Fotografía 2: Colocado de muestra en horno | 38 |
| Fotografía 3: División de material fino y grueso | 39 |
| Fotografía 4: Pesaje y lavado de material fino..... | 40 |
| Fotografía 5: Tamizado de material fino con tamiz No 40 | 42 |
| Fotografía 6: Preparado de muestra en el equipo de Casagrande | 43 |
| Fotografía 7: Colocado de muestra y esferas de acero | 48 |
| Fotografía 8: Compactación de muestra de suelo | 50 |
| Fotografía 9: Enrasado y pesaje de suelo..... | 50 |
| Fotografía 10: Desmolde y pesaje para contenido de humedad | 51 |
| Fotografía 11: Compactación de la muestra de suelo | 53 |
| Fotografía 12: Lectura con extensómetro de las muestras..... | 54 |
| Fotografía 13: Ensayo de penetración..... | 54 |
| Fotografía 14: Pesaje con agua destilada para el baño de agua | 57 |
| Fotografía 15: Vaciado de la muestra en el equipo | 59 |
| Fotografía 16: Lectura de cronómetro de viscosidad Saybolt | 59 |
| Fotografía 17: Armado de equipo para la destilación | 60 |
| Fotografía 18: Obtención de contenido de disolventes..... | 61 |
| Fotografía 19: Eliminación de burbujas de aire con fuego | 63 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 20: Ensayo de muestras en el penetrómetro | 63 |
| Fotografía 21: Preparación de moldes de ductilidad..... | 65 |
| Fotografía 22: Ejecución del ensayo de ductilidad | 65 |
| Fotografía 23: Ejecución del ensayo de pto. de inflamación | 66 |
| Fotografía 24: Colocado de muestras en baño de agua..... | 68 |
| Fotografía 25: Ensayo en el papel filtro del residuo | 68 |
| Fotografía 26: Vaciado de muestras en el equipo | 70 |
| Fotografía 27: Tamizado de la muestra..... | 73 |
| Fotografía 28: Colocado de muestra al horno..... | 74 |
| Fotografía 29: Enrasado y colocado en baño de agua..... | 75 |
| Fotografía 30: Ejecución del ensayo de ductilidad..... | 76 |
| Fotografía 31: Ejecución del ensayo de viscosidad a 60°C | 77 |
| Fotografía 32: Compensación de los pozos de suelo seleccionados..... | 79 |
| Fotografía 33: Mezcla de material granular con agua | 80 |
| Fotografía 34: Compactación de los distintos pozos (material cerrado y abierto) | 80 |
| Fotografía 35: Limpieza de la superficie con cepillo..... | 80 |
| Fotografía 36: Vaciado de los imprimantes a las probetas..... | 81 |
| Fotografía 37: 3 Dotaciones – % Humedad óptima – Pozo 1 – Día inicial | 82 |
| Fotografía 38: 3 Dotaciones – % Humedad óptima – Barrido – Pozo 1 – Día 2..... | 82 |
| Fotografía 39: 3 Dotaciones – % Humedad óptimo – Barrido – Pozo 1 – Día 7..... | 82 |
| Fotografía 40: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia inicial | 83 |
| Fotografía 41: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia 2 | 83 |
| Fotografía 42: 3 Dotaciones – %Hum_Óptima – Barrido – Dia inicial | 84 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | |
|--|----|
| Fotografía 43: 3 Dotaciones – %Hum_Óptima – Barrido – Dia 2 | 84 |
| Fotografía 44: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia inicial | 85 |
| Fotografía 45: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia 1 | 85 |
| Fotografía 46: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia 2 | 85 |
| Fotografía 47: Medición de penetración – Pozo 1 – 0,8 Litro/m ² - %Hum_Óptima..... | 86 |
| Fotografía 48: Medición de penetración – Pozo 1 – 1 Litro/m ² - %Hum_Óptima..... | 86 |
| Fotografía 49: Medición de penetración – Pozo 1 – 1,2 Litro/m ² - % Hum_Óptima | 86 |
| Fotografía 50: Medición de penetración – Pozo 1 – 0,8 Litro/m ² - -2% Hum_Óptima ... | 87 |
| Fotografía 51: Medición de penetración – Pozo 1 – 1 Litro/m ² - -2% Hum.Óptima | 87 |
| Fotografía 52: Medición de penetración – Pozo 1 – 1,2 Litro/m ² - -2% Hum.Óptima | 88 |
| Fotografía 53: Medición de penetración – Pozo 2 – 0,8 Litro/m ² - %Hum_Óptima..... | 88 |
| Fotografía 54: Medición de penetración – Pozo 2 – 1 Litro/m ² - %Hum_Óptima..... | 89 |
| Fotografía 55: Medición de penetración – Pozo 2 – 1.2 Litro/m ² - %Hum_Óptima..... | 89 |
| Fotografía 56: Medición de penetración – Pozo 2 – 0,8 Litro/m ² - -2%Hum_Óptima | 90 |
| Fotografía 57: Medición de penetración – Pozo 2 – 1 Litro/m ² - -2% Hum_Óptima | 90 |
| Fotografía 58: Medición de penetración – Pozo 2 – 1,2 Litro/m ² - -2%Hum_Óptima | 90 |

Índice de Figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Curva granulométrica Pozo 1 | 41 |
| Figura 2: Curva de escurrimiento - pozo 1 | 43 |
| Figura 3: Curva de compactación Pozo 1 | 52 |
| Figura 4: Curva de densidad vs CBR..... | 55 |
| Figura 5: Histograma – Emulsión: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBC..... | 93 |
| Figura 6: Histograma – Diluido: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBC..... | 93 |
| Figura 7: Histograma con Hum_Óptima: Emulsión vs Diluido – CBC | 93 |
| Figura 8: Histograma con -2% Hum_Óptima: Emulsión vs Diluido – CBC..... | 94 |
| Figura 9 : Histograma – Emulsión: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBA | 95 |
| Figura 10: Histograma – Diluido: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBA..... | 96 |
| Figura 11: Histograma con Hum.Óptima: Emulsión vs Diluido – CBA | 96 |
| Figura 12: Histograma con -2%Hum_Óptima: Emulsión vs Diluido – CBA | 96 |
| Figura 13: Curva granulométrica representativa Pozo 1..... | 104 |
| Figura 14: Curva de escurrimiento representativa Pozo 1 | 105 |
| Figura 15: Curva granulométrica representativa Pozo 2..... | 106 |
| Figura 16: Curva de escurrimiento representativa Pozo 2 | 106 |

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

En los últimos años, se ha observado un aumento en la aplicación de emulsiones asfálticas en distintos proyectos carreteros y Bolivia no ha sido ajena a este avance tecnológico, sin embargo, en nuestro medio, dicho desarrollo ha adoptado un enfoque más cauto. Por otra parte, las imprimaciones asfálticas según Sapei y Gonzalez (2014), “Se han usado durante mucho tiempo los asfaltos diluidos del tipo endurecimiento medio, esto por razones del tipo ambiental y económico caen en desuso y son las emulsiones asfálticas las que están ocupando ese lugar, con resultados por demás alentadores”.

La utilización de riegos de imprimación es fundamental en la construcción y mantenimiento de carreteras. Su aplicación sirve como agente de unión entre la superficie existente y la nueva capa asfáltica, y añadiendo la implementación de la emulsión asfáltica como material imprimante, ofrecen una forma versátil y eficiente de aplicar revestimientos bituminosos en una variedad de condiciones, al ser mezclas estables de agua y asfalto.

La investigación permite dar un uso más frecuente en la aplicación de emulsiones asfálticas en riegos de imprimación como material en la construcción de vías y así tener una alternativa técnica, ambiental y económica, además del uso de asfalto diluido MC-30, el cual es común en la aplicación de este tipo de trabajos, que permitirá tener vías de mayor calidad optimizando la resistencia al desgaste y proporcionando una superficie segura y duradera para el tráfico vehicular, además de fomentar la adherencia entre la capa base y la capa asfáltica adyacente, preservar la base granular de las distintas condiciones climáticas durante la construcción de carreteras, impermeabilización de los poros superficiales de la base granular y ennegrecimiento de la base a través de la penetración de la emulsión.

1.2. Justificación General

El riego de imprimación tiene la función de penetrar en la superficie de la base granular, con el fin de cerrar los poros existentes, impermeabilizarla y ligar la capa base con la nueva capa asfáltica. En la práctica común, se suelen utilizar asfaltos diluidos, también llamados “Cut-backs”, para llevar a cabo este proceso. Los diluidos son ligantes obtenidos por incorporación a los betunes asfálticos de disolventes hidrocarbonados, procedentes de la destilación del petróleo, en contraposición, las emulsiones asfálticas son mezclas estables de asfalto, agua y un agente emulsionante que permite la dispersión del asfalto en forma de pequeñas gotas de agua y surgen como una alternativa de reemplazo a los asfaltos diluidos, dado que brindan diferentes ventajas. Estas incluyen una baja temperatura de aplicación siendo más amigable con el medio ambiente al evitar la emisión de gases contaminantes, la posibilidad de mezclarse con agregados húmedos y la eliminación de los riesgos de inflamación debido a que el disolvente es agua en lugar de los destilados de petróleo.

1.3. Fines

La finalidad del proyecto de grado es la de evaluar la penetración de la emulsión asfáltica elaborada en Bolivia en riegos de imprimación, realizando una comparación con el uso del asfalto diluido, donde el indicador de la penetración será visual, y este será ejecutado mediante el procedimiento de laboratorio descrito posteriormente.

La comparación entre la emulsión asfáltica EBCI y el diluido MC-30 en términos de su aplicación en la construcción y mantenimiento de carreteras ofrece una oportunidad crucial para evaluar y entender las ventajas y desventajas de cada material. Los resultados obtenidos contribuirán a afianzar a las emulsiones asfálticas como una alternativa viable y efectiva desde diferentes perspectivas tanto en el ámbito económico, de seguridad y ambiental.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad de penetración de la emulsión asfáltica para imprimación elaborada en Bolivia realizando un análisis comparativo con el asfalto diluido MC-30, mediante el procedimiento de laboratorio desarrollado por el “Texas Transportation Institute (TTI)”.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar la emulsión asfáltica que será empleada para el proyecto de grado.
- ❖ Caracterizar al asfalto diluido MC-30.
- ❖ Elaborar las distintas capas base recomendadas por las especificaciones de la ABC en la cual se realizará el regado de los imprimantes.
- ❖ Determinar la dosificación óptima de emulsión que se va a regar sobre la capa base granular, empleando distintos volúmenes del imprimante.
- ❖ Realizar un cotejo entre la emulsión asfáltica y el asfalto diluido, reportando los resultados de tiempos de penetración y profundidad alcanzada de parte de ambos bituminosos, donde la penetración será evaluada de manera visual.
- ❖ Efectuar un análisis económico para ambos imprimantes en evaluación.

1.5. Alcances y Limitaciones

Como se mencionó anteriormente, el objeto de estudio es evaluar la penetración de la emulsión asfáltica elaborada en Bolivia comparándola con el asfalto diluido sobre una capa base granular.

Los materiales a emplear para el desarrollo del procedimiento de laboratorio serán descritos a continuación: La capa base será diseñada con las especificaciones técnicas recomendadas por la ABC, donde se abordarán extremos de las gradaciones existentes (gradación A y F), en cuanto a

los imprimantes, el asfalto diluido será del tipo MC-30 y la emulsión asfáltica de tipo catiónica donde ambas serán proporcionadas por la empresa “SYNTEX ASPHALT SRL” ubicada en la ciudad de Santa Cruz. Y cabe recalcar que la emulsión asfáltica proporcionada es de uso exclusivo para riegos de imprimación.

Los materiales a caracterizar y equipos para desarrollar los distintos procedimientos de laboratorio serán realizados en el Instituto de Ensayo de Materiales de la UMSA, para la caracterización de los materiales, se usarán normativas nacionales e internacionales según corresponda, incluyendo el procedimiento del Texas Institute.

1.6. Localización Física del Proyecto

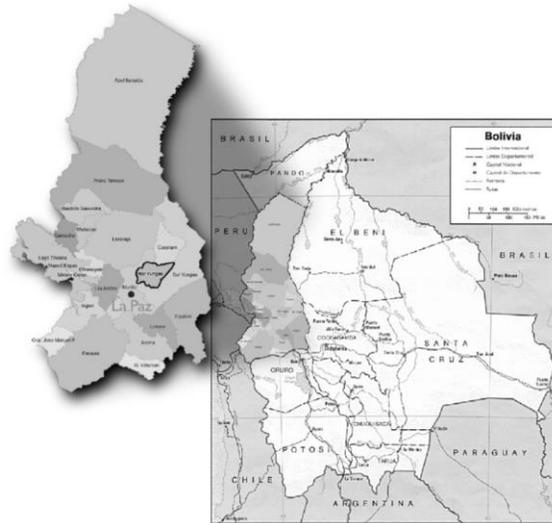
1.6.1. A Nivel Nacional

Bolivia está situada en el corazón de sud América, compartiendo fronteras con Brasil, Perú, Chile, Argentina y Paraguay, con una geografía diversa que incluye montañas, selvas tropicales y llanuras. Bolivia tiene una división política de 9 departamentos (La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Sucre, Tarija, Pando, Beni y Santa Cruz), dividida en tres regiones climáticas (Zona Andina, Sub – Andina y de los Llanos).

1.6.2. A nivel Regional

El departamento de La Paz cuenta con una superficie territorial de 133 985 km², (12,2% del territorio total de Bolivia), que a su vez se divide en 20 provincias y 82 municipios. Con una población estimada de 2 706 651 habitantes (censo 2012), es la segunda más poblada del país, una densidad de población de 20,20 habitantes/km². Está localizada al oeste del país y a 68 kilómetros del lago Titicaca. La Paz es la capital administrativa de Bolivia y se encuentran en la región occidental de país, en una zona rodeada de montañas.

Imagen 1: Mapa de Bolivia-Ciudad de La Paz



Fuente: “Researchgate.net” – Mapa de Bolivia, departamento de La Paz

1.6.3. A Nivel Local

La Paz es la ciudad sede de Gobierno de Bolivia, a una altitud de 3650 m.s.n.m., su nombre oficial es Nuestra Señora de La Paz y es el centro político, económico, social y cultural más importante de Bolivia. Además, que se encuentra en un valle rodeado de montañas, lo que conlleva que las carreteras que la conectan con otras partes del país a menudo implican rutas serpenteantes y empinadas debido al terreno irregular montañoso.

A pesar de la importancia de las carreteras, La paz aun enfrenta desafíos en términos de infraestructura vial, incluida la necesidad de mantener y mejorar las carreteras existentes, así como de construir nuevas vías para satisfacer as demandas de una población en crecimiento y una economía en desarrollo.

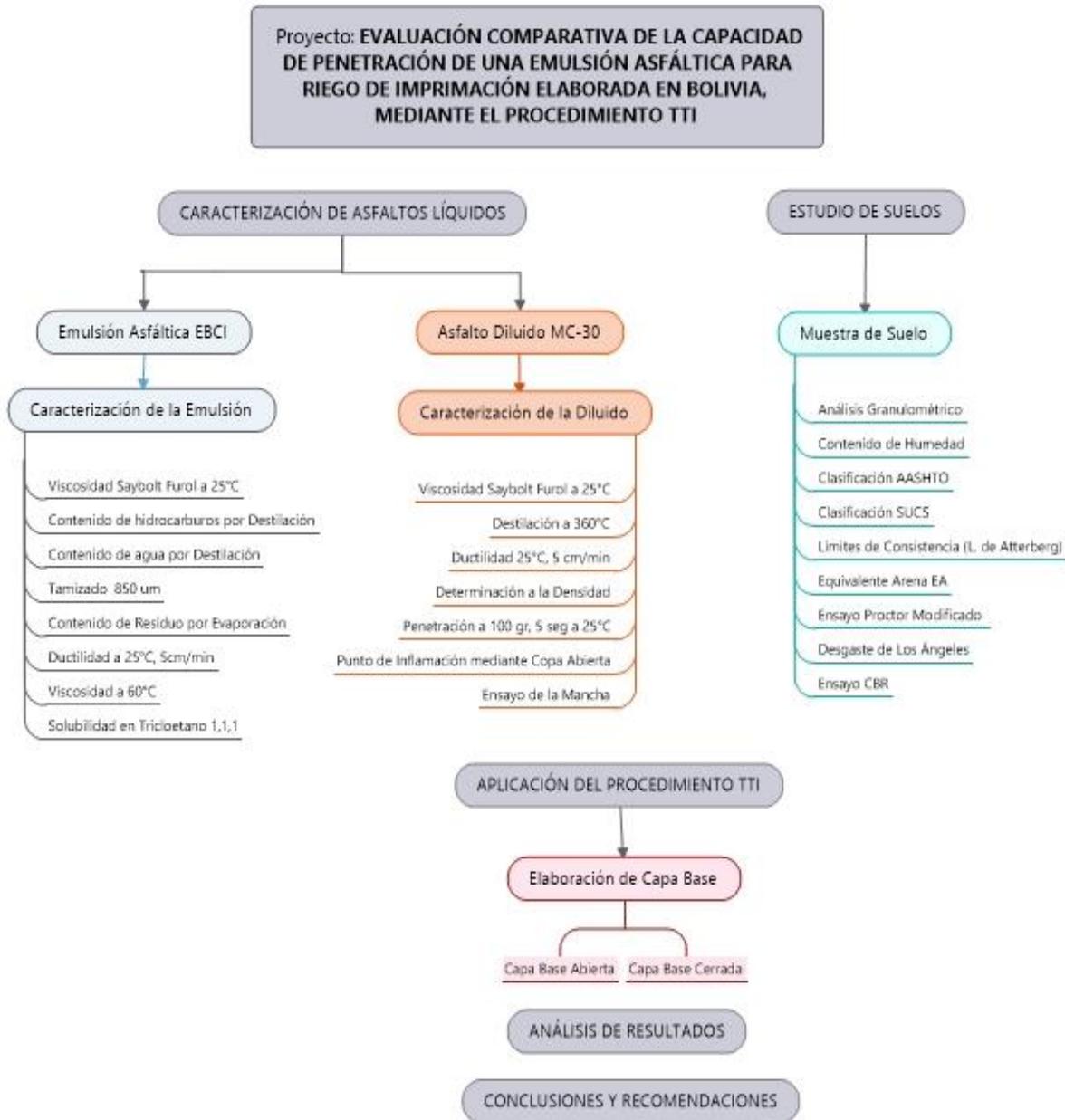
1.7. Metodología

La metodología a implementar en la investigación es del tipo experimental cuantitativa, donde se tendrán distintas variables a estudiar, la primera variable principal, es la de penetración de una emulsión asfáltica elaborada en Bolivia, luego, el segundo factor es la dosificación óptima

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

de aplicación de la emulsión en estudio, y como tercer factor es el análisis del uso de las capas bases, una abierta y otra cerrada. Estos factores en evaluación serán cotejados con la aplicación del asfalto diluido MC-30.

Imagen 2: Esquema de procedimiento de Proyecto de Grado



Fuente: Elaboración Propia

2. MARCO TEÓRICO

En Bolivia, se ha observado un incremento progresivo en la adopción de emulsiones asfálticas en proyectos de construcción de carreteras, a pesar de una introducción cuidadosa de esta tecnología. La transición desde los asfaltos diluidos de endurecimiento medio hacia la elaboración de emulsiones asfálticas específicas para el tratamiento en riegos de imprimación se atribuye principalmente a consideraciones ambientales, la eliminación de posibles riesgos de inflamación y la capacidad de mezcla con agregados húmedos. En este contexto, resulta imperativo abordar algunas definiciones fundamentales para el desarrollo del proyecto de grado.

2.1. Asfalto

De acuerdo a Velázquez (1962), define al asfalto como: “Es un material aglomerante de color pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo; o combinaciones de estos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.” (p. 28)

En resumen, el asfalto es un material versátil y ampliamente utilizado en la construcción y la industria, conocido por su durabilidad, resistencia y facilidad de aplicación. Sin embargo, su uso también plantea desafíos en términos de sostenibilidad y gestión ambiental que deben abordarse de manera responsable.

2.1.1. Emulsiones Asfálticas

Se llama emulsión asfáltica a un sistema compuesto de dos líquidos inmiscibles (que no pueden ser mezclados), de los que, uno se dispersa en el otro y se presenta en forma de gotas diminutas. Al primero se llama fase dispersa, y al segundo, fase continua. Para lograr emulsiones asfálticas estables es necesario introducir en el sistema un tercer componente, el emulgente, que

se concentra en la capa interfacial de ambos componentes, modificando las propiedades del conjunto y haciendo estable la emulsión.

2.1.1.1. Campo de Aplicación de las Emulsiones Asfálticas

Dado a la baja temperatura que se aplican las emulsiones asfálticas, se pueden enumerar algunos de los usos que se le puede llegar a dar:

- ❖ Riegos de imprimación.
- ❖ Riegos de liga.
- ❖ Tratamientos superficiales.
- ❖ Mezclas asfálticas en frío.
- ❖ Riegos de impregnación.
- ❖ Riegos negros con emulsión diluida.

2.1.2. Asfaltos Diluidos

Se define a los asfaltos fluidificados o cut-backs a “los productos obtenidos por incorporación a los betunes asfálticos de disolventes hidrocarbonados. Los disolventes incorporados deben de ser de naturaleza compatible con la del betún asfáltico para evitar que se produzca precipitación de asfáltenos”. (Velázquez, 1961, p.64)

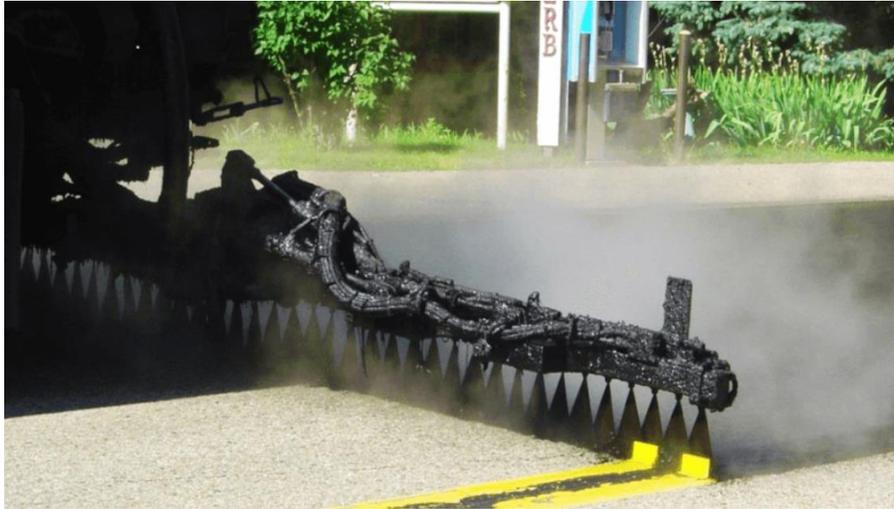
Existen 3 tipos diferentes de cut-back: de curado rápido (RC – Rapid Curing), medio (MC – Medium Curing) y lento (SC – Slow Curing). Los primeros pueden contener un disolvente de tipo gasolina, el segundo de keroseno, y el tercero de gas-oil.

2.2. Riego de Imprimación

Se define al riego de imprimación como “una aplicación de material bituminoso de baja viscosidad sobre una superficie absorbente. Dicho material debe ser diseñado para penetrar, adherir

y estabilizar la superficie existente, así como para promover la adhesión entre esta y la siguiente capa construida" (ASTM, 2004).

Imagen 3: Aplicación de Riego de Imprimación



Fuente: Emulsión asfáltica “Multinsa”

2.2.1. Objetivos del Riego de Imprimación

A continuación, se detallarán diversos objetivos que tiene la buena aplicación del riego de imprimación sobre el material granular, indicando algunas actividades importantes que conlleva la aplicación de este.

- ❖ Ennegrecer la superficie del material granular a través de la penetración de la emulsión.
- ❖ Impermeabilizar los poros superficiales de la base granular, aminorando la humedad en esta.
- ❖ Preservar a la base granular de las distintas condiciones climáticas y también del tráfico vehicular.
- ❖ Fomentar la buena adherencia entre la capa base granular y la capa asfáltica subsecuente.

2.2.2. Mecanismo de penetración de las imprimaciones

En la capa base granular, la función de estos asfaltos líquidos es la de penetrar por los poros existentes en el árido y formar una película para generar los objetivos anteriormente descritos.

En el caso de los asfaltos diluidos el mecanismo de penetración está en función de la viscosidad por tratarse de un fluido, es decir, que a medida que va siendo más viscoso, la penetración será menor. En cambio, para las emulsiones asfálticas el agua es la que penetra por los intersticios del árido, y una vez evaporada, los glóbulos de asfalto quedan inmersos.

De acuerdo a Ishai y Lvneh (2014) dan como conclusión que “las emulsiones pierden un 70% de agua en un día y 90% a los dos días, sin embargo, los diluidos pierden a los siete días entre 35 y 58% de disolvente, dependiendo del tipo de diluido”.

2.2.3. Problemas frecuentes por deficiencias en el riego de imprimación

En la estructura de pavimento se tienen distintas capas de mezcla asfáltica o sobre capas insertadas sobre losas de concreto hidráulico, requieren cierto grado de adherencia en la interfase de estas capas. Si en las capas asfálticas y losas de concreto anteriormente mencionadas llegasen a perder adherencia y se separan, la rigidez total de la estructura de pavimento decaerá, ocasionando el daño en el pavimento. Por lo tanto, los problemas y deficiencias en la aplicación del riego de imprimación más frecuentes si no existe una buena adherencia entre la capa base y la capa subyacente, son:

- Delaminaciones
- Grietas prematuras por fatiga
- Grietas por corrimiento
- Exudación
- Debilitamiento de la base

Delaminaciones: Consiste en la separación entre la capa superficial y la capa subyacente. Generalmente es causada por la insuficiente adherencia entre capas. En conclusión, si no se realiza la imprimación, la penetración del revestimiento continuo será menor y se reducirá claramente la adherencia mecánica de la misma, es decir, una buena imprimación colmatara los poros y aumentara significativamente la adherencia. Existen varias causas para la delaminación entre capas, las cuales pueden ser: Aplicación de las capas más allá del tiempo estipulado, la presencia de suciedad, agua contaminada de aceites o grasas y humedad entre capas.

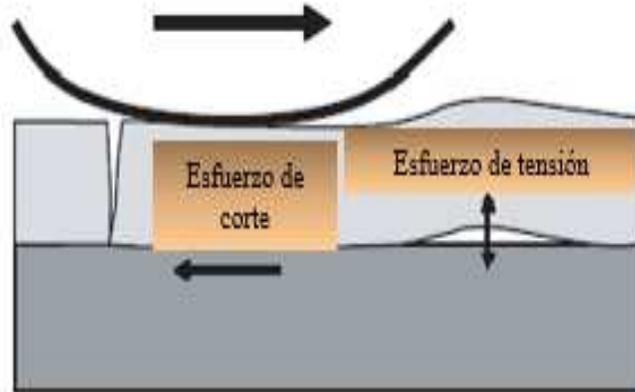
Imagen 4: Delaminación de la Capa Superficial



Fuente: Imagen tomada del documento “Optimization of tack coat for HMA Placement”

Grietas prematuras por fatiga: Una deficiente adherencia en la interfase entre capas de pavimento puede llevar a la formación de grietas transversales o longitudinales de arriba hacia abajo. La formación de este tipo de daños puede ser atribuido a una deficiente capacidad de resistir los esfuerzos de tensión y de corte provocados por las cargas de tráfico. Esta grieta va agrandándose con aplicación de numerosos ciclos de carga, hasta que finalmente la sección resistente del material no es capaz de soportar el esfuerzo y rompe de manera repentina (puede ser superficial o interna).

Imagen 5: Esquema de esfuerzo de tensión y corte



Fuente: Imagen tomada del documento “Optimization of tack coat for HMA Placement”

Deslizamientos o corrimientos: Es uno de los problemas más frecuentes si la aplicación durante los riegos de imprimación fue deficiente y los problemas relacionados son:

Aplicación del riego de imprimación y/o de liga sobre superficies sucias o polvosas.

Aplicación del riego de imprimación de manera no uniforme.

Riego de imprimación levantado por las llantas de los camiones que transportan la mezcla, en el momento de construcción.

Imagen 6: Deslizamiento o corrimiento en el pavimento



Fuente: Imagen tomada del documento “Optimization of tack coat for HMA Placement”

Exudación: Un deficiente control en la tasa de aplicación del material bituminoso (aplicación en exceso), provocara que luego de la aplicación se presentaran deficiencias a causa de la exudación en la superficie del pavimento.

Boquillas alineadas de manera incorrecta.

Inadecuada altura de la barra rociadora.

Inadecuada tasa de aplicación empleada en función del tipo de superficie existente.

Imagen 7: Excesiva aplicación de riego de imprimación



Fuente: Imagen tomada del documento “Optimization of tack coat for HMA Placement”

2.3. Ensayos para la Caracterización del Asfalto Diluido MC-30

Se empezará caracterizando al asfalto diluido. A continuación, los ensayos a realizar serán los siguiente:

- Viscosidad Saybolt Furol a 25°C
- Penetración a 100 gr, 5 seg, a 25°C
- Destilación a 360°C
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min
- Determinación de la densidad
- Punto de inflamación y combustión con la copa abierta TAG
- Ensayo de la Mancha

2.3.1. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C: ASTM D88 – AASHTO T72

Esta prueba tiene por objeto determinar la viscosidad Saybolt Furol del asfalto diluido a la temperatura de 25 °C, establecidas para realizar la prueba estándar.

La viscosidad Saybolt a 25°C es una medida de la fluidez de un líquido a una temperatura determinada. Se basa en el tiempo que tarda un volumen determinado de líquido en fluir a través de un viscosímetro. Las especificaciones de viscosidad para los asfaltos diluidos varían de acuerdo según las necesidades del proceso de aplicación y las propiedades requeridas de su aplicación.

La viscosidad Saybolt de la muestra es el tiempo, en segundos. Anotar la temperatura de ensayo en grados centígrados, la viscosidad en segundos con aproximación de 0.5 segundos para las viscosidades debajo de los 200 segundos.

2.3.2. Penetración a 100 gr. 5 seg. a 25°C: ASTM D5 – AASHTO T49

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración del asfalto diluido MC-30. Este ensayo se usa como medida de consistencia, para valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

La penetración de un betún asfáltico decrece a medida que su peso específico aumenta y endurece al crecer su peso específico, pero la ley que relaciona ambas características, donde varia para cada tipo de betún. Para la interpretación de resultados, los resultados de mayor valor indica que el material es más blando o tiene una mayor consistencia, en cambio resultados de menor valor son materiales más rígidos o tienen una menor consistencia.

2.3.3. Destilación a 360°C: AASHTO T78 – ASTM D402

Este ensayo sirve para determinar la destilación de productos asfálticos cortados. Este procedimiento mide la cantidad de constituyentes más volátiles del asfalto diluido. Aunque en el manual de especificaciones cita que las propiedades del residuo, después de la destilación, no son

necesariamente características del ligante asfáltico usado en la mezcla original, se usaran las características del residuo para realizar en estos otros ensayos importantes al caracterizar este asfalto diluido.

Los factores que influyen en el ensayo son el tipo de muestra a ensayar, donde la composición y las propiedades del líquido pueden influir en los resultados; las condiciones de destilación son el método, la velocidad de calentamiento y otros parámetros de destilación.

2.3.4. Ductilidad a 25°C, 5 cm/min: ASTM D113– AASHTO T51

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de esta manera se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas.

La muestra es colocada en un molde, preparado, introducida en un baño de agua y sometido a una tracción que produzca su alargamiento hasta la ruptura. El ensayo especifica realizar el ensayo a una temperatura de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y a una velocidad de $5 \text{ cm/min} \pm 5\%$. A otras temperaturas la velocidad, deberá ser especificada.

2.3.5. Determinación de la Densidad: ASTM D71 – AASHTO T229

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida.

La densidad es la masa o sea la cantidad de materia, por unidad de volumen, a una temperatura determinada. Si la materia es sólida, el volumen que se considera es el de la porción impermeable.

El peso específico es la relación entre la masa por unidad de volumen de material a temperatura determinada; y la masa por unidad de volumen de agua destilada.

Calcular la densidad del asfalto como:

$$\rho_b = \frac{C - A}{B - A} * \rho_w * 1000$$

Donde:

A: Masa del picnómetro limpio y seco con su tapa.

B: Masa del picnómetro después de realizada la prueba.

C: Masa del picnómetro finalizada la prueba.

ρ_b : Densidad del material asfáltico a la temperatura de ensayo

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensayo

2.3.6. Punto de inflamación por Copa Abierta: AASHTO T79 – ASTM D92

Este método describe la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos asfálticos cortados que tienen punto de inflamación menor que 93°C.

El punto encendido, es la menor temperatura en que se produce una llama libre, provocada por la inflamación de los vapores de la muestra, por el paso de una llama piloto. El punto de combustión, es la temperatura en que la muestra, después de la inflamación por el paso de la llama piloto, continúa quemándose por 5 segundos como mínimo. El servicio nacional de caminos recomienda un mínimo de 30 segundos para la determinación del punto de combustión.

2.3.7. Ensayo de la Mancha: AASHTO T102 – ASTM D244

A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivo, se le puede determinar su grado de positividad por medio del equivalente de Xileno. Y este será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta, el cual produce una mancha negativa para el material en cuestión.

Para este ensayo se toman 2 gr de cemento asfáltico y se prepara una mezcla de 0,2 ml de Xilol/Heptano en diversas proporciones. La muestra se coloca en un baño de agua en ebullición

hasta producir la disolución total del asfalto durante 15 minutos. Finalmente, se agita con una varilla y se deja caer una gota sobre un papel filtro y se observa la mancha que deja. Después de 5 minutos, examinar la mancha de papel filtro, si la gota forma una mancha circular café, con un sólido más oscuro o núcleo anular en el centro se reporta como positivo. Y si al contrario la gota forma una mancha circular uniforme de color café, el ensayo deberá concluirse como negativo.

2.4. Ensayos para Caracterizar la Emulsión Asfáltica EBCI

La lista de ensayos a realizar para la caracterización de la emulsión asfáltica EBCI, serán proporcionados por la empresa SYNTEX ASPHALT SRL, donde se tendrán las especificaciones técnicas para cumplir con los requisitos necesarios para su posterior aplicación en el riego de imprimación.

A continuación, se detallará el listado de los ensayos a realizar:

- Viscosidad Saybolt Furol a 25°C
- Contenido de Hidrocarburos de destilación
- Contenido de Agua de destilación
- Tamizado 850 μm
- Residuo asfáltico por evaporación:

Ductilidad a 25°C, 5cm/min

Viscosidad a 60°C

Solubilidad en tricloroetano

2.4.1. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C: AASHTO T72 – ASTM D244

Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C. La viscosidad de un cemento asfáltico a altas temperaturas, usualmente 135°C, se mide con viscosímetros capilares de

flujo inverso tales como el Zeifuchs descrito en ASTM D445. Sin embargo, a bajas temperaturas (60°C, por ejemplo) la viscosidad absoluta del cemento asfáltico se mide con viscosímetros capilares de vidrio del tipo al vacío. Los resultados serán reportados como el tiempo t expresado en segundos será la viscosidad Saybolt Furol a la temperatura de ensayo.

2.4.2. Hidrocarburos por destilación: ASTM D6997 – AASHTO T78

Este ensayo tiene como objetivo determinar el contenido de disolventes (aceite destilado) de la muestra de emulsión.

Los grados medio y rápido de las emulsiones catiónicas pueden incluir aceite en el destilado, cuya cantidad máxima está limitada por las especificaciones. El material destilado, se recibe en una probeta graduada, incluye tanto el agua como el aceite presente en la emulsión. Ya que estos dos materiales se separan, las cantidades de cada uno de ellos pueden determinarse directamente de la probeta graduada

Informar el aceite destilado (contenido de disolventes) como un porcentaje de volumen sobre el total de la emulsión.

$$\%A = \frac{V}{P_0} * 100$$

Donde:

$\%A$: Contenido de disolventes

V : Volumen de aceite registrado con una precisión de 0.5 ml

P_0 : Peso de la muestra

2.4.3. Contenido de Agua por destilación: ASTM D6997 – AASHTO T55

Este método de prueba cubre el procedimiento para determinar el contenido de agua de un asfalto emulsionado por destilación a reflujo usando una trampa de agua. Donde este ensayo mide

la cantidad de agua presente en el asfalto emulsionado, a diferencia del betún o del solvente de petróleo.

Donde los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio estarán dados por la siguiente ecuación y se medirá en porcentaje:

$$\text{Contenido de agua} = \frac{A}{B} * 100\%$$

Donde:

A: Volumen de agua en la trampa [ml]

B: Peso original de la muestra [gr]

2.4.4. Tamizado en la malla 850 μm : ASTM D244 – AASHTO T59

Esta prueba garantiza que el tamaño de los glóbulos en la emulsión es menor de 8 micras y que su finura es la adecuada para garantizar su comportamiento. Para facilitar la prueba se recomienda diluir las emulsiones que se van a probar a una relación de agua 1:1 en el caso de emulsiones medias y lentas, y para las emulsiones sería necesario diluir la muestra en estudio con una solución jabonosa. El resultado que se reportara se calcula de la siguiente manera:

$$\%E = \frac{P_r - P_t}{1000} * 100$$

Donde:

Pr: Peso de malla + tapa

Pt: Peso de malla + tapa (Luego de sacado de horno)

%E: Porcentaje de estabilidad

2.4.5. Residuo Asfáltico por evaporación: ASTM D6934 – AASHTO T179

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje, mediante evaporación en el horno. El residuo así obtenido tiende a dar valores de penetración y

ductilidad inferiores a los que se obtienen con el residuo de destilación, por ello en ciertos casos no pueden utilizarse esta prueba para determinar las propiedades mencionadas. Se pesará cierta cantidad de emulsionante en uno los vasos del precipitado, colocar estos en el horno a una temperatura de $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$, transcurrido el tiempo sacar del horno volver a homogeneizar y colocar nuevamente los vasos durante una hora más.

Calcular y reportar el contenido de residuo asfáltico de la emulsión utilizando la fórmula siguiente:

$$\%R = P_t - P_f$$

Donde:

$\%R$: Contenido de residuo asfáltico por evaporación %

P_t : Peso de vaso, agitador y la muestra de emulsión.

P_f : Peso de vaso, agitador y residuo.

2.4.6. Ductilidad a 25°C, 5 cm/min: ASTM D113 – AASHTO T51

El objetivo del ensayo es determinar la ductilidad del material bituminoso y verificar si cumple con las especificaciones. La ductilidad es la distancia en centímetros, en que un cuerpo de prueba de material bituminoso, en condiciones estándar, se rompe.

Determina el alargamiento máximo expresado en cm. que experimenta el betún al ser estirado en condiciones normalizadas a 25°C y una velocidad de 5 cm/min. El valor obtenido de ductilidad depende de la velocidad a que se produce el alargamiento, cuando mayor es la tendencia también a rotura es mayor. La muestra es colocada en un molde, preparado, e introducida en un baño de agua y sometido a una tracción que produzca su alargamiento hasta la ruptura. A no ser por otra indicación, se efectúa el ensayo a temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y la velocidad de 5 ± 0.25 cm/min. A otras temperaturas, la velocidad deberá ser especificada.

2.4.7. Viscosidad a 60°C: ASTM D2171 – AASHTO T202

Este método describe el procedimiento para determinar la viscosidad de la emulsión asfáltica por viscosímetros capilares de vacío a 60°C. Los datos obtenidos de los capilares del viscosímetro fueron de los modelos D594 y E546. Donde las constantes para ambos viscosímetros fueron extraídas de la hoja de calibración del fabricante y estos se verán reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 1: Constante de tubos capilares

| Contante K(h-H) | |
|--------------------------|--------------------------|
| Viscosímetro D594 | Viscosímetro E546 |
| 2,011 | 8,385 |
| 0,9793 | 4,134 |
| 0,6426 | --- |

Fuente: Elaboración Propia

2.5. Estudio de Suelos

El estudio de suelos es fundamental para la construcción de las carreteras, donde existen diferentes tipos de materiales en la zona de estudio. Determinar el tipo de suelo permite conocer las características físicas, químicas y mecánicas con las que cuenta el terreno en cuestión. También, se puede identificar la composición estratigráfica, que son las capas o estratos y los materiales que componen las mismas; incluso conocer si el terreno en estudio cuenta con nivel freático y conocer la capacidad portante y nivel de fundación.

2.5.1. Características Físico – Mecánicas del Suelo

Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de los usos a los que el hombre los sujeta. Y determinando las condiciones físico – mecánicas de

un suelo, establece, la capacidad portante, la rigidez, la resistencia, la capacidad de drenaje, plasticidad, etc.

Entre los estudios de suelos más frecuentes para conocer las características del material en estudio, se tienen los siguientes ensayos que podrán identificar distintas características y que cumplan las especificaciones de una capa base.

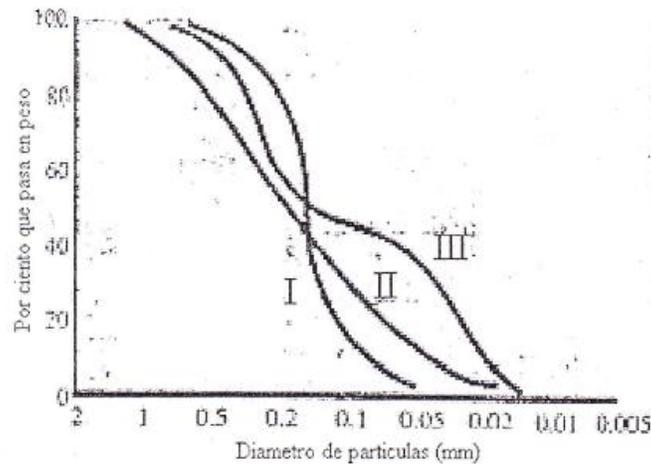
- Análisis Granulométrico de Suelos
- Determinación del contenido de Humedad
- Límites de Consistencia del Suelo (Límites de Atterberg)
- Clasificación de Suelos (AASHTO - SUCS)
- Equivalente Arena
- Desgaste de los Ángeles
- Proctor Modificado
- Ensayo CBR

2.5.1.1. Análisis Granulométrico: ASTM D422 – AASHTO T27

Este ensayo tiene como objetivo la terminación de la distribución del tamaño de partículas mayores a 0,075 mm por medio de un proceso de tamizado y el cálculo de los coeficientes de uniformidad C_u , y curvatura C_c , siempre y cuando sean aplicables.

En la determinación de la forma de distribución de las partículas de un suelo por su tamaño se llama análisis mecánico. Se efectúa mediante un proceso de cernido (análisis de tamices) para suelos de granos gruesos, y por un proceso de sedimentación en agua (análisis mecánico húmedo) para suelos de grano fino 0,075 mm. cuando ambos procesos se usan en la misma muestra, el ensayo se llama **análisis mecánico combinado**.

Imagen 8: Tipos de curvas granulométricas



Fuente: *Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos*

En la figura anterior, se muestra distintas curvas típicas de distribución granulométrica. Donde la Curva I representa un tipo de suelos en que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se llama suelo mal graduado. La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama bien graduado, un suelo bien graduado tiene un coeficiente de uniformidad mayor, de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura ente 1 y 3 (para gravas y arenas). Para la curva III representa tal suelo y se le llama de granulometría discontinua. Para el proceso de tamizado no provee información sobre la forma de los granos de suelos, si ellos son granulares o redondeados.

2.5.1.2. Contenido de Humedad: ASTM D2216 – AASHTO T265

Este ensayo tiene como propósito la determinación de la humedad de una muestra de suelo, donde la cantidad de agua es importante en suelos cohesivos y da una idea del estado húmedo natural del suelo.

El suelo debe secarse en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta obtener un peso constante; la norma también dice que un periodo en el horno de 12 a 16 horas, debería hacer que la muestra se encuentra en estado de peso constante.

El contenido de humedad viene dado por la siguiente relación matemática, y el resultado obtenido esta expresado en porcentaje:

$$w = \frac{w_w}{w_s} * 100\%$$

Donde:

w : Contenido de Humedad del Suelo %

w_w : Peso de agua del suelo [gr]

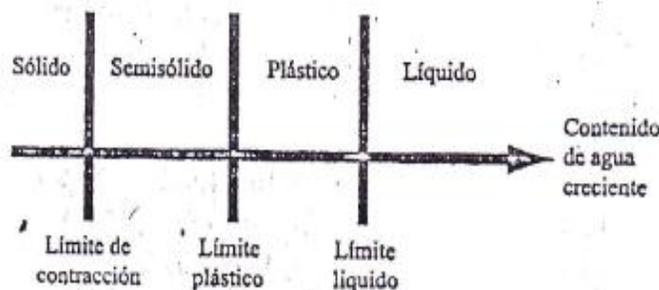
w_s : Peso del suelo seco [gr]

2.5.1.3. Lím. de Atterberg: AASHTO T89 y T90 – ASTM 423 y 424

El ensayo de límites de Atterberg describe el procedimiento para la determinación de los límites de consistencia de una muestra de suelo por medio de una serie de mediciones y procedimientos normalizados. Esta prueba sirve para la clasificación de los suelos finos y de esta manera es posible categorizar al suelo mediante la Clasificación Unificada de Suelos (S.U.C.S.).

Los límites líquido y plástico son solo dos de los 5 límites propuestos por Atterberg. Límite de cohesión: es el contenido de humedad con el cual los trozos de suelo son capaces de pegarse unos a otros; el límite de contracción: es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional del volumen o contracción en el suelo; y el límite de pegajosidad el cual indica cuando el suelo comienza a pegarse a superficies metálicas.

Imagen 9: Localización relativa de límites de humedad



Fuente: Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos

En la figura, se muestra la localización relativa de los límites de contracción (LC), plástico (LP) y líquido (LL) sobre la escala de contenido de humedad. Nótese que la localización de LC, puede llegar en algunos suelos a estar a la derecha de LP.

2.5.1.4. Clasificación de Suelo según AASHTO

El sistema AASHTO de clasificación de suelo, fue desarrollado en 1929 por el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). De acuerdo con este sistema, el suelo es clasificado en siete grupos principales, según su granulometría y plasticidad. Estando en función del porcentaje que pasa por los tamices No 200, No 40, No 10 y de los límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz No 40, basándose en los siguientes criterios:

- Tamaño del grano. Grava: Fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenido en el tamiz No 10 (2 mm). Arena: Fracción que pasa el tamiz No 10 (2mm) y es retenido por el tamiz No200 (0,075mm). Limo y arcillas: Fracción que pasa el tamiz No 200.
- Plasticidad: El termino limoso es aplicado cuando la fracción de finos del suelo tienen un índice de 10 o menor.
- Si se encuentra cascajo y canto rodado (tamaño mayor a 75 mm), estos son excluidos de la porción del amuestra de suelo de la cual se realiza la clasificación.

A – 1: Es un tipo de suelo bien graduado de gravas, arenas (grueso y fino) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo los tipos de suelo bien graduados de gravas y arenas sin finos.

A – 1 – a: Incluye suelos como gravas, con o sin material sino bien graduado.

A – 1 – b: Son suelos principalmente por arenas gruesas.

A – 2: Este tipo de suelos contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz No200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A – 1 y A – 3, por el porcentaje de finos o la plasticidad de estos suelos, están por encima de los límites fijados para este grupo.

A – 2 – 4 y A – 2 – 5: Estos subgrupos contienen un tipo de suelo de un 35% o menos de material que pasa por el tamiz No 200, y su fracción que pasa por el tamiz No 40 tiene las características de los grupos A – 4 y A – 5, de suelos limosos.

A – 2 – 6 y A – 2 – 7: Para estos subgrupos incluyen suelos que pasa máximo un 35% del tamiz No200, un índice de plasticidad mínimo de 11, y un índice de grupo máximo de 4.

A – 3: Corresponde a suelos compuestos por arena fina de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos, o con pequeñas cantidades de limo no plástico. De características que incluyen a depósitos fluviales de arena fina mal graduada con mínimas cantidades de arena gruesa o grava.

A – 4: Son suelos de tipo limoso no plástico o moderadamente plástico, que tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz No 200.

A – 5: Similar al tipo de suelo A – 4, salvo que tiene carácter diatomáceo o micáceo, y pueden llegar a ser compresibles, como indica su elevado límite líquido y corresponde a un tipo de suelo limoso.

A – 6: Es un suelo de tipo arcilloso plástico que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz No 200.

A – 7: Se dividen en dos subgrupos, y tiene características de un elevado límite líquido del grupo A – 5, llega a ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen, donde en general corresponde a un tipo de suelo arcilloso.

A – 7 – 5: Es un tipo de subgrupo en que los suelos tienen un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

A – 7 – 6: Similares al sub grupo A – 7 – 5, y se diferencia donde el índice de plasticidad será menor o mayor en relación con el límite líquido y este grupo corresponde al de los arcillosos.

Imagen 10: Sistema de clasificación AASHTO

| Clasificación General | Material Granular | | | | | | | Material limo arcillosos | | | | |
|--|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|---------|---------|------------|--------------------------|---------|-------------------|---------|--|
| | A-1 | | A-2 | | | | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | |
| | A-1a | A-1b | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | | A-7-5 | |
| Subgrupos | A-1a | A-1b | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7-6 | |
| % pasante | | | | | | | | | | | | |
| #10 | 50% máx | | | | | | | | | | | |
| #40 | 30% máx | 50% máx | | | | | 51% mín | | | | | |
| #200 | 15% máx | 25% máx | 35% máx | 35% máx | 35% máx | 35% máx | 10% máx | 36% mín | 36% mín | 36% mín | 36% mín | |
| Características del material que pasa por el tamiz #40 | | | | | | | | | | | | |
| LL | | | 40% máx | 41% mín | 40% máx | 41% mín | N.P. | 40% máx | 41% mín | 40% máx | 41% mín | |
| Ip | 6% máx | 6% máx | 10% máx | 10% máx | 11% mín | 11% mín | | 10% máx | 10% máx | 11% mín | 11% mín | |
| Ig | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 máx | 4 máx | 0 | 8 máx | 12 máx | 16 máx | 20 máx | |
| Tipo de material | Fragmentos pétreos de gravas y arenas | | Gravas y arenas, limosas y arcillosas | | | | Arena fina | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | | |

Fuente: Sedimentología – suelos

El cálculo del índice de IG, estará dado por la siguiente ecuación:

$$IG = (F_{200} - 35) * [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 * (F_{200} - 15) * (IP - 10)$$

De donde la fórmula matemática se modifica cuando el suelo en estudio corresponde en los grupos A – 2 – 6 y A – 2 – 7 y la ecuación queda simplificada mucho más y queda de la siguiente manera:

$$IG = 0.01 * (F_{200} - 15) * (IP - 10)$$

Donde:

IG: Índice de grupo

F₂₀₀: Porcentaje que pasa el tamiz No 200

LL: Limite Liquido

IP: Índice de plasticidad

2.5.1.5. Clasificación de Suelo según SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (USCS O SUCS) se basa en el sistema de clasificación desarrollado por el ing. Arthur Casagrande. Se hicieron algunas modificaciones para ser aprobado conjuntamente por distintas agencias del gobierno de USA en 1995, y posteriormente estandarizado como la norma ASTM D 2487 – 93.

Este sistema unificado se clasifica por un símbolo de dos letras: La primera letra considera que el principal componente del suelo y la segunda describe algunas características de la curva granulométrica o de su plasticidad.

Se utilizan los símbolos de acuerdo a las siguientes letras:

- G por grava (gravel)
- S por arena (sand)
- M por limo (silt)
- C por arcilla (clay)
- O por suelos orgánicos (organic soil)
- P por turba (peat soils)

Los suelos deben ser clasificados mediante un proceso de tamizado en el análisis granulométrico, donde serán clasificados como:

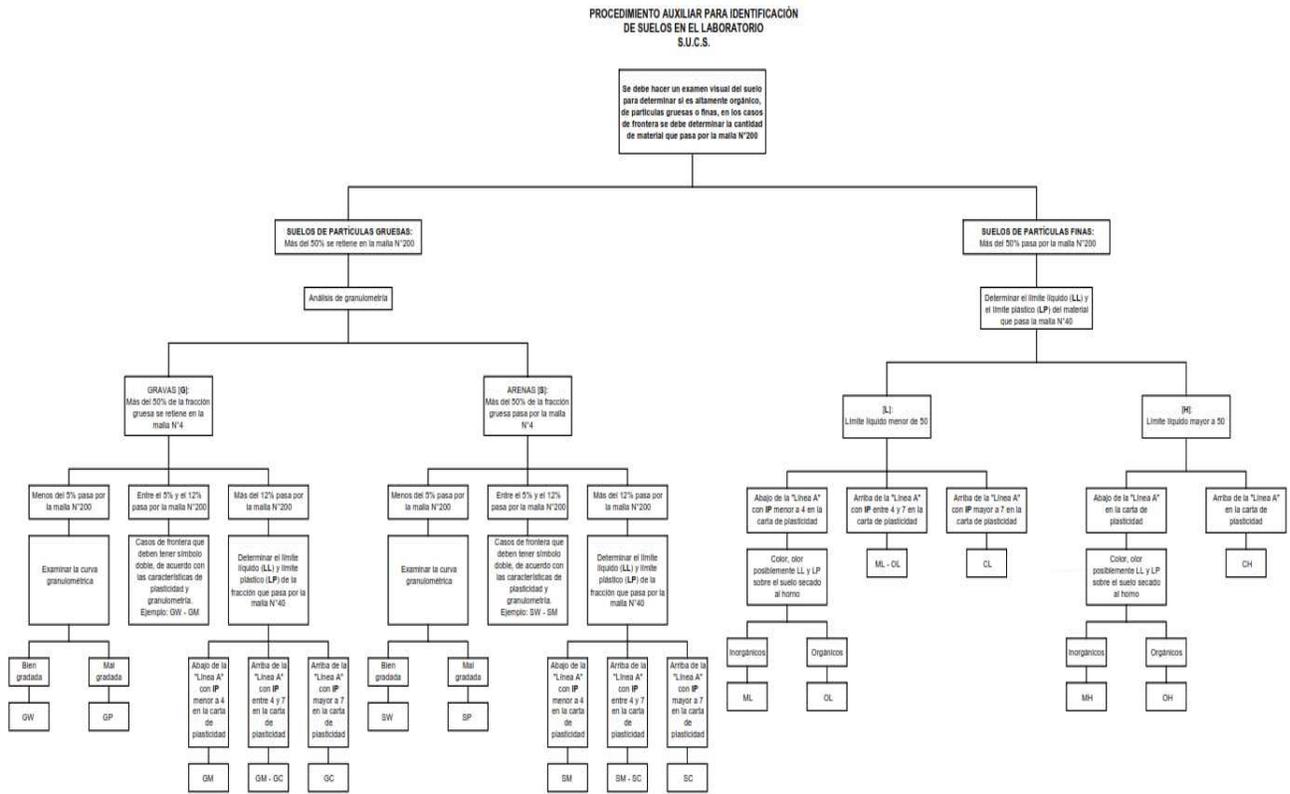
Suelo Grueso: Retenido en el tamiz No 200, incluye gravas y arenas.

Suelo Fino: Pasa a través del tamiz No 200, incluye arcillas, limos y materia orgánica.

A continuación, se mostrará un esquema del procedimiento que se debe seguir para poder clasificar mediante el método SUCS:

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Imagen 11: Sistema de clasificación SUCS



Fuente: Sedimentología – suelos

2.5.1.6. Equivalente Arena: AASHTO T176 – ASTM D2419

El objetivo del ensayo de equivalente arena es obtener el porcentaje de materiales finos indeseables que pasa el tamiz No 200, principalmente las arcillas que son materiales que en contacto con el agua provoca daños al pavimento en el caso de proyectos viales.

Debido a que una buena capa granular para cualquier proyecto de construcción necesita ser de buenos materiales, la cantidad de finos debe ser la menor posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de material fino que contienen los materiales que serán usados en la estructura de pavimento es la adecuada. La fórmula para determinar el E.A. será:

$$EA = \frac{\text{Lectura en Sedimento}}{\text{Lectura en Suspensión}} * 100\%$$

2.5.1.7. Desgaste de Los Ángeles: AASHTO T96 – ASTM C131

Otro parámetro de verificación para cumplir las características de una capa base, es el desgaste que tiene el material por causa de las condiciones de compactación o asentamientos que se presentan. El proceso consiste en tomar una muestra de 2500 ± 10 gr retenidos en los tamices de $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{1}{2}$ ” y $\frac{1}{2}$ ” – $\frac{3}{8}$ ” teniendo una muestra total de 5000 ± 25 gr que se meten en un tambor rotatorio de eje horizontal llamado la máquina de los ángeles con 11 esferas de acero y se deja dar 500 vueltas, para luego determinar el porcentaje de desgaste que tiene el material luego de haber realizado el ensayo de laboratorio.

Y para la determinación del porcentaje de desgaste, viene dado por la siguiente ecuación matemática:

$$\%Desgaste = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100\%$$

Donde:

%Desgaste: Porcentaje de desgaste.

P_i: Peso inicial en gramos.

P_f: Peso final después del ensayo.

2.5.1.8. Proctor Modificado: AASHTO T180 – ASTM D1557

Este ensayo tiene como objetivo determinar los parámetros principales de compactibilidad de una muestra de suelo, los cuales son: humedad óptima y la densidad seca máxima.

El ensayo de compactación se basa en el principio de que la densidad seca máxima de un suelo se puede lograr mediante una compactación adecuada con un contenido de humedad óptimo. Durante el ensayo, se varía el contenido de humedad de la muestra de suelo y se compacta utilizando un martillo estándar o modificado.

La curva de compactación se obtiene trazando la densidad seca versus el contenido de humedad para distintos ensayos. Esta curva muestra un pico, que representa la humedad óptima y la densidad seca máxima. La humedad óptima es el contenido de humedad en el cual se obtiene la máxima densidad seca, la cual es la que puede alcanzar el suelo bajo condiciones de compactación.

2.5.1.9. CBR (California Bearing Ratio): AASHTO T193 – ASTM D1883

El ensayo de CBR determina la relación entre la presión necesaria para penetrar un suelo con un penetrómetro estándar a una cierta profundidad y la presión requerida para penetrar un material de suelo bajo ciertas condiciones. El resultado se expresa como un porcentaje conocido como el índice de Soporte California.

Donde el CBR alto indica un suelo con buena resistencia al corte y capacidad de soporte de cargas y un CBR bajo demuestra un suelo con baja resistencia al corte. Donde los factores que intervienen son el tipo de suelo, la granulometría, plasticidad y composición mineralógica del suelo influyen en su resistencia al corte; el contenido de humedad del suelo tiene un impacto significativo en el CBR; y las condiciones de compactación, como la densidad y la energía de compactación afectan la resistencia al corte de la muestra estudiada.

$$CBR = \frac{Carga\ corregida}{Carga\ Normalizada} * 100$$

2.6.Desarrollo Experimental de Laboratorio por el TTI

2.6.1. Metodología del Ensayo

El procedimiento de laboratorio pretende representar distintas condiciones que se aplica en campo, teniéndolas como variables a considerar en el desarrollo del procedimiento TTI, de acuerdo a las características y exigencia de la capa base, así también de la cantidad de imprimante a regar, el contenido de humedad y el tipo de imprimante a utilizar: la emulsión asfáltica y el asfalto diluido.

2.6.2. Preparación del material granular

Con distinción al método habitual, se elaboró 2 capas base recomendadas por el Manual de Especificaciones Técnicas de la ABC (ver Tabla 2), donde se presentan el rango de gradaciones en que ambos pozos deben encajar su respectiva granulometría.

Para la construcción de la capa base, se empleó dos curvas granulométricas distintas. La primera corresponde a una capa base abierta con características similares a la gradación granulométrica de tipo A, mientras que la segunda representa una capa base cerrada con la gradación de tipo D. De esta manera se tomó dos situaciones totalmente diferentes y analizar el desempeño de la emulsión y el asfalto diluido, considerando ambas capas base como objetos de evaluación.

Para cada pozo se obtuvo un suelo compensado que pase el tamiz No $\frac{3}{4}$ y retenido en el tamiz No 4, luego con el contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación, en una batea y con ayuda de un badilejo se mezclará las muestras de suelo con agua hasta obtener un material homogéneo, previo cálculo de cantidad de agua, introducir la mezclas en moldes de 4 pulgadas de diámetro, compactar el suelo en 5 capas a 25 golpes cada una con el martillo de compactación. Cabe recalcar que una vez elaboradas las capas base se las raspara superficialmente a cada una y de esta manera limpiar todo el material suelto dejando la superficie sin polvo, simulando el paso de una motoniveladora.

Tabla 2: Gradaciones recomendadas para capa base

| Tamiz | Abertura | Porcentaje que pasan los tamices indicados | | | | | |
|-------|----------|--|---------|-----|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D | E | F |
| 2” | 50mm | 100 | 100 | --- | --- | --- | --- |
| 1” | 25mm | ---- | 75 – 95 | 100 | 100 | 100 | 100 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 3/8” | 9.5mm | 30 – 65 | 40 – 75 | 50 – 85 | 60 – 100 | --- | --- |
| N°4 | 4.75mm | 25 – 55 | 30 – 60 | 35 – 65 | 50 – 85 | 55 – 100 | 70 – 100 |
| N°10 | 2mm | 15 – 40 | 20 – 45 | 25 – 50 | 40 – 70 | 40 – 100 | 55 – 100 |
| N°40 | 0.420mm | 8 – 20 | 15 – 30 | 15 – 30 | 25 – 45 | 20 – 50 | 30 – 70 |
| N°200 | 0.075mm | 2 – 8 | 5 - 20 | 5 – 15 | 5 – 20 | 6 – 20 | 8 - 25 |

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas de ABC

2.6.3. Dosificación de Imprimantes

Como se mencionó en capítulos anteriores, se aplicó 2 tipos de imprimantes: Asfalto diluido MC-30 y la Emulsión Asfáltica EBCI, ambas dotadas por la empresa boliviana Syntex Asphalt SRL, con ambos imprimantes se regó a cada molde con volúmenes de dotación diferente.

Se dejó las probetas durante 48 horas para que los efectos de los imprimantes logren penetrar las distintas capas base. Concluido el tiempo de penetración se procederá a desmoldar las probetas, las mismas se cortarán en sentido perpendicular a la marca que dejo la cuchilla descrita en el anterior punto.

2.6.4. Medición de la Penetración

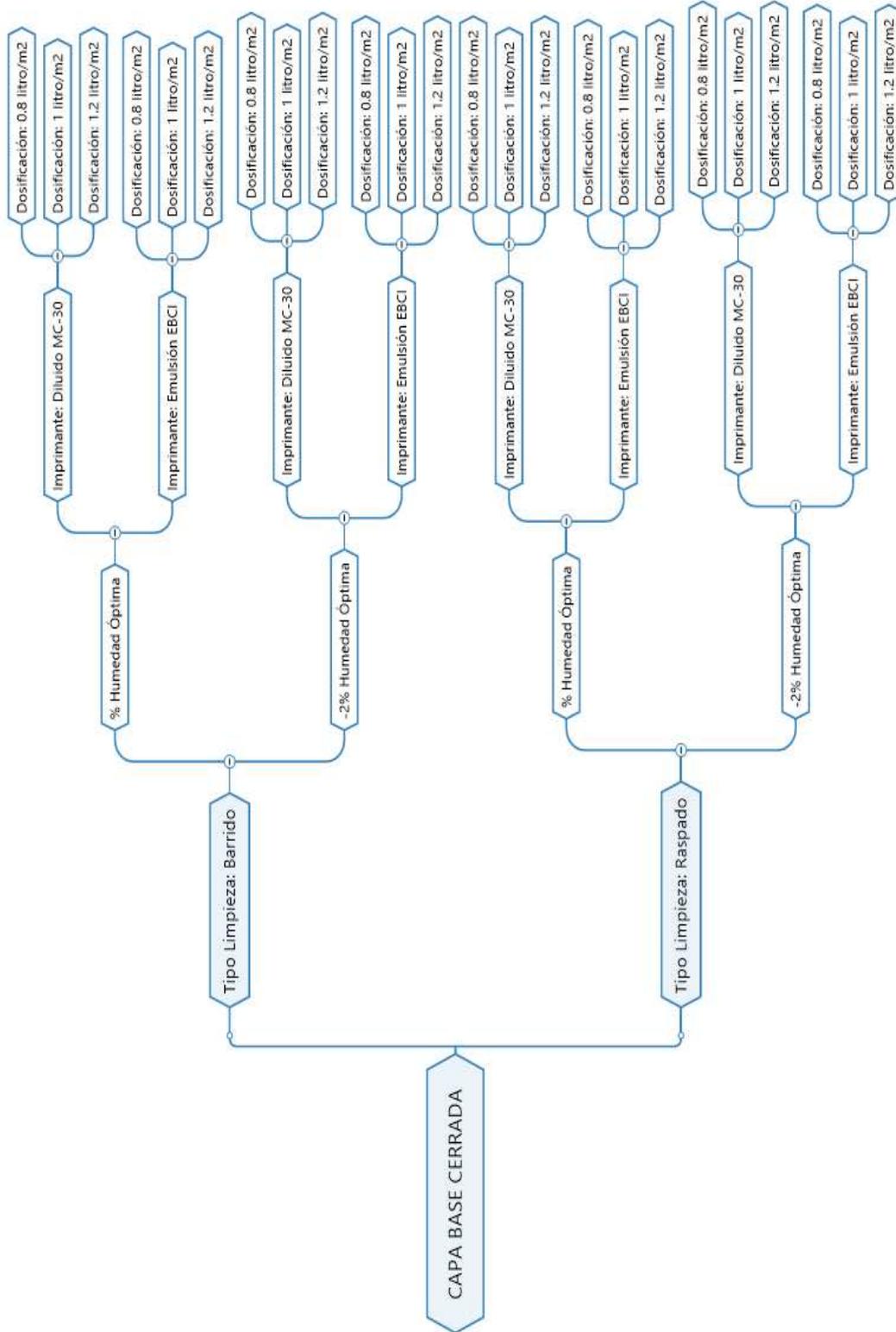
Luego de pasadas las 48 horas de penetración de los imprimantes y desmoldadas las probetas se procedió al corte de las mismas y se obtuvo los resultados de las mediciones de penetración para la emulsión asfáltica y el asfalto diluido, de las distintas capas base elaboradas y las dosificaciones de los imprimantes.

La penetración de cada uno de los imprimantes se midió con la ayuda de un vernier, y de esta manera se corroborará la profundidad de penetración mayor a los 5 mm, como indica en el manual de especificaciones de la ABC, como también en el método del TTI.

A continuación, se esquematizó los caminos a seguir para la evaluación de la penetración.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

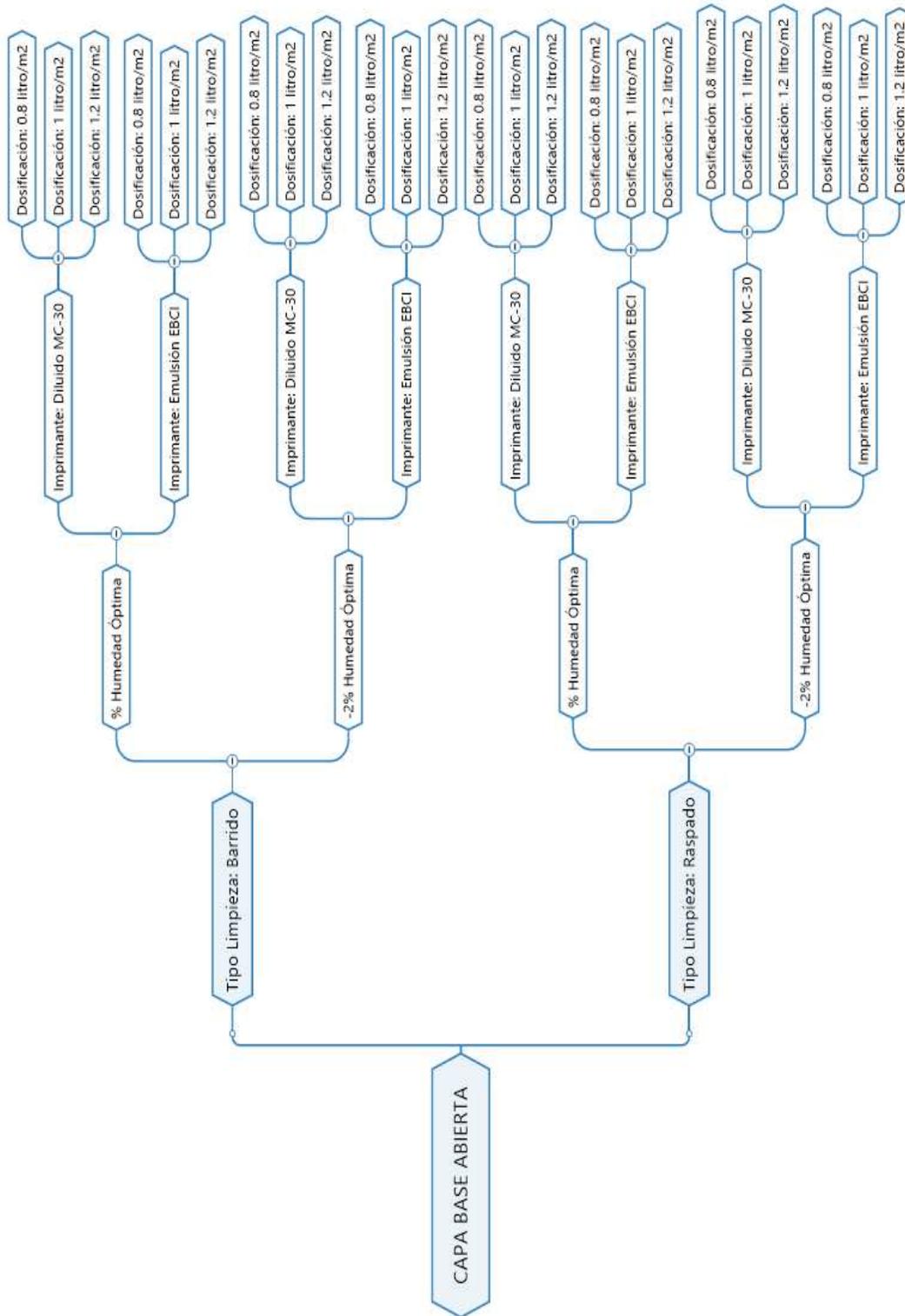
Imagen 12: Esquema de elaboración de probetas – Base Cerrada



Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Imagen 13: Esquema de elaboración de probetas – Base Abierta



Fuente: Elaboración Propia

3. MARCO PRÁCTICO

En la fase práctica del proyecto, se realizó una serie de pasos esenciales para obtener los resultados esperados, los cuales consisten en la recolección de los asfaltos líquidos junto con sus respectivas especificaciones, el diseño y la elaboración de la capa base granular, así como la determinación de la dosificación más óptima para la aplicación de la imprimación asfáltica. Por último, para evaluar la penetración de los asfaltos líquidos en cuestión, se realizó cortes en los moldes de ensayo y se midió las infiltraciones de la emulsión y del asfalto diluido. De esta manera, se podrá llevar a cabo una evaluación de la capacidad de penetración de estos tipos de imprimantes. Es importante destacar que todos los ensayos o procedimientos que se llevó a cabo en la ejecución del proyecto estarán sujetos a las normas (especificaciones) vigentes en el país, incluyendo el procedimiento desarrollado por el “Texas Transportation Institute (TTI)”.

3.1. Recolección de la Muestra de Suelo

Para garantizar la precisión de la muestra de suelo recolectada, es fundamental adherirse a las especificaciones de una capa base granular. Asimismo, se requiere la obtención de dos variedades de capas base: una abierta y otra cerrada. La selección cuidadosa de estas muestras es de suma importancia, ya que un muestreo exhaustivo y representativo desempeña un papel esencial, equiparable incluso al de los ensayos posteriores. Esto permitió asegurar que cumple con los parámetros necesarios para la ejecución exitosa del proyecto de grado. Dado que se requieren dos tipos distintos de suelo para el estudio, se procederá a tomar muestras de diferentes zonas. De esta manera, se extraerán tres especímenes de cada tipo de pozo, garantizando así un muestreo exhaustivo y altamente representativo de la variabilidad del suelo en el área de estudio.

El primer pozo está ubicado en el acceso al I.E.M. del campus universitario de Cota Cota.

Y el segundo pozo se obtuvo en cercanías del río Jilusaya.

3.2. Ensayos de la Muestra de Suelo

Los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras de suelo seleccionados se llevo a cabo en el Instituto de Ensayo de Materiales (IEM) en el laboratorio del área de Mecánica de Suelos, de la Facultad de Ingeniería de la UMSA, cumpliendo los procedimientos establecidos en las normas AASHTO y ASTM.

3.2.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad de un suelo es la relación existente, entre el peso del agua que contiene y el peso de las partículas sólidas que conforman una muestra de suelo.

Equipos y Materiales

- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza de 0,01 gr. de precisión.
- Contenedores para la muestra de suelo.

Procedimiento de Ensayo en Laboratorio

Tomar el número de tara del recipiente a usar, luego pesar y registrarlo con *Pt*. De una muestra representativa de suelo, pesar determinada cantidad de material y registrar el peso.

Fotografía 1: Muestra y pesaje de material húmedo



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Luego colocar el recipiente en el horno a 110°C y dejarlo en el horno entre 12 a 16 horas, pasado el tiempo requerido pesar la muestra y registrar su peso.

Fotografía 2: Colocado de muestra en horno



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Datos:

Peso de Tara + muestra húmeda: $W_{t+mh} = 1335,71 \text{ gr}$

Peso de Tara + muestra seca: $W_{t+ms} = 1286,16 \text{ gr}$

Peso de Tara: $W_t = 214,01 \text{ gr}$

Peso de Agua: $P_a = W_{t+mh} - W_{t+ms} = 1335,71 - 1286,16 = 49,55 \text{ gr}$

Peso de Muestra Seca: $P_s = W_{t+ms} - W_t = 1286,16 - 214,01 = 1072,15 \text{ gr}$

Contenido de humedad: $W_w = \frac{P_a}{P_s} = \frac{49,55}{1072,15} * 100 = 4,62 \%$

Tabla 3: Resultados del contenido de humedad

| Pozo No | Muestra | Contenido de Humedad |
|---------|---------|----------------------|
| 1 | 1 | 4,62 % |
| | 2 | 4,89 % |
| | 3 | 4,59 % |
| 2 | 1 | 2,57 % |
| | 2 | 2,46 % |
| | 3 | 2,66 % |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. *Granulometría por Tamizado*

Para la clasificación de una muestra de suelo, el ensayo más importante es el de granulometría (distribución de tamaños). Este ensayo se realizará mediante el tamizado basado en las normas ASTM D421–58 y D422–63, el cual especifica el método para determinar los diferentes tamaños de las partículas mayores al tamiz No 200 (0,075 mm) de un suelo, expresado en %.

Equipos y Materiales

- Juego de tamices:
Agregado Grueso: 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 3/8”, N°4 y N°10.
Agregado Fino: N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200.
- Balanza de 0.01 gr. de precisión.
- Horno de secado a una temperatura uniforme de 110°C.
- Equipo de manipuleo: Guantes, cucharas, guardapolvo y cepillos.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

De la muestra representativa, eliminar los terrones de tierra y colocarlo en el horno. Luego dividir está en material fino y material grueso mediante el tamiz No 10.

Fotografía 3: División de material fino y grueso



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Del material grueso, tamizar por el esqueleto de tamices, y clasificar por los pesos retenidos en cada tamiz, colocarlos en capsulas individuales y anotarlos su peso en la hoja de datos de

laboratorio. Luego para material fino, previamente separado, pesar 100 gramos y lavar hasta que el agua este cristalina y meterlo al horno.

Fotografía 4: Pesaje y lavado de material fino



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Tamizar en el esquelito para material fino y pesarlo en cada tamiz retenido.

Los cálculos son determinados mediante las siguientes formulas:

$$\%R_p = \frac{P}{P_s}, \quad \%R_t(i+1) = \%R_p + \%R_{ti}, \quad \%P_t(i+1) = 100 + \%R_{ti}(i+1)$$
$$\%P_m(i+1) = \%R_p + \%R_{ti}, \quad \%P_t = \frac{\%P_m * \%M_s}{100}, \quad \%M_s = \%P_t \text{ del tamiz No10}$$

Donde:

P : Peso retenido en cada tamiz.

P_s : Peso total de la muestra seca.

M_s : Peso seco de la muestra del mortero.

$\%R_p$: Porcentaje parcial retenido en cada tamiz respecto al total.

$\%R_t$: Porcentaje retenido acumulado en cada tamiz.

$\%P_t$: Porcentaje de agregado grueso.

$\%P_m$: Porcentaje de agregado fino.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 4: Resultados de granulometría - Pozo 1

| Muestra | Prof. [m] | Granulometría % que pasa | | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2” | 1 ½” | ¾” | 3/8” | No4 | No10 | No20 | No40 | No60 | No200 |
| 1 | 0,2 | 100 | 98,21 | 85,94 | 70,74 | 60,16 | 54,51 | 38,22 | 30,96 | 26,14 | 20,27 |
| 2 | 0,3 | 100 | 100 | 88,49 | 74,44 | 61,61 | 56,46 | 44,25 | 36,5 | 31,05 | 19,45 |
| 3 | 0,5 | 100 | 100 | 86,84 | 71,44 | 59,21 | 50,05 | 41,33 | 32,39 | 26,6 | 18,82 |

Fuente: Elaboración Propia

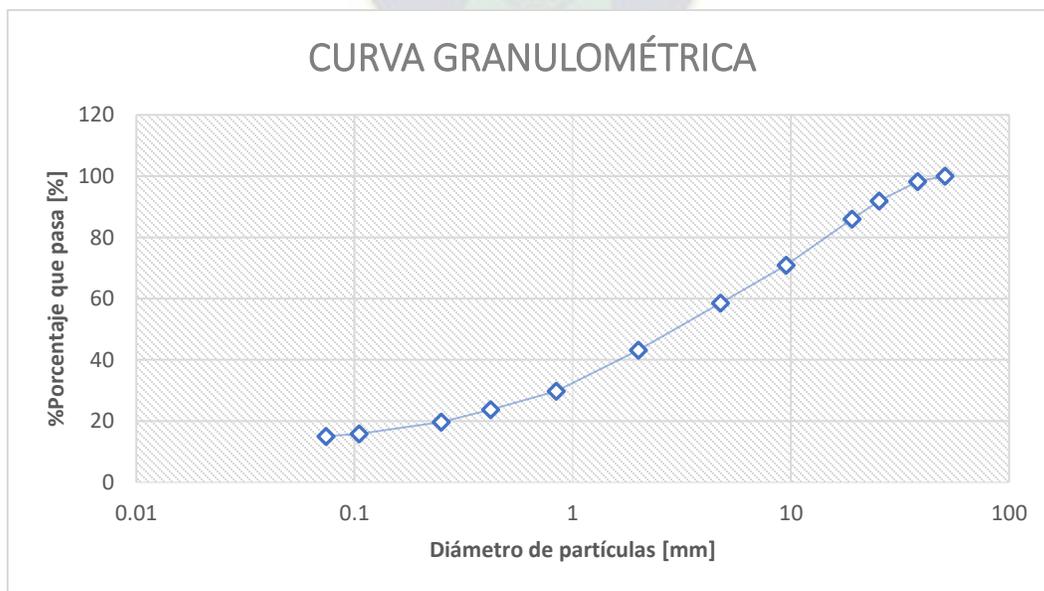
Tabla 5: Resultados de granulometría - Pozo 2

| Muestra | Prof. [m] | Granulometría % que pasa | | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2” | 1 ½” | ¾” | 3/8” | No4 | No10 | No20 | No40 | No60 | No200 |
| 1 | 0,2 | 100 | 96,53 | 81,05 | 63,71 | 47,40 | 31,68 | 20,77 | 15,46 | 7,30 | 3,53 |
| 2 | 0,3 | 100 | 97,02 | 82,67 | 66,32 | 49,52 | 35,64 | 20,05 | 14,05 | 6,32 | 3,75 |
| 3 | 0,5 | 100 | 96,03 | 8,69 | 63,31 | 46,91 | 30,93 | 21,09 | 15,75 | 27,17 | 5,9 |

Fuente: Elaboración Propia

El resultado es representado a través de la siguiente curva granulométrica:

Figura 1: Curva granulométrica Pozo 1



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3. Límites de Atterberg

Para la clasificación de suelos es necesario determinar los límites de Atterberg, los cuales permite obtener los límites de estado de la muestra de suelo en estudio, en función de grado de humedad, y de esta manera conocer el comportamiento geométrico del mismo ante posibles variaciones de humedad.

Equipos y Materiales

- Tamiz N°40.
- Placa de vidrio.
- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Ranurador ASTM.

Procedimiento de Ensayo en Laboratorio

De la división realizada en el ensayo de granulometría, en la parte de material fino, tamizar esta muestra por el tamiz No 40, y hacerlo hasta llegar aproximadamente a los 200 gr.

Fotografía 5: Tamizado de material fino con tamiz No 40



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Del material que pasa el tamiz No 40, tomar una pequeña muestra de suelo y mojarla con la perilla con agua. Y registrar los pesos de las muestras húmedas y también el de las capsulas donde se colocó el material.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Luego colocar las muestras de suelo en el equipo de Casagrande y realizar el ensayo para varios números de golpes, luego colocar en el horno a 110°C y dejarlo alrededor de 12 a 16 horas.

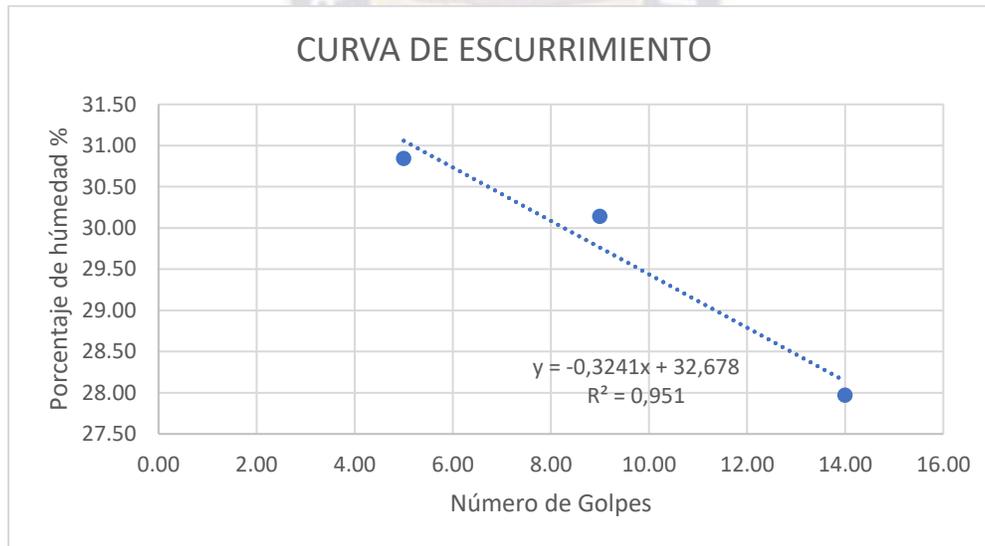
Fotografía 6: Preparado de muestra en el equipo de Casagrande



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Sacarlo del horno, dejarlo enfriar, luego pesar y registrar el valor de su peso.

Figura 2: Curva de escurrimiento - pozo 1



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentará los resultados obtenidos en la tabla, del ensayo de límites de Atterberg para los 2 distintos pozos y sus respectivas muestras.

Tabla 6: Resultados de límites de consistencia

| Pozo No | Muestra No | LÍMITES de CONSISTENCIA | | |
|------------|---------------|-------------------------|----------|-----------------------|
| | | Líquido | Plástico | Índice de Plasticidad |
| 1 | 1 | 25 | NP | NP |
| | 2 | 24 | NP | NP |
| | 3 | 25 | NP | NP |
| 2 | 1 | 20 | NP | NP |
| | 2 | 19 | NP | NP |
| | 3 | 18 | NP | NP |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Clasificación por el Método AASHTO

Para iniciar con la clasificación de por el método AASHTO, se debe tener los datos iniciales de los porcentajes que pasa en los tamices No 10, No 40 y No 200, y también los límites de consistencia como el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad. Se realizará el procedimiento de clasificación para una muestra de suelo.

Datos:

% que pasa Tamiz No 10 = 54,51 %

% que pasa Tamiz No 40 = 30,96 %

% que pasa Tamiz No 200 = 20,27 %

LL = 25

IP = NP

% que pasa Tamiz No 10 = 54,51 % \geq 50

% que pasa Tamiz No 40 = 30,96 % \leq 50 \rightarrow OK

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

$\% \text{ que pasa Tamiz No } 200 = 20,27 \% \leq 25 \rightarrow OK$

$LL = 25 \rightarrow NO \text{ HAY LIMITE} \rightarrow OK$

$IP = NP \leq 6 \rightarrow OK$

$IG = (15,03 - 35)[0,2 + 0,005(25 - 40)] + 0,01 * (15,03 - 15) * (0 - 10) = -2,50$

$IG = 0 = 0 \rightarrow OK$

Y cumpliendo con todos los parámetros de clasificación por el método AASHTO, corresponde a un suelo:

A - 1 - b: Tipo de suelo a fragmentos de piedra, grava y arena y su calidad es excelente.

Tabla 7: Clasificación por el método AASHTO

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo | Calidad |
|---------|------------|---------------|--|-------------------|
| | 1 | A - 1 - b | Fragmentos de Grava y arena fina | Excelente a Buena |
| 1 | 2 | A - 1 - b | Fragmentos de grava y arena fina | Excelente a Buena |
| | 3 | A - 1 - b | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |
| | 1 | A - 1 - a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |
| 2 | 2 | A - 1 - a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |
| | 3 | A - 1 - a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5. Clasificación por el Método SUCS

Luego con la clasificación SUCS, se necesitarán los porcentajes que pasan los tamices No 4 y No 200, y también los límites de consistencia como el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

Se realizará el procedimiento de clasificación para una muestra de suelo, y los demás serán presentados en una tabla resumen.

Datos:

% que pasa Tamiz No 4 = 60,16 %

% que pasa Tamiz No 200 = 20,27 %

Límite líquido: LL = 25

Índice de Plasticidad: IP = NP

Solución:

% que pasa Tamiz No 200 = 20,27 % < 50 → OK

% que pasa Tamiz No 4 = 60,16 > 50 → OK

% que pasa Tamiz No 200 = 20,27 % > 12 → OK

LL = 25 → NO HAY LIMITE → OK

El índice de plasticidad es no plástico, por lo que:

IP = NP ≤ 4 → OK

Y cumpliendo con todos los parámetros de clasificación por el método SUCS, corresponde a un suelo:

SM: Arena Limosa con Grava con poco plástico.

Tabla 8: Clasificación por el método SUCS

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo |
|---------|------------|---------------|--|
| 1 | 1 | SM | Arena limosa arenosa con poco plástico |
| | 2 | SM | Arena limosa arenosa con poco plástico |
| | 3 | SM | Arena limosa arenosa con poco plástico |
| 2 | 1 | GW | Grava limpia bien graduada |
| | 2 | GW | Grava limpia bien graduada |
| | 3 | GW | Grava limpia bien graduada |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6. Ensayo de Equivalente Arena

Este ensayo proporciona información importante sobre la durabilidad y calidad de los materiales pétreos usados en la construcción de una carretera.

Equipos y Materiales

- Probetas de acrílico de 38 cm de altura.
- Cápsulas de aluminio.
- Malla de tamiz No 4.
- Balanza de 0,01 gr. de precisión.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Agregar en la probeta solución de trabajo hasta la marca de 1 cm. Con un embudo se vacía 110 gr. de muestra seca y sacar las burbujas de aire. Con 10 minutos de reposo tapamos la probeta, agitamos en posición horizontal 90 ciclos en 30 segundos, a una distancia de 20 cm.

Luego introducir el irrigador haciendo girar de manera que las partículas estén en suspensión dentro del líquido, retirando el irrigador hasta alcanzar la marca de 15 pulgadas.

Por último, se introduce un pisón lentamente hasta que se detenga y con un pequeño giro tomaremos la lectura a la que se encuentra la arena.

3.2.7. *Ensayo de Desgaste de Los Ángeles*

El ensayo del desgaste de los Ángeles sirve para evaluar la resistencia al desgaste y a degradación de los áridos gruesos.

Equipos y Materiales

- Máquina de Desgaste de los Ángeles.
- Tamices de ¾”, ½” y 3/8”.
- 12 esferas de acero con masa de 5000 gr.
- Cronómetro de tiempo.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza con precisión de 0,1 gr. de peso, para muestras de más de 200 gr.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Elegir la muestra de suelo a ensayar, luego realizar el tamizado en los tamices especificados. Luego de realizado el tamizado de las muestras analizadas, pesar y registrar su valor, luego introducirlos en la máquina de los Ángeles y a su vez las esferas de acero, encender dicha maquina y dejarla hasta que pasen 500 revoluciones.

Fotografía 7: Colocado de muestra y esferas de acero



Fuente: Fotografía realizada del IEM

Luego de terminado el ensayo, sacar la muestra de suelo de la máquina, realizar el pesaje y registrar el valor obtenido. Se realizará el proceso de cálculo para la muestra 1 y del pozo No 1, y para los demás valores se presentará en la tabla subsiguiente.

Datos:

Peso inicial: $P_i = 2542,3 \text{ gr}$

Peso final: $P_f = 2478,47 \text{ gr}$

Solución:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100\% = \frac{2542,3 - 2478,47}{2542,3} = 19,9 \%$$

Tabla 9: Resultados % de Desgaste de los Ángeles

| Pozo | Muestra | % Desgaste |
|----------|---------|------------|
| No | No | % |
| 1 | 1 | 19,9 |
| | 2 | 22 |
| 2 | 1 | 15 |
| | 2 | 14 |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.8. Ensayo de Compactación

Se obtendrá la relación entre la densidad de suelo seco γ_d y $w\%$ de las muestras de suelos granulares en estudio, realizando la compactación en moldes por impacto de una masa de 10 libras, la cual también servirá para obtener el contenido de óptimo y con este valor poder elaborar las capas base y poder realizar el proyecto de grado.

Equipos y Materiales

- Balanza de 0,01 gr. de precisión.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

- Horno que mantenga la temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Moldes metálicos con martillo de compactación.
- Graduado de vidrio.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Preparar la muestra, tal que el material que retenga el tamiz $\frac{3}{4}$ y pesar, luego compensar con material que pase el tamiz $\frac{3}{4}$ y retenga el tamiz No 4 (gravas), tal que el peso sea aproximadamente 10 kg. Luego de homogeneizada la muestra ir colocando el suelo en el molde Proctor e ir compactando cada capa a 56 golpe, cuidando de hacerlo en toda la superficie.

Fotografía 8: Compactación de muestra de suelo



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del IEM

En la última capa enrasar el molde, pesar y registrar en la hoja de datos.

Fotografía 9: Enrasado y pesaje de suelo



Fuente: Fotografía realizada del IEM

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Por último, deshacer la muestra del molde y coger una pequeña parte del suelo y realizar el ensayo de contenido de humedad, también registrar el peso y meterlo al horno.

Fotografía 10: Desmolde y pesaje para contenido de humedad



Fuente: Fotografía extraída del IEM

Luego repetir el proceso aumentado volumen de agua a la mezcla de suelo, para completar los 5 moldes y poder graficar la curva de compactación. Luego se realizará la memoria de cálculo:

Datos:

$$\text{Suelo humedo} + \text{molde: } P_{h+m} = 10940,2 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del molde: } P_m = 6521 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen de la muestra: } V_m = 2133 \text{ gr}$$

$$\text{Peso suelo humedo} + \text{capsula: } P_{h+c} = 557,9 \text{ gr}$$

$$\text{Peso capsula: } P_c = 72,2 \text{ gr}$$

$$\text{Peso suelo humedo: } P_h = P_{h+m} - P_m = 10940,2 - 6521 = 4419,2 \text{ gr}$$

$$\text{Densidad suelo humedo: } D_h = \frac{P_h}{V_m} = \frac{4419,2}{2133} = 2,072 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso del agua: } P_a = P_{h+c} - P_c = 557,9 - 550,1 = 7,80 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de suelo seco: } P_s = P_{s+c} - P_c = 550,1 - 72,2 = 477,9 \text{ gr}$$

$$\text{Contenido de humedad: } \%w = \frac{P_a}{P_s} * 100\% = \frac{7,8}{477,9} * 100\% = 1,63 \%$$

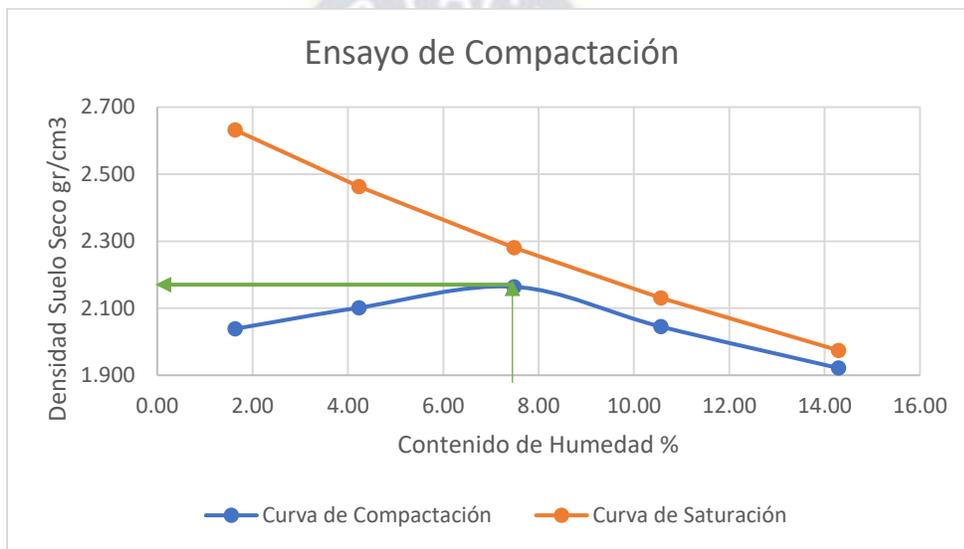
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

$$\text{Densidad suelo seco: } D_s = \frac{D_h}{1 + \%w} = \frac{2,072}{1 + \frac{1,63}{100}} = 2,039 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Saturación: } S = \frac{G_s + 1}{1 + G_s * \frac{\%w}{100}} = \frac{2,75 + 1}{1 + 2,75 * \frac{1,63}{100}} = 2,632$$

Para obtener el contenido óptimo de humedad, por análisis visual determinar este valor y también el de densidad de suelo seco, todo este proceso realizarlo con la curva de compactación.

Figura 3: Curva de compactación Pozo 1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Resultados del ensayo de compactación

| POZO | MUESTRA | HUMEDA OPTIMA | DENSIDAD MAXIMA |
|------|---------|---------------|--------------------|
| | | % | gr/cm ³ |
| 1 | 1 | 7,50 | 2,21 |
| | 2 | 7,56 | 2,23 |
| 2 | 1 | 6,6 | 2,24 |
| | 2 | 6,5 | 2,2 |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.9. *Ensayo de Relación Soporte California CBR*

El ensayo CBR, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de la estructura del pavimento. De esta manera se podrá evaluar a las muestras de suelo si son aptas para poder conformar la capa base granular y continuar con el proyecto.

Equipos y Materiales

- Balanza con precisión de 2 decimales.
- Moldes metálicos CBR.
- Martillo de compactación de 10 lb.
- Disco espaciador y perforador.
- Equipo de penetración con pistón.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Preparar la muestra, tal que el material que retenga el tamiz $\frac{3}{4}$ y pesar, luego compensar con material que pase el tamiz $\frac{3}{4}$ y retenga el tamiz No 4 (gravas), tal que el peso sea aproximadamente 20 kg. Añadir a la muestra de suelo, cierta cantidad de agua previamente calculada, con ayuda del ensayo de compactación en el contenido óptimo de humedad, luego mezclarlo hasta que quede muy bien homogeneizado.

Fotografía 11: Compactación de la muestra de suelo



“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Luego de terminado los golpes, registrar el peso y volumen de la muestra. También para cada molde hecho realizar el contenido de humedad. Luego dejarlos reposar en un baño de agua y realizar la primera lectura con el extensómetro hasta los 4 días después.

Fotografía 12: Lectura con extensómetro de las muestras



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Pasado los 4 días, retirarlos del baño de agua pesar la muestra después del baño y registrar la última lectura con el extensómetro. Luego realizar el ensayo de CBR, colocando cada molde en el aparato que muestra la figura, ajustarla colocando 2 contrapesos y luego empezar a correr el cronometro con el pistón, controlando que cada 30 segundos el reloj debe dar un cuarto de vuelta.

Fotografía 13: Ensayo de penetración



Fuente: Fotografía realizada del laboratorio del “IEM”

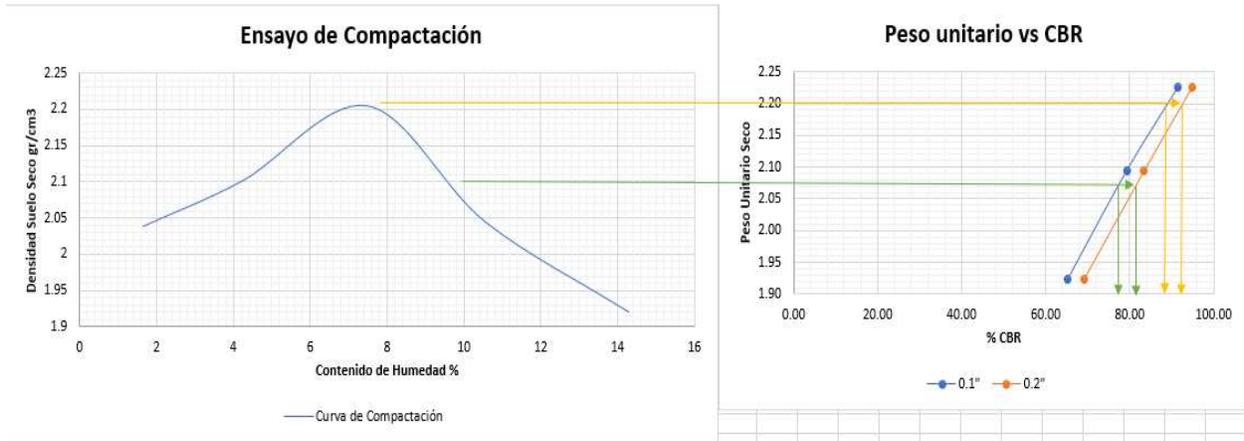
Luego de terminada esta prueba colocar una pequeña muestra de cada molde en el horno y realizar también el contenido de humedad.

Ahora se realizará el procedimiento para el cálculo del CBR para el pozo 1:

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Para realizar el grafico se extrajo del anterior capitulo la curva de compactación y luego de las curvas realizadas en el ensayo de C.B.R. los porcentajes. De esta manera colocando ambos gráficos uno al lado del otro se extraerá para el 100% y 95% los porcentajes de CBR.

Figura 4: Curva de densidad vs CBR



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Resumen de resultados de CBR – Pozo 1

| Pozo No | Muestra | CBR 100% | CBR 95% | CBR 100% | CBR 95% |
|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | No | 0.1'' | 0.1'' | 0.2'' | 0.2'' |
| 1 | 1 | 40 % | 35 % | 45 % | 40 % |
| | 2 | 45 % | 40 % | 48 % | 40 % |

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Caracterización de los Asfaltos Líquidos

Para seguir con el avance del trabajo es necesario caracterizar los asfaltos líquidos, es decir, la emulsión asfáltica y el asfalto diluido, en las siguientes tablas se expondrá los distintos ensayos de laboratorio para llevar a cabo la caracterización de las mismas y controlando que los valores obtenidos estén dentro los parámetros establecidos.

3.3.1. Caracterización del Asfalto Diluido MC-30

Para poder aplicar el asfalto diluido MC – 30 en el riego de imprimación se realizará la caracterización del mismo, realizando los ensayos de laboratorio descritos en la tabla No donde indican las unidades y las normas a seguir.

Tabla 12: Ensayos de caracterización del diluido MC-30

| ENSAYO | UNIDAD | NORMA |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Viscosidad Saybolt Furol a 25°C | Segundos | ASTM D 88, AASHTO T56 |
| Penetración a 100 gr, 5 seg, a 25°C | Mm | ASTM D 5, AASHTO T49-97 |
| Destilación a 360 °C | | ASTM D 402 |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min | % | ASTM D 113, AASHTO T51-00 |
| Densidad | Kg/m ³ | ASTM D 70, AASHTO T229-97 |
| Punto de inflamación | °C | ASTM D 92, AASHTO T48-04 |
| Ensayo de la mancha | - | ASTM D 36, AASHTO T53-96 |

Fuente: Elaboración propia

Y luego de realizados los ensayos, los resultados obtenidos deberán seguir algunos parámetros de aceptación indicados en la tabla de especificaciones indicados en el punto de análisis de resultados y de esta manera seguir con el proyecto de grado.

3.3.1.1. Ensayo 1: Determinación de la Densidad

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida, donde servirá como base para pasar al siguiente laboratorio de destilación.

Equipos y Materiales

- Picnómetro de 24 a 30 ml de capacidad.
- Balanza de 0,01 gr. de precisión.

- Baño de agua con temperatura regulable.
- Termómetro.

Procedimiento de Ensayo en Laboratorio

Pesar la masa del picnómetro seco y vacío, designarla con la letra A, para las tres pruebas.

$$A_1 = 49,83 \text{ gr}$$

$$A_2 = 48,88 \text{ gr}$$

$$A_3 = 50,15 \text{ gr}$$

Llenar con el agua destilada y pesar nuevamente y luego colocarlos en el baño de agua aproximadamente 30 minutos a 25°C, luego designar el pesaje con la letra B.

Fotografía 14: Pesaje con agua destilada para el baño de agua



Fuente: Fotografía realizada del laboratorio del “IEM”

$$B_1 = 83,33 \text{ gr}$$

$$B_2 = 82,19 \text{ gr}$$

$$B_3 = 81,15 \text{ gr}$$

Por último, luego de sacado del baño de agua a temperatura de ensayo, pesar la muestra y designarla con la letra C, a las tres pruebas de ensayo.

$$C_1 = 80,60 \text{ gr}$$

$$C_2 = 79,57 \text{ gr}$$

$$C_3 = 78,63 \text{ gr}$$

Y para la determinación de la densidad se usará la ecuación propuesta por el manual de especificaciones técnicas de la ABC.

$$\rho_{b1} = \frac{C_1 - A_1}{B_1 - A_1} * \rho_w = \frac{80,60 - 49,83}{83,33 - 49,83} * 0,997 = 0,915 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{b2} = \frac{C_2 - A_2}{B_2 - A_2} * \rho_w = \frac{79,57 - 48,88}{82,19 - 48,88} * 0,997 = 0,918 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_{b3} = \frac{C_3 - A_3}{B_3 - A_3} * \rho_w = \frac{78,63 - 50,15}{81,15 - 50,15} * 0,997 = 0,916 \text{ gr/cm}^3$$

Donde:

ρ_b : Densidad del asfalto evaluado.

ρ_w : Densidad del agua a 25°C.

A: Picnómetro vacío.

B: Picnómetro + agua destilada.

C: Picnómetro + material en evaluación.

Y para tener una densidad representativa se tomará el promedio de las tres mediciones hechas en laboratorio, que dará pie al laboratorio de destilación.

$$\rho_b = \frac{\rho_{b1} + \rho_{b2} + \rho_{b3}}{3} = \frac{0,915 + 0,918 + 0,916}{3} = 0,916 \text{ gr/cm}^3$$

3.3.1.2. Ensayo 2: Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

Esta prueba tiene por objeto determinar la viscosidad Saybolt Furol del asfalto diluido a la temperatura de 25 °C, establecidas para realizar la prueba estándar.

Equipos y Materiales

- Viscosímetro Saybolt Furol normalizado.
- Baño de agua con temperatura controlable.
- Vaso especial volumétrico de vidrio.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

- Malla de abertura estándar de 0.841 mm (N°20).
- Termómetro de acuerdo a las especificaciones.

A continuación, se procederá a desarrollar el ensayo de viscosidad ejecutado en laboratorio.

Sumergir el vaso en el baño del agua durante 30 minutos. Luego calentar la muestra hasta que esté lo suficientemente diluida.

Fotografía 15: Vaciado de la muestra en el equipo



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Una vez vaciada la muestra diluida en el equipo Saybolt Furol, preparar el cronometro para el momento de destapar la boquilla y completar los 60 ml y parar el cronometro.

Fotografía 16: Lectura de cronómetro de viscosidad Saybolt



Fuente: Fotografía realizada del laboratorio del “IEM”

Los resultados obtenidos en las tres mediciones son:

$$v_1 = t_1 = 142,51 \text{ seg}$$

$$v_2 = t_2 = 139,89 \text{ seg}$$

$$v_3 = t_3 = 141,76 \text{ seg}$$

3.3.1.3. Ensayo 3: Destilación a 360 °C (por la altura a 340°C)

Este ensayo sirve para determinar la destilación de productos asfálticos cortados. Este procedimiento mide la cantidad de constituyentes más volátiles del asfalto diluido.

Equipos y materiales

- Matraz de destilación de 500 ml de capacidad, con salida lateral.
- Condensador de vidrio con un tubo y un cilindro protector.
- Adaptador, pantalla de acero.
- Probeta de 100 ml.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

A continuación, se procederá al desarrollo del ensayo de laboratorio de destilación a 360°C. Para iniciar con el laboratorio se necesita el valor de densidad representativa, obtenido en el ensayo de determinación de densidad, donde se necesitan 200 ml de la muestra en evaluación.

$$m = 0,916 * 200 = 183,2 \text{ gr}$$

Fotografía 17: Armado de equipo para la destilación



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Una vez corregida las temperaturas debido a la ubicación a nivel del mar, iniciar el ensayo prendiendo la hornilla y cumpliendo el número de gotas que caerán en el matraz conforme vaya pasando el tiempo. Leer las temperaturas corregidas y el volumen atrapado en el matraz y reportar los resultados en la tabla que se mostrara más adelante.

Fotografía 18: Obtención de contenido de disolventes



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

A continuación, se reportará los resultados obtenidos:

Tabla 13: Resultados de ensayo de destilación

| Temperatura | MUESTRA I | | MUESTRA II | | MUESTRA III | |
|--------------|-----------|---------|------------|---------|-------------|---------|
| | Volumen | Tiempo | Volumen | Tiempo | Volumen | Tiempo |
| 175°C | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 209°C | 27 | 0:28:42 | 25 | 0:29:11 | 24 | 0:29:21 |
| 243°C | 53 | 0:48:28 | 50 | 0:43:04 | 49 | 0:45:56 |
| 298°C | 68 | 0:58:07 | 65 | 0:54:41 | 63 | 0:55:23 |
| 340°C | 73 | 1:02:50 | 76 | 1:00:07 | 75 | 1:01:30 |

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtenido los valores en la tabla, se procedió a calcular el porcentaje de residuo asfáltico obtenido en cada muestra ensayada.

El contenido de residuo será dado por la siguiente ecuación:

$$RT_1 = \frac{200 - V_1}{200} * 100 = \frac{200 - 73}{200} * 100 = 63,5 \%$$

$$RT_2 = \frac{200 - V_2}{200} * 100 = \frac{200 - 76}{200} * 100 = 62 \%$$

$$RT_3 = \frac{200 - V_3}{200} * 100 = \frac{200 - 75}{200} * 100 = 62,5 \%$$

Luego para tener un valor representativo del contenido de residuo asfáltico de los ensayos realizados, se hizo un promedio de estas:

$$RT = \frac{RT_1 + RT_2 + RT_3}{3} = \frac{63,5 + 62 + 62,5}{3} = 63 \%$$

Y el destilado total recuperado a 360°C, para las 3 muestras de ensayo:

$$DT_1 = \frac{V_1}{200} * 100 = \frac{73}{200} * 100 = 36,5 \%$$

$$DT_2 = \frac{V_2}{200} * 100 = \frac{76}{200} * 100 = 38 \%$$

$$DT_3 = \frac{V_3}{200} * 100 = \frac{75}{200} * 100 = 39 \%$$

Luego para tener un valor representativo del destilado total asfáltico de los 3 ensayos realizados, se hará un promedio de estas:

$$DT = \frac{DT_1 + DT_2 + DT_3}{3} = \frac{36,5 + 38 + 39}{3} = 39 \%$$

3.3.1.4. Ensayo 4: Penetración a 100 gr. 5 seg. a 25°C

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración del asfalto diluido MC-30. Este ensayo se usa como medida de consistencia, para valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

Equipos y Materiales

- Penetrómetro.
- Aguja de penetración de acero inoxidable normalizado.
- Capsulas de metal o vidrio de forma cilíndrica y fondo plano.
- Baño de agua con temperatura controlable.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

- Transportador de capsula.

A continuación, se procederá a desarrollar el ensayo de laboratorio de penetración.

Vaciar en varios recipientes las muestras de residuo a ensayar y eliminar las burbujas de aire con fuego, hasta tenerlos totalmente excluidos de estos.

Fotografía 19: Eliminación de burbujas de aire con fuego



Fuente: Fotografía realizada del laboratorio del “IEM”

Luego dejarlo en reposo a temperatura ambiente alrededor de una hora ambiente, debe estar tapado para no dejar que se formen las burbujas de aire.

Después de dejar las muestras a temperatura ambiente, colocar estas en un baño de agua por el lapso de una hora y media a la temperatura del ensayo 25°C.

Una vez concluido el reposo del baño de agua a la temperatura del ensayo, ensayar dichas muestras junto con la capsula de agua en el penetrómetro, cuidando bien que la aguja penetre a la muestra y cumpliendo con los segundos que exige la especificación.

Fotografía 20: Ensayo de muestras en el penetrómetro



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

A continuación, se expondrá los valores obtenidos en laboratorio, de las 3 muestras de residuo ensayadas.

Tabla 14: Resultados obtenidos del ensayo de penetración

| Muestra I | | Muestra II | | Muestra III | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Tiempo [seg] | Penetración | Tiempo [seg] | Penetración | Tiempo [seg] | Penetración |
| 5,03 | 141 | 5,06 | 137 | 5,00 | 141 |
| 5,00 | 138 | 5,06 | 140 | 4,98 | 139 |
| 5,00 | 142 | 5,07 | 141 | 5,01 | 142 |
| 4,97 | 140 | 5,03 | 135 | 5,02 | 138 |
| 5,03 | 139 | 5,01 | 137 | 5,00 | 140 |

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los ensayos a las tres muestras, se obtuvo un valor de penetración representativa, donde se hará un promedio de los valores obtenidos en todas las mediciones realizadas en laboratorio.

$$\text{Penetración} = 139,3 \text{ dmm}$$

3.3.1.5. Ensayo 5: Determinación de ductilidad

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de esta manera se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas.

Equipos y Materiales

- Moldes de bronce o zinc, y cuando al armar se obtendrá la briqueta con las dimensiones normalizadas.
- Baño de agua con temperatura controlable.

- Ductilómetro, para el traccionamiento del material bituminoso.
- Termómetro.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

A continuación, se desarrollará paso a paso el ensayo de laboratorio de ductilidad.

Calentar la muestra de residuo hasta el punto que este lo suficientemente diluido para colocarlo en los moldes de ductilidad. Se preparan los moldes de ductilidad lavándolos con detergente y posterior untar los interiores con glicerina.

Fotografía 21: Preparación de moldes de ductilidad



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Luego vaciar el residuo asfáltico en los moldes de ductilidad y dejarlo reposar media hora a temperatura ambiente. Pasado el tiempo dejarlo posar en el baño de agua por otra media hora más, luego sacar los moldes y enrazar las muestras y colocarlo en el baño de agua por un lapso de una hora y media.

Fotografía 22: Ejecución del ensayo de ductilidad



El equipo tiene la capacidad para que pueda estirar a un molde con muestra de 150 cm., teniendo este dato en cuenta, los valores obtenidos de las 3 muestras ensayadas son las siguientes:

$$L_1 > 150 \text{ cm}$$

$$L_2 > 150 \text{ cm}$$

$$L_3 > 150 \text{ cm}$$

3.3.1.6. Ensayo 6: Ensayo de punto de inflamación

Este método describe la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos asfálticos cortados que tienen punto de inflamación menor que 93°C.

Equipos y Materiales

- Copa abierta de Cleveland
- Protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga frente abierto.
- Termómetro según ASTM 11C.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

El procedimiento que se siguió para la ejecución del ensayo de laboratorio fue el que sigue. Preparar el equipo para ejecutar el ensayo, la muestra en el tag y la copa de Cleveland.

Fotografía 23: Ejecución del ensayo de pto. de inflamación



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Se informó las temperaturas en los siguientes momentos: Será llamado punto de inflamación cuando aparezca la primera llama (color azul); y será punto de combustión cuando haya una llama de 5 segundos de ardor en la muestra ensayada.

Tabla 15: Valores de punto de inflamación y combustión

| | <i>MUESTRA I</i> | <i>MUESTRA II</i> | <i>MUESTRA III</i> |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Punto de Inflamación</i> | 51 | 51 | 52 |
| <i>Punto de Combustión</i> | 55 | 56 | 57 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.7. Ensayo 7: Ensayo de la Mancha

A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivo, se le puede determinar su grado de positividad por medio del equivalente de Xileno. Y este será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta, el cual produce una mancha negativa para el material en cuestión.

Equipos y Materiales

- Xileno, Heptano, muestra de emulsión.
- Frascos de 50 ml de capacidad.
- Papel filtro Whatman N°50 de 70 mm de diámetro.
- Pipeta o bureta con 0,1 ml de graduación.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

De esta manera, se procedió a desarrollar el ensayo de laboratorio. Colocar en tres recipientes 2 gramos de residuo asfáltico, se calentó la muestra para que este fuera lo suficientemente dispersa en un frasco de agua revolviendo cada minuto.

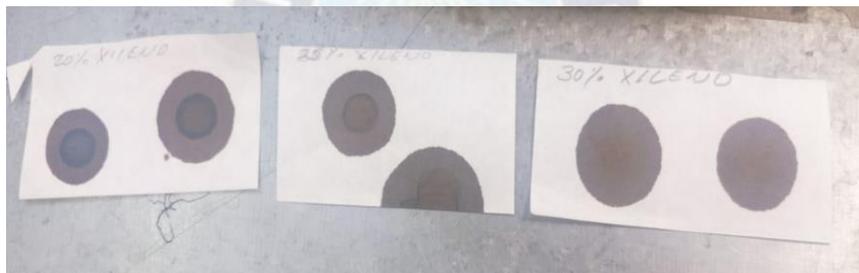
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 24: Colocado de muestras en baño de agua



Una vez pasado los 15 minutos de la muestra en el baño de agua, se tanteo el porcentaje de heptano y xileno que se deberá añadir a la muestra de residuo, donde al mezclar estos 3 elementos, en un papel filtro se hizo caer una gota y comprobar que la muestra sea positivo o negativo.

Fotografía 25: Ensayo en el papel filtro del residuo



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

A continuación, se mostrará el tanteo de porcentajes de heptano y xileno para el reporte:

Tabla 16: Valores del ensayo de la mancha

| MUESTRA | RESIDUO | HEPTANO | XILENO |
|---------|---------|---------|--------|
| I | 80% | 20% | 2gr |
| II | 75% | 25% | 2gr |
| III | 70% | 30% | 2gr |

Fuente: Elaboración propia

Y para el reporte de resultados se observa en la fotografía de papel filtro, que para los porcentajes de 20% y 25% de equivalente xileno dieron como resultado positivo, y para el 30% de equivalente xileno fue un resultado negativo.

3.3.2. Caracterización de la Emulsión Asfáltica EBCI

La empresa que suministro la emulsión asfáltica, la cual es exclusiva para riegos de imprimación, proporciono una tabla que se muestra a continuación con las exigencias mínimas que debe cumplir esta emulsión para su posterior aplicación en campo.

Tabla 17: Ensayos de caracterización de emulsión asfáltica

| ENSAYO | UNIDAD | NORMA |
|--|----------|-------------------------|
| Ensayos a la Emulsión | | |
| Viscosidad Saybolt a 25°C | Segundos | ASTM D 244, AASHTO T59 |
| Residuo Asfáltico evaporación | % | ASTM D6934, AASHTO T179 |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min | cm | ASTM D113, AASHTO T51 |
| Viscosidad a 60°C | mPa*s | ASTM D2171, AASHTO T202 |
| Tamizado (850um) | % | ASTM D244, AASHTO TT59 |
| Destilación | | |
| Cont. de hidrocarburos por Destilación | ML/100ML | ASTM D6997, AASHTO T78 |
| Cont. de Agua por Destilación | % | ASTM D6997, T55 |

3.3.2.1. Ensayo 1: Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

Esta prueba tiene por objeto determinar la viscosidad Saybolt Furol del asfalto diluido a la temperatura de 25 °C, establecidas para realizar la prueba estándar.

Equipos y Materiales

- Viscosímetro Saybolt Furol normalizado.
- Vaso especial volumétrico de vidrio refractario de 400 ml.
- Picnómetros.
- Equipo de seguridad necesario para la prueba.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Seguidamente, se procederá a desarrollar el ensayo de viscosidad Saybolt Furol ejecutado en laboratorio. Calentar la muestra hasta que esta esté lo suficientemente diluida, como se trata de una emulsión asfáltica no será necesario elevar a altas temperaturas. Vaciar la muestra en el equipo de viscosidad, previamente colocado a la temperatura de ensayo, es decir 25°C, la boquilla de salida debe estar tapada hasta que el frasco y el cronometro estén listos para iniciar el ensayo.

Fotografía 26: Vaciado de muestras en el equipo



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Destapar la boquilla e iniciar de inmediato el cronómetro hasta los 60 ml, realizar los pasos correspondientes para las 3 muestras ensayadas.

Los resultados obtenidos en las tres mediciones son:

$$v_1 = t_1 = 45,55 \text{ seg}$$

$$v_2 = t_2 = 51,65 \text{ seg}$$

$$v_3 = t_3 = 48,71 \text{ seg}$$

Y para tener un valor representativo se hará un promedio de las tres muestras, como se calculará a continuación:

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} = \frac{45,55 + 51,65 + 48,71}{3} = 48,64 = 49 \text{ seg.}$$

$$v = 49 \text{ segundos}$$

3.3.2.2. Ensayo 2: Contenido de hidrocarburos por destilación

Este ensayo sirve también como paso a la siguiente prueba de agua por destilación, donde con el aparato para destilar se obtendrán los resultados para este ensayo.

Equipos y Materiales

- Alambique cilíndrico de fierro.
- Un quemador anular de 101,3 mm de diámetro, con perforaciones en el interior.
- Un quemador anular de gas.
- Un tubo de conexión, una camisa de lámina y un refrigerante.
- Termómetro de inmersión total con graduación hasta 300°C.
- Mechero tipo Bunsen.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Determine la masa del alambique de aleación de aluminio. Incluya en esta determinación el alambique, la tapa, la abrazadera, los dispositivos de medición de temperatura, el tapón pequeño (si se usa) y la junta (si se usa). Agregar 200 +/- 1 gr. De una muestra representativa del asfalto emulsionado. Registre esta masa, encender el fuego y esperar hasta llegar a una temperatura de 260°C, pasado este tiempo retirar el alambique del fuego y volver a pesar todo el equipo.

A continuación, se calculará el porcentaje de aceite destilado de una muestra de la emulsión y las demás serán expuestas en una tabla resumen.

Datos:

Volumen de aceite registrado: $V_{a1} = 3 \text{ ml}$

Peso de la muestra total: $P = 200 \text{ gr}$

Contenido de hidrocarburos destilados:

$$\%Ac = \frac{3}{200} * \frac{\text{ml}}{100\text{ml}} = 1,5 \frac{\text{ml}}{100\text{ml}}$$

3.3.2.3. Ensayo 3: Contenido de agua por destilación

Equipos y Materiales

- Alambique cilíndrico de fierro.
- Un quemador anular de 101,3 mm de diámetro, con perforaciones en el interior.
- Un quemador anular de gas.
- Un tubo de conexión, una camisa de lámina y un refrigerante.
- Termómetro de inmersión total con graduación hasta 300°C.
- Mechero tipo Bunsen.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Determine la masa del alambique de aleación de aluminio. Incluya en esta determinación el alambique, la tapa, la abrazadera, los dispositivos de medición de temperatura, el tapón pequeño (si se usa) y la junta (si se usa). Agregar 200 +/- 1 gr. Seguir el procedimiento anterior de destilación y registrar el volumen en la trampa y el peso original de la muestra para su posterior calculo, tener cuidado de eliminar en el anillo cualquier agua condensada de agua en el tubo.

A continuación, se calculará el porcentaje de agua destilada:

Datos:

Volumen de agua registrado: $V_{a1} = 61 \text{ ml}$

Peso de la muestra total: $P = 200 \text{ gr}$

Contenido de Agua destilada:

$$\%A = \frac{61}{200} * 100\% = 30,5\%$$

3.3.2.4. Ensayo 4: Tamizado a 850 μm

Equipos y Materiales

- Malla U.S. Standard con diámetro de abertura cuadrada No 20, con fondo y tapa.

- Probetas de 500 ml.
- Agua destilada.
- Vaso de precipitado de 1000 ml.

Procedimiento del Ensayo de Laboratorio

Pesar la malla con fondo y tapa y registrar dicho peso. Tomar la muestra de emulsión y se vierte en un vaso 1000 cc y hacer pasar por la malla para retener los glóbulos mayores de 8 micras.

Fotografía 27: Tamizado de la muestra



Se lava hasta que la muestra salga limpia, se la coloca al horno durante 2 horas a 100°C, luego se lo deja enfriar a temperatura ambiente y se lo pesa nuevamente. A continuación, se calculará el porcentaje de retenido en el tamiz de 850 μm de una muestra de la emulsión y las demás serán expuestas en una tabla resumen.

Datos:

Peso antes del ensayo:

$$P_r = 166,5 \text{ gr}$$

Peso después del ensayo:

$$P_t = 165,7 \text{ gr}$$

Porcentaje de Retenido en el tamiz 850 μm :

$$\%T = \frac{166,5 - 165,7}{1000} * 100\% = 0,08\%$$

3.3.2.5. Ensayo 5: Contenido de Residuo por Evaporación

El objeto de esta prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje, mediante evaporación en el horno.

Equipos y Materiales

- Tres vasos de precipitado de vidrio refractario de 600 ml de capacidad.
- Tres agitadores de vidrio con extremos redondos.
- Una balanza de 500 gr de capacidad y 0,1 gr de aproximación.
- Una malla circular de aberturas cuadradas U.S. Standard.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Pesar 100 gr de emulsión previamente homogeneizada en cada uno de los tres vasos de precipitado con su respectivo agitador y registrar este valor como Wt.

Colocar los vasos durante dos horas en el horno a una temperatura de $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$. transcurrido el lapso, sacar del horno, uniformizar con el agitador y colocar nuevamente al horno.

Sacar del horno y pesar los vasos con el agitador y el residuo de la emulsión. A continuación, se calculará el porcentaje de Contenido de Residuo Asfáltico de una muestra de la emulsión y las demás serán expuestas en una tabla resumen.

Fotografía 28: Colocado de muestra al horno



Fuente: Fotografía realizada del laboratorio del "IEM"

Datos:

Peso antes de ensayo: $W_t = 234,6 \text{ gr}$

Peso después de ensayo: $W_f = 200,9 \text{ gr}$

Porcentaje de Contenido de Residuo Asfáltico:

$$\%R = 2(234,6 - 200,9) = 67,4\%$$

3.3.2.6. Ensayo 6: Ductilidad a 25°C, 5 cm/min

Este procedimiento viene acompañado con el siguiente ensayo, y en esta primera parte se medirá la separación del diluyente de un material bituminoso.

Equipos y materiales

- Molde de latón.
- Baño de agua capaz de mantener una temperatura de 25°C.
- Estufa capaz de calentar la muestra de residuo.
- Malla U.S. Standard de aberturas cuadradas de 0.3 mm.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Del ensayo de residuo asfáltico colocar en el horno hasta que este lo suficientemente fluido. Armar los moldes y colocar glicerina para que el material no se adhiera a los moldes y colocarlos sobre la placa de latón, para su posterior aplicación.

Fotografía 29: Enrasado y colocado en baño de agua



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Colocar los moldes con el residuo en la máquina de ensayo, encajando los orificios de dichos moldes, iniciar la tracción a la velocidad especificada. El ensayo termina cuando las muestras en estudio se rompan y registrar la longitud a la que quebró:

Fotografía 30: Ejecución del ensayo de ductilidad



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, donde la longitud de rompimiento de las muestras ensayadas superó los 150 cm.

3.3.2.7. Ensayo 7: Viscosidad a 60°C

Este método describe el procedimiento para determinar la viscosidad de la emulsión asfáltica por viscosímetros capilares de vacío a 60°C.

Equipos y materiales

- Viscosímetro.
- Baño con temperatura regulable.
- Certificado de calibración.
- Termómetro de inmersión total, con rango de -2 a + 300°C.
- Vasos capilares.

Procedimiento de Ensayo de Laboratorio

Mantener el baño a la temperatura del ensayo. Aplicar las correcciones necesarias, si es el caso, a las lecturas del termómetro. Seleccionar un viscosímetro limpio y seco, para un tiempo de

flujo mayor que 60 seg. y precalentar a la temperatura predeterminada. Colocar el viscosímetro vaciando la muestra ya preparada dentro de la línea de llenado.

Fotografía 31: Ejecución del ensayo de viscosidad a 60°C



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Después que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 + 5 min. y comience con el flujo de la emulsión en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea principal del sistema de vacío.

Y realizando una multiplicación simple de las constantes del viscosímetro (ver tabla 1) con los tiempos obtenidos se obtendrán las viscosidades.

Viscosímetro D594

$$\text{Viscosidad}_1 = 56,38 * 2,011 = 113,38 \text{ mPa*s}$$

$$\text{Viscosidad}_2 = 117,94 * 0,9793 = 115,5 \text{ mPa*s}$$

$$\text{Viscosidad}_3 = 175,12 * 0,6426 = 112,53 \text{ mPa*s}$$

Y como resultado de la viscosidad, será la media de los resultados obtenidos.

$$\text{Viscosidad} = 113,8 \text{ mPa*s}$$

Viscosímetro E546

$$\text{Viscosidad}_1 = 12,12 * 8,385 = 101,62 \text{ mPa*s}$$

$$\text{Viscosidad}_2 = 26,75 * 4,134 = 110,83 \text{ mPa}$$

Y como resultado de la viscosidad, será la media de los resultados obtenidos.

$$\text{Viscosidad} = 106,23 \text{ mPa*s}$$

NOTA: Es importante recalcar que el primer suministro de emulsión EBCI, utilizado para la caracterización inicial, fue distinto del suministro utilizado posteriormente para el riego de las probetas. Esto se debió a la insuficiencia del primer lote proporcionado, lo que hizo necesario recurrir a un segundo lote. Dado que las características del nuevo suministro podrían haber variado, se considera esencial realizar los ensayos necesarios. Por esta razón, se llevaron a cabo varios ensayos para verificar que el segundo suministro cumpliera con los mismos estándares que el anterior. Los ensayos realizados con el segundo lote de emulsión fueron los siguientes:

- Ensayo de destilación, para verificar el residuo asfáltico y el porcentaje de destilado de esta emulsión, para asegurar la concentración de asfalto sea el adecuado.
- El ensayo de ductilidad, para medir la capacidad de la segunda emulsión de su estiramiento sin romperse, la cual es crucial para la durabilidad del pavimento.
- Ensayo de penetración, para evaluar la dureza y consistencia del asfalto.
- Ensayo de viscosidad, para determinar la resistencia al flujo de la emulsión y cumpla con los estándares aceptables.
- Ensayo de tamizado de 850 μm , para verificar que las partículas de asfalto en la emulsión no excedan el tamaño específico, garantizando una aplicación uniforme.

Estos ensayos fueron fundamentales para garantizar que la emulsión EBCI del segundo lote tuviera las mismas propiedades y calidad que la utilizada en la caracterización inicial, asegurando así la consistencia y fiabilidad en el riego de las probetas.

Los resultados de estos ensayos serán presentados en la parte de análisis y resultados mostrando si también han cumplido con los parámetros aceptables que indica las especificaciones de la emulsión.

3.4. Aplicación del Procedimiento desarrollado por el TTI

Ingresando a la parte central del proyecto, se procedió con el procedimiento del TTI, posterior a la caracterización de los materiales tanto del material granular y los imprimantes a emplear para el riego de imprimación, y se procederá como sigue a continuación:

3.4.1. *Elaboración de la Capa Base Granular*

Para dar inicio el método, se procedió a elaborar la capa base granular recomendada por la ABC (ver tabla 2), se tomarán dos tipos de gradaciones granulométricas emulando los extremos dentro lo aceptable, una de tipo abierto y el otro de material más fino, donde ambos cumplirán los requerimientos de una capa base.

Se realizó el cuarteo correspondiente para extraer un material representativo de cada suelo, luego se realizará la compensación del material dejando pasar por el tamiz No $\frac{3}{4}$ y retenido en el tamiz No 4, y se tendrá en cuenta que se debe triturar el suelo de manera que se eliminan los terrones de arcilla existentes.

Fotografía 32: Compensación de los pozos de suelo seleccionados



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Como segundo objeto de evaluación se varió el contenido de humedad que se aplicará en el material granular, donde por una parte se empleara el contenido de humedad óptimo, y por otro se reducirá en 2% la humedad óptima que se requiera.

Fotografía 33: Mezcla de material granular con agua



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Como punto siguiente, se trabajó con cada base granular compactándola en 5 capas de 25 golpes cada una, luego se tratará cada superficie con un barrido con cepillo simulando el paso de una motoniveladora y de esta manera limpiar dicha superficie del material suelto disperso por la zona.

Fotografía 34: Compactación de los distintos pozos (material cerrado y abierto)



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 35: Limpieza de la superficie con cepillo



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

3.4.2. *Dosificación de Imprimantes*

Después de preparar las dos capas base (abierta y cerrada) y de limpiar el material suelto, dejando la superficie libre de polvo mediante barrido o raspado, se procederá a aplicar el riego de asfalto líquido y emulsión asfáltica sobre dichas capas. Esta aplicación se realizará en tres dosificaciones diferentes: 0,8 litros/m², 1 litro/m² y 1,2 litros/m².

Una vez preparada cada probeta de ensayo se colocó una cuchilla como división para regar los imprimantes una al lado del otro, donde cada molde estará preparado en las mismas condiciones antes de realizado el riego. Luego de preparados los moldes, se regó la emulsión EBCI la cual se calentó a 40°C y luego el diluido MC-30 a una temperatura de 70°C, ambos imprimantes serán regados dejándolos caer desde una altura aproximada a los 40 cm.

Fotografía 36: Vaciado de los imprimantes a las probetas



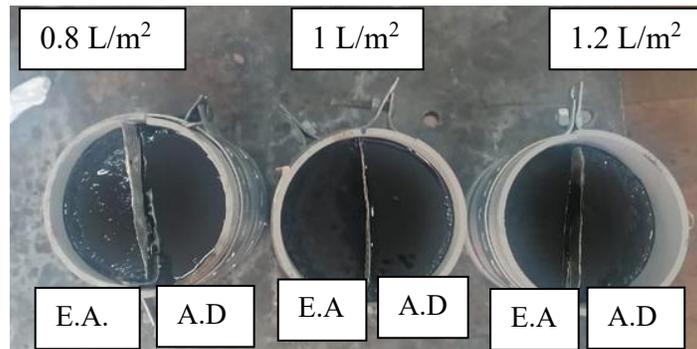
Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Una vez regadas las probetas con los imprimantes en estudio, y para que exista una buena penetración y se dejó reposar de 24 a 48 horas, pero no sin antes registrar un análisis visual los días siguientes al regado.

Para empezar el procedimiento se seguirá el esquema descrito en la imagen 13, con los siguientes parámetros: 3 volúmenes de riego, humedad optima, limpieza con cepillo (barrido) y con el material granular de tipo cerrado.

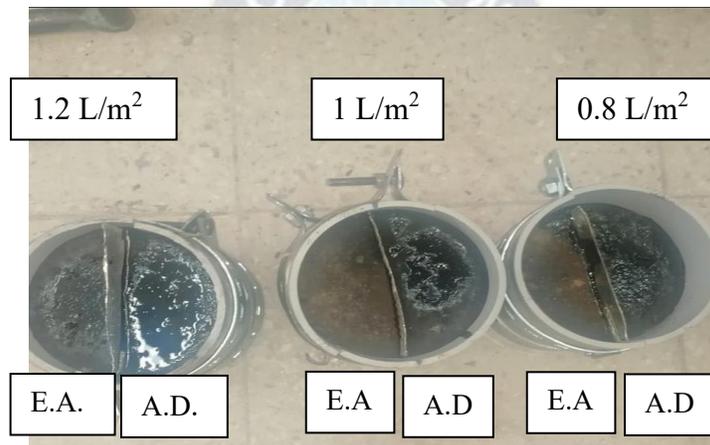
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 37: 3 Dotaciones – % Humedad óptima – Pozo 1 – Día inicial



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

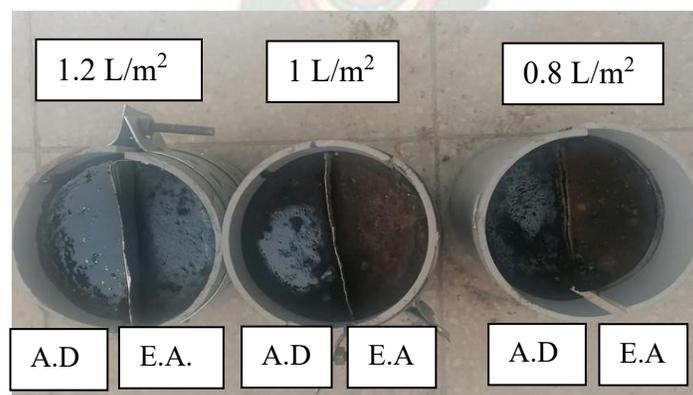
Fotografía 38: 3 Dotaciones – % Humedad óptima – Barrido – Pozo 1 – Día 2



Fuente: Fotografía extraída del “IEM”

Y para el pozo 1, se registraron fotografías a los 7 días del riego de imprimación, donde se puede ver ligeros cambios al registrado al segundo día.

Fotografía 39: 3 Dotaciones – % Humedad óptimo – Barrido – Pozo 1 – Día 7

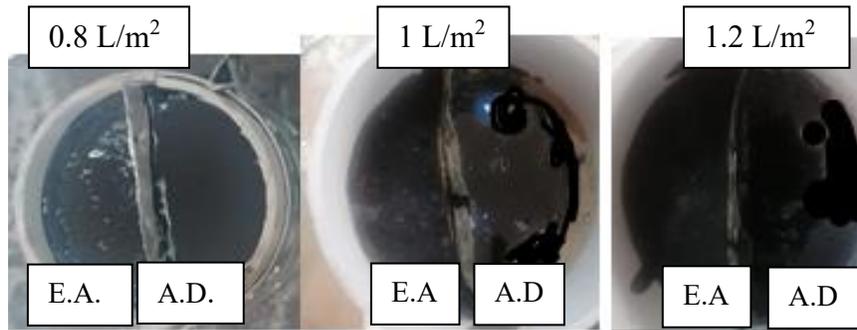


Fuente: Fotografía extraída del “IEM”

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

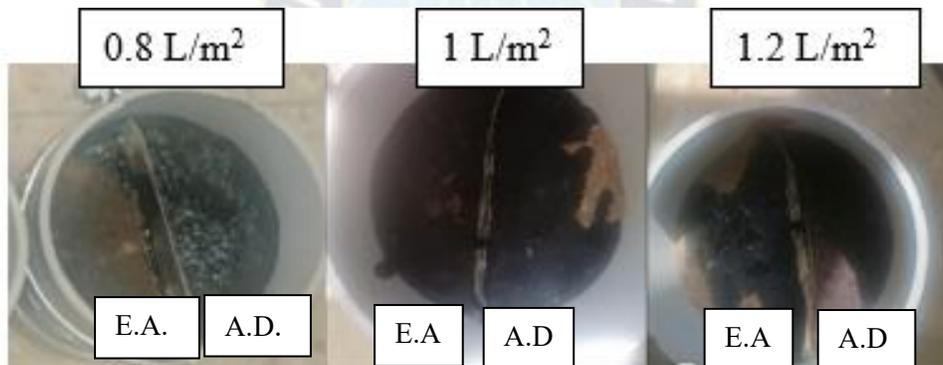
Y de esta manera se procedió a seguir todo el procedimiento descrito anteriormente, variando las distintas características que tendrá cada probeta. Como segunda parte se modificará solo el contenido de humedad óptimo, disminuyendo un 2% al original.

Fotografía 40: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia inicial



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 41: 3 Dotaciones – -2%Hum_Óptima – Barrido – Dia 2



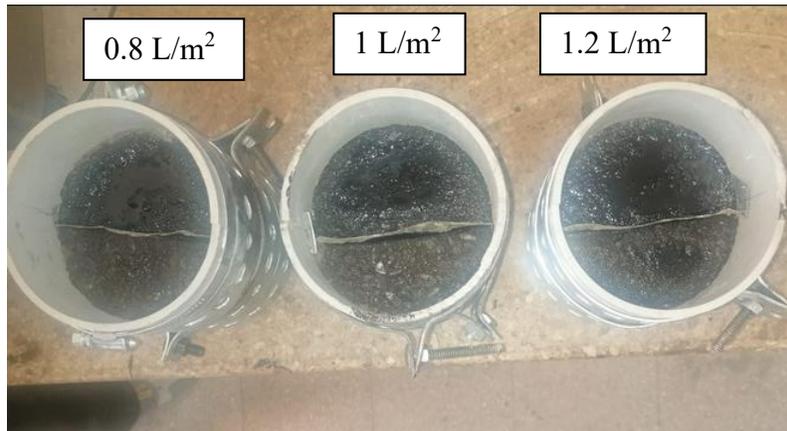
Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Entrando en la tercera parte del procedimiento, se procede a realizar la modificación de las siguientes variables en análisis:

- Material granular del pozo 2 – granulometría abierta.
- Se realizará el riego con las 3 dotaciones.
- El contenido de humedad será el óptimo.
- La limpieza de superficie será con cepillo.

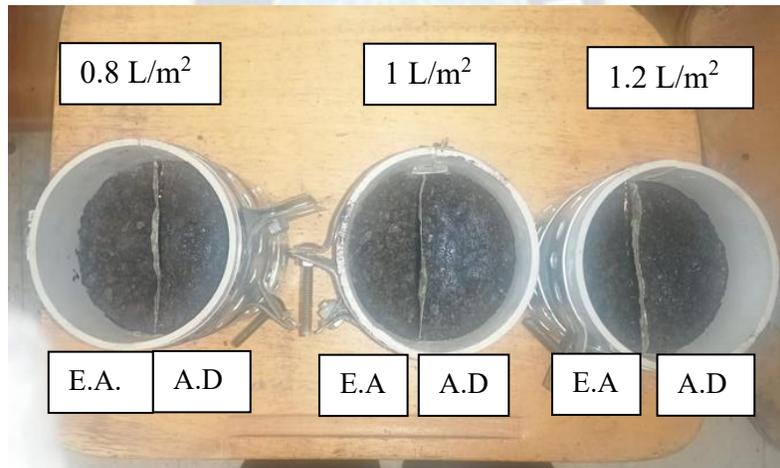
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 42: 3 Dotaciones – %Hum_Óptima – Barrido – Dia inicial



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 43: 3 Dotaciones – %Hum_Óptima – Barrido – Dia 2



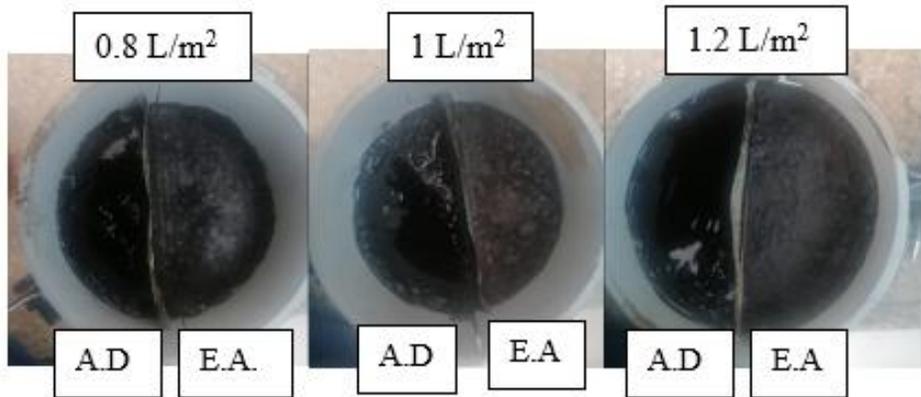
Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Posteriormente, siguiendo el procedimiento del ensayo, variando los siguientes parámetros que se describen a continuación:

- Material granular del pozo 2 – granulometría abierta.
- Se realizará el riego con las 3 dotaciones.
- El contenido de humedad será como indica el procedimiento, un 2% menos.
- La limpieza de superficie será con cepillo.

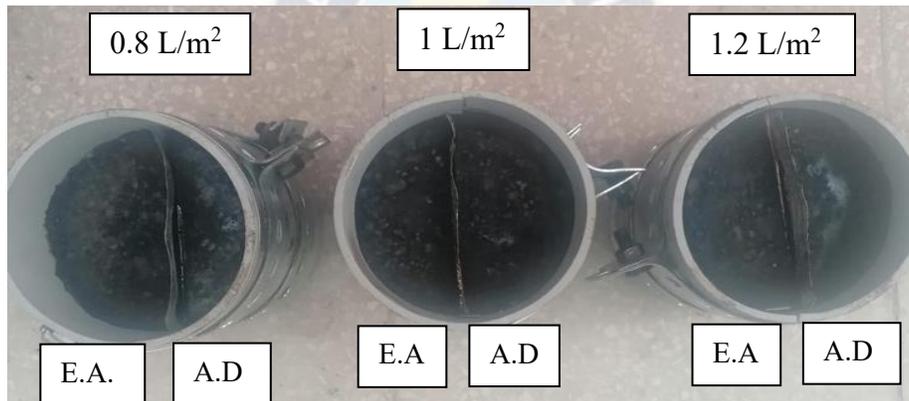
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 44: 3 Dotaciones --2%Hum_Óptima -- Barrido -- Dia inicial



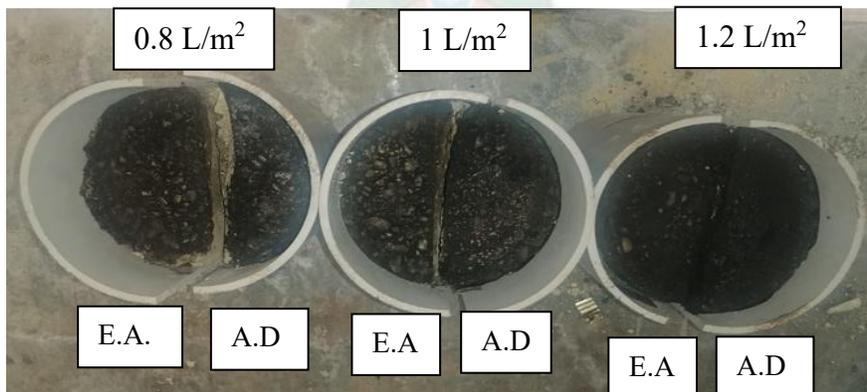
Fuente: Fotografía realizada del "IEM"

Fotografía 45: 3 Dotaciones --2%Hum_Óptima -- Barrido -- Dia 1



Fuente: Fotografía realizada del "IEM"

Fotografía 46: 3 Dotaciones --2%Hum_Óptima -- Barrido -- Dia 2



Fuente: Fotografía realizada del "IEM"

3.4.3. Medición de la Penetración

Terminadas las 48 horas de imprimación, se desmoldó las probetas y si es necesario se realizará el corte de estas para la medición de la penetración de la emulsión y el asfalto diluido, de la primera parte del punto anterior.

Fotografía 47: Medición de penetración – Pozo 1 – 0,8 Litro/m² - %Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 48: Medición de penetración – Pozo 1 – 1 Litro/m² - %Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 49: Medición de penetración – Pozo 1 – 1,2 Litro/m² - % Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Realizando la medición de las penetraciones que alcanzaron cada una de las probetas se obtuvieron los siguientes valores resumidos en la siguiente tabla.

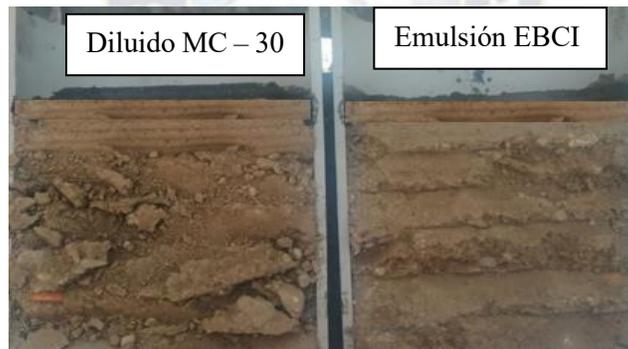
Tabla 18: Medición de Penetración 1 – Barrido – Pozo 1

| Tipo de Limpieza | Imprimante | Dosificación | | |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | 0,8 L/m ² | 1 L/m ² | 1,2 L/m ² |
| Barrido | Diluido MC-30 | 3 | 6 | 5 |
| | Emulsión EBCI | 0 | 5 | 4 |

Fuente: Elaboración Propia

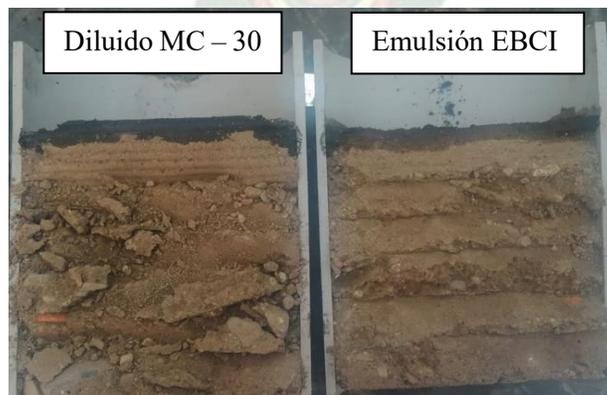
Desmoldando el segundo bloque de probetas del pozo 1 (granulometría cerrada), tres volúmenes de riego, el contenido de humedad fue disminuido en un 2%.

Fotografía 50: Medición de penetración – Pozo 1 – 0,8 Litro/m² - -2% Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 51: Medición de penetración – Pozo 1 – 1 Litro/m² - -2% Hum.Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 52: Medición de penetración – Pozo 1 – 1,2 Litro/m² - -2% Hum. Óptima



Fuente: Fotografía realizada del IEM

Realizando la medición de las penetraciones de las probetas desmoldadas en las 3 diferentes tasas de riego y con los diferentes imprimantes se tienen estos valores:

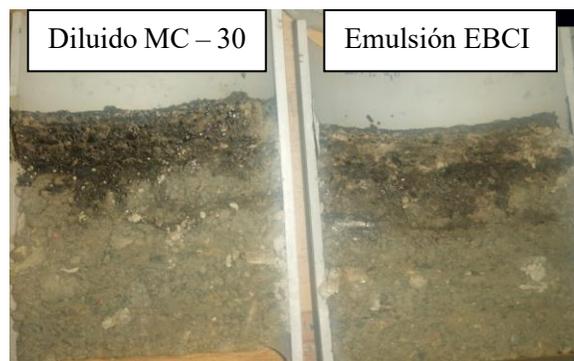
Tabla 19: Medición de Penetración 2 – Barrido – Pozo 1

| Tipo de Limpieza | Imprimante | Dosificación | | |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | 0,8 L/m ² | 1 L/m ² | 1,2 L/m ² |
| Barrido | Diluido MC-30 | 4 | 8 | 8 |
| | Emulsión EBCI | 2 | 7 | 8 |

Fuente: Elaboración Propia

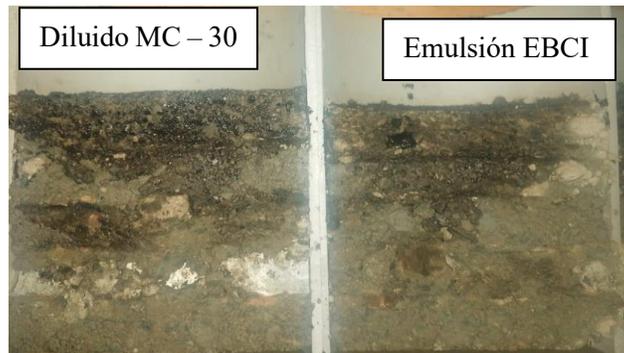
En la tercera parte de desmolde de las probetas, cambiando el tipo de material granular (capa de base abierta), es decir, el pozo 2, se rego con los 3 volúmenes de dotación de riego, el contenido de humedad aplicado es el óptimo y la limpieza fue hecha con un cepillo.

Fotografía 53: Medición de penetración – Pozo 2 – 0,8 Litro/m² - %Hum_ Óptima



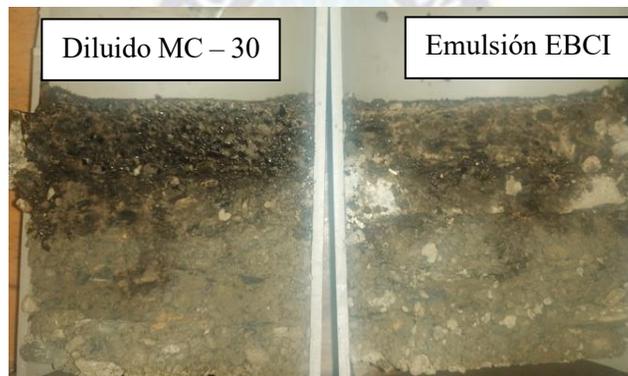
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Fotografía 54: Medición de penetración – Pozo 2 – 1 Litro/m² - %Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

Fotografía 55: Medición de penetración – Pozo 2 – 1.2 Litro/m² - %Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

A continuación, se muestra una tabla resumen de los valores medidos de penetración en la tercera tanda de probetas en estudio, donde se varió el tipo de granulometría y el contenido de humedad aplicado.

Tabla 20: Medición de Penetración 3 – Barrido – Pozo 2

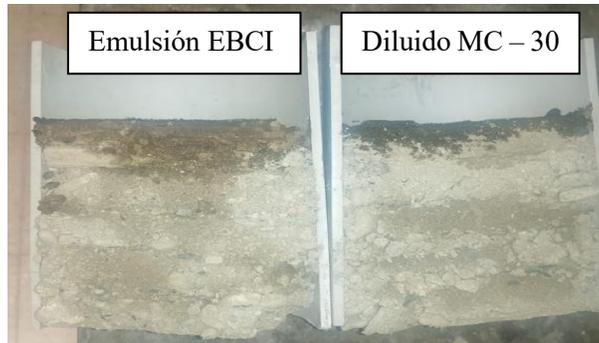
| Tipo de Limpieza | Tipo de Imprimante | Dosificación | | |
|------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | 0,8 L/m ² | 1 L/m ² | 1,2 L/m ² |
| Barrido | Diluido MC-30 | 15 | 20 | 22 |
| | Emulsión EBCI | 13 | 15 | 19 |

Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

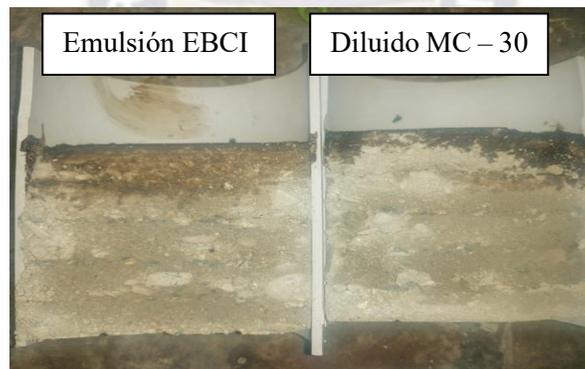
Ahora se presenta los resultados de la cuarta parte del procedimiento, es decir, la capa base de granulometría de tipo abierto, variando los siguientes parámetros de evaluación: se mantuvo el material granular del pozo 2, pero se cambió el contenido de humedad disminuyendo su valor en un 2% menos.

Fotografía 56: Medición de penetración – Pozo 2 – 0,8 Litro/m² - -2%Hum_Óptima

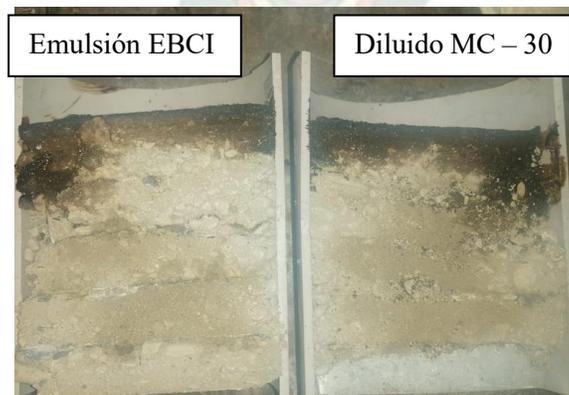


Fuente: Fotografía realizada en el laboratorio del “IEM”

Fotografía 57: Medición de penetración – Pozo 2 – 1 Litro/m² - -2% Hum_Óptima



Fotografía 58: Medición de penetración – Pozo 2 – 1,2 Litro/m² - -2%Hum_Óptima



Fuente: Fotografía realizada del “IEM”

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 21: Medición de Penetración 4 – Barrido – Pozo 2

| Tipo de Limpieza | Imprimante | Dosificación | | |
|------------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | 0,8 L/m ² | 1 L/m ² | 1,2 L/m ² |
| Barrido | Diluido MC-30 | 8 | 11 | 13 |
| | Emulsión EBCI | 6 | 8 | 10 |

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Análisis de datos

Realizando el análisis de datos de los valores obtenidos en el punto anterior, se recopilaron todos los resultados, donde se hicieron 5 repeticiones de cada una de las variaciones de los parámetros en estudio; y de todos estos valores se obtuvo el promedio y su desviación estándar y de esta manera obtener información sobre la dispersión y variabilidad de los datos medidos en laboratorio, respecto a su media. Luego, a partir de esta media calculada se graficó histogramas, los cuales sirven de apoyo para verificar la penetración obtenida en cada uno de los moldes.

Donde se identificó como CBC: Capa de Base Cerrada y CBA: Capa de Base Abierta.

Tabla 22: Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBC

| Material: | Capa de Base Cerrada | | | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barrido | % Humedad Óptima | | | -2% Humedad Óptima | | |
| Imprimante | Dosificación de Riego | | | Dosificación de Riego | | |
| EMULSIÓN | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| ASFÁLTICA | Litros/m ² |
| Medición 1 | 0 mm. | 5 mm. | 4 mm. | 2 mm. | 7 mm. | 8 mm. |
| Medición 2 | 1 mm. | 4 mm. | 5 mm. | 1 mm. | 6 mm. | 7 mm. |
| Medición 3 | 0 mm. | 5 mm. | 4 mm. | 3 mm. | 7 mm. | 6 mm. |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Medición 4 | 0 mm. | 4 mm. | 3 mm. | 2 mm. | 8 mm. | 8 mm. |
| Medición 5 | 1 mm. | 6 mm. | 6 mm. | 2 mm. | 8 mm. | 9 mm. |
| Media | 0 mm. | 5 mm. | 4 mm. | 2 mm. | 7 mm. | 8 mm. |
| Des. Estándar | 0,71 | 0,87 | 0,99 | 0,7 | 0,81 | 1,0 |

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se procede a presentar la segunda parte de los resultados medidos de penetración para el asfalto diluido y con todos los parámetros variados a lo largo del procedimiento para la granulometría de base cerrada.

Tabla 23: Mediciones de penetración en Diluido – Barrido – CBC

| Material: | Capa de Base Cerrada | | | | | |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barrido | % Humedad Óptima | | | -2% Humedad Óptima | | |
| Imprimante | Dosificación de Riego | | | Dosificación de Riego | | |
| ASFALTO | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| DILUIDO | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² |
| Medición 1 | 3 mm. | 6 mm. | 5 mm. | 4 mm. | 8 mm. | 8 mm. |
| Medición 2 | 3 mm. | 5 mm. | 5 mm. | 3 mm. | 7 mm. | 7 mm. |
| Medición 3 | 4 mm. | 6 mm. | 4 mm. | 4 mm. | 7 mm. | 6 mm. |
| Medición 4 | 5 mm. | 7 mm. | 6 mm. | 5 mm. | 8 mm. | 8 mm. |
| Medición 5 | 2 mm. | 6 mm. | 6 mm. | 4 mm. | 8 mm. | 9 mm. |
| Media | 3 mm. | 6 mm. | 5 mm. | 4 mm. | 8 mm. | 8 mm. |
| Des. Estándar | 1,11 | 0,71 | 0,87 | 0,71 | 0,71 | 1,0 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5: Histograma – Emulsión: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBC

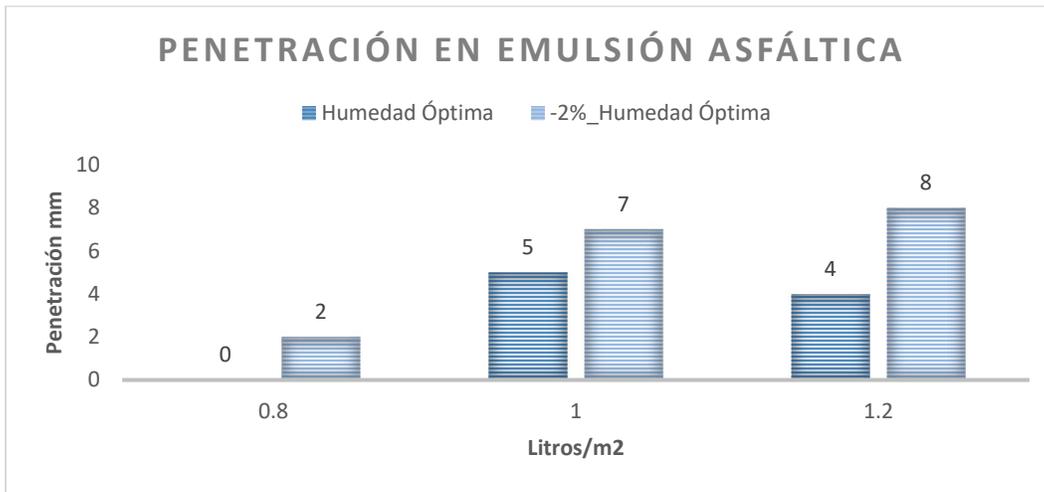


Figura 6: Histograma – Diluido: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBC

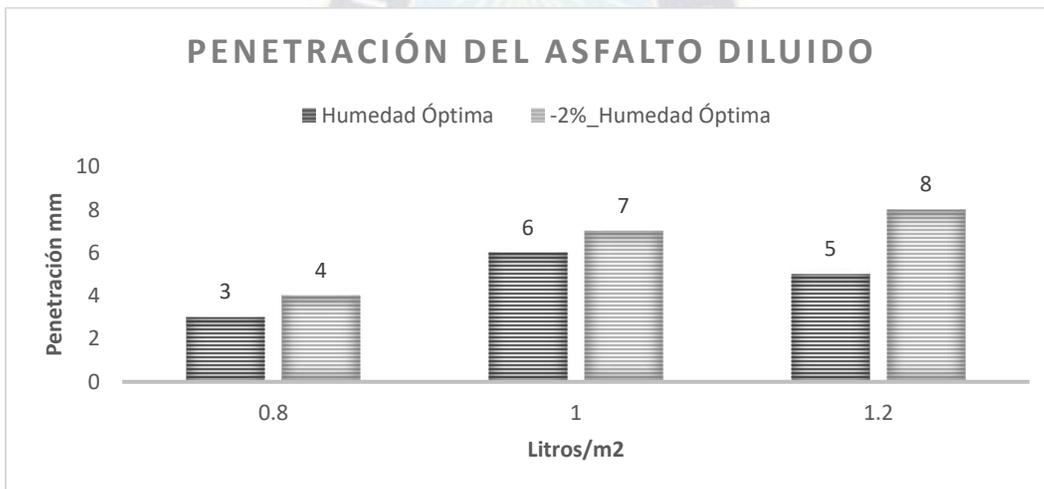


Figura 7: Histograma con Hum_Óptima: Emulsión vs Diluido – CBC



“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Figura 8: Histograma con -2% Hum_ Óptima: Emulsión vs Diluido – CBC



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBA

| Material: | | Capa de Base Abierta | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barrido | % Humedad Óptima | | | -2% Humedad Óptima | | |
| Imprimante | Dosificación de Riego | | | Dosificación de Riego | | |
| EMULSIÓN | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| ASFÁLTICA | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² |
| Medición 1 | 13 mm. | 15 mm. | 19 mm. | 6 mm. | 8 mm. | 10 mm. |
| Medición 2 | 12 mm. | 13 mm. | 18 mm. | 6 mm. | 7 mm. | 11 mm. |
| Medición 3 | 11 mm. | 14 mm. | 17 mm. | 5 mm. | 7 mm. | 10 mm. |
| Medición 4 | 12 mm. | 14 mm. | 17 mm. | 5 mm. | 8 mm. | 9 mm. |
| Medición 5 | 11 mm. | 14 mm. | 19 mm. | 4 mm. | 8 mm. | 9 mm. |
| Media | 12 mm. | 14 mm. | 18 mm. | 5 mm. | 8 mm. | 10 mm. |
| Des. Estándar | 0,87 | 0,71 | 1,0 | 0,86 | 0,69 | 0,85 |

Fuente: Elaboración Propia

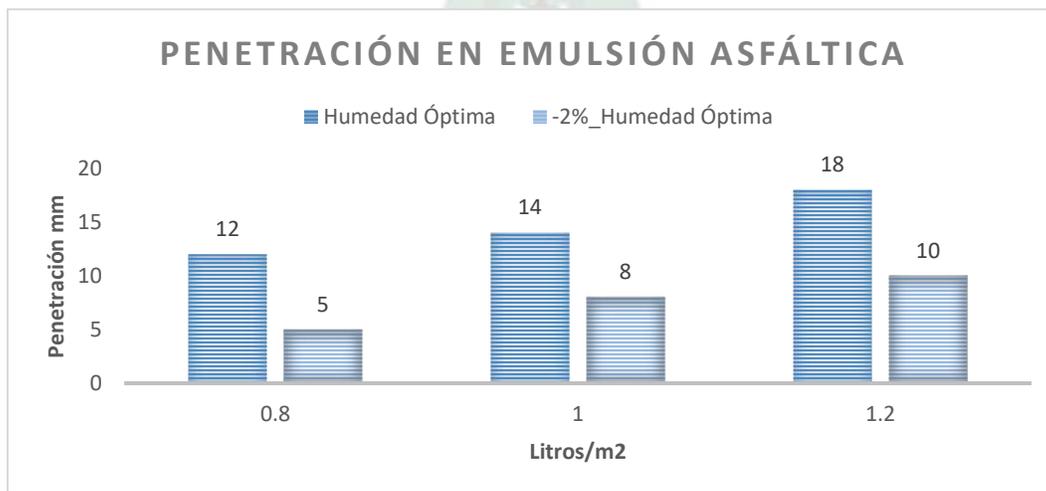
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 25 : Mediciones de penetración en Emulsión – Barrido – CBA

| Material: | | Capa de Base Abierta | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barrido | % Humedad Óptima | | | -2% Humedad Óptima | | |
| Imprimante | Dosificación de Riego | | | Dosificación de Riego | | |
| ASFALTO | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
| DILUIDO | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² | Litros/m ² |
| Medición 1 | 15 mm. | 20 mm. | 22 mm. | 8 mm. | 11 mm. | 13 mm. |
| Medición 2 | 16 mm. | 20 mm. | 20 mm. | 8 mm. | 10 mm. | 12 mm. |
| Medición 3 | 14 mm. | 18 mm. | 21 mm. | 9 mm. | 12 mm. | 14 mm. |
| Medición 4 | 14 mm. | 18 mm. | 21 mm. | 7 mm. | 11 mm. | 12 mm. |
| Medición 5 | 12 mm. | 18 mm. | 22 mm. | 7 mm. | 10 mm. | 12 mm. |
| Media | 14 mm. | 19 mm. | 21 mm. | 8 mm. | 11 mm. | 13 mm. |
| Des. Estándar | 1,0 | 1,0 | 0,81 | 0,81 | 0,79 | 1,0 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 9 : Histograma – Emulsión: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBA



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10: Histograma – Diluido: Hum_Óptima vs -2%Hum_Óptima – CBA

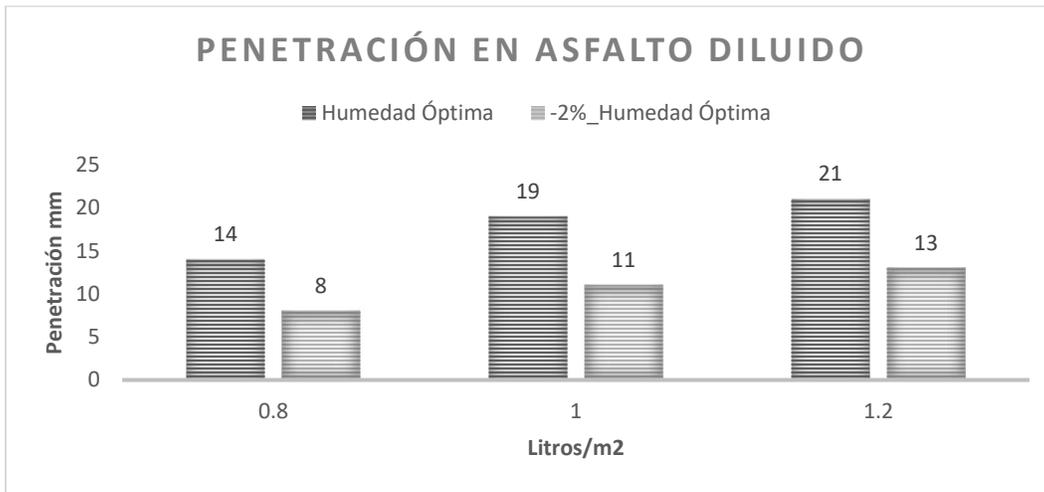


Figura 11: Histograma con Hum.Óptima: Emulsión vs Diluido – CBA

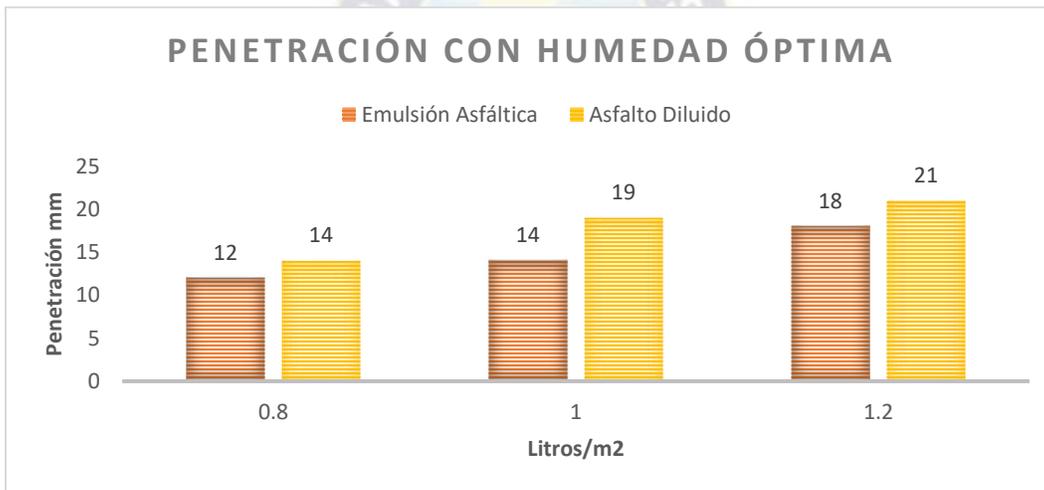


Figura 12: Histograma con -2%Hum_Óptima: Emulsión vs Diluido – CBA



Fuente: Elaboración Propia

3.6. Análisis económico

En este punto se llevará a cabo un análisis económico comparativo de dos tipos de imprimantes en el riego de imprimación de carreteras: Emulsión EBCI y Asfalto Diluido MC – 30.

Este análisis es fundamental para determinar cuál de los dos materiales ofrece una mejor relación costo – beneficio, considerando no solo el precio inicial de adquisición, sino también los costos asociados a su implementación, durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo. Para ello, se tomó en cuenta diversos factores económicos que influyen en la elección del material bituminoso, incluyendo los costos directos e indirectos, la vida útil proyectada.

Los cálculos se basan de un relevamiento de un tramo de un proyecto de construcción carretero en el siguiente bosquejo donde los cálculos se realizarán en las tablas que siguen a continuación.

Los ítems (actividades) que estarán relacionados a la construcción de la carretera son:

- Instalación de faenas.
- Extracción y retiro de material vegetal.
- Replanteo, trazado y control topográfico.
- Corte con equipo material suelto.
- Conformación y nivelado de subrasante.
- Conformación y transporte de capa sub base.
- Conformación y transporte de capa base.
- Riego de imprimación con emulsión asfáltica.
- Rego de imprimación con asfalto diluido.
- Carpeta asfáltica $e = 5\text{cm}$.
- Pintado de señalización horizontal.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Donde el riego de imprimación realizado con los imprimantes de emulsión y diluido se harán a dos proyectos diferentes cambiando de producto en cada presupuesto, a continuación, se presentará los precios unitarios de las actividades más representativas de la construcción de la carretera y los demás estarán adjuntos en la parte de anexos.

ACTIVIDAD: CONFORMACIÓN Y TRANSPORTE DE CAPA BASE E=20CM
ITEM: CCB 007
UNIDAD: M3 **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT [Bs] |
|--|--------|--------|--------------|---------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| MATERIAL PARA CAPA BASE | M3 | 1,35 | 110 | 148,5 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 148,50 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0,3600 | 14,71 | 5,30 |
| OPERADOR | HR | 0,0900 | 23,70 | 2,13 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 7,43 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71,18% | | | 5,29 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14,94% | | | 1,90 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 14,62 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| CAMIÓN VOLQUETA 10 M3 | HRS | 0,1125 | 87,50 | 9,84 |
| CAMIÓN CISTERNA 6000LT | HRS | 0,0157 | 81,25 | 1,28 |
| MOTONIVELADORA 120 HP | HRS | 0,0154 | 350,00 | 5,39 |
| VIBROCOMPACTADORA RODILLO PATA DE CABRA | HRS | 0,0190 | 315,50 | 5,99 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 22,50 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5,00% | | | 0,73 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 23,23 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15,00% | | 27,95 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 27,95 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7,00% | | 15,00 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 15,00 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3,09% | | 7,09 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 7,09 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 236,39 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: RIEGO DE IMPRIMACION ASFALTO DILUIDO MC-30
ITEM: RID 008
UNIDAD: M2 **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT .[Bs] |
|--|--------|--------|--------------|----------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| CEMENTO ASFÁLTICO MC 30 | LT | 3,5 | 10,05 | 35,16 |
| DIESEL | LT | 1 | 3,72 | 3,72 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 38,88 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0,0166 | 14,71 | 0,24 |
| OPERADOR | HR | 0,0526 | 26,24 | 1,38 |
| OBRAERO | HR | 0,0541 | 23,70 | 1,28 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 2,91 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71,18% | | | 2,07 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14,94% | | | 0,74 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 5,72 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| TRACTO CAMIÓN | HRS | 0,0036 | 208,3 | 0,75 |
| CARRO IMPRIMADOR | HRS | 0,0099 | 292,3 | 2,89 |
| ESCOBA MECANICA DE AUTOPROPULSIÓN | HRS | 0,0006 | 56,5 | 0,03 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 3,68 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5,00% | | | 0,29 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 3,96 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15,00% | | 7,28 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 7,28 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7,00% | | 3,91 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 3,91 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3,09% | | 1,85 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 1,85 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 61,60 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: RIEGO DE IMPRIMACION CON EMULSION ASFALTICA EBCI

ITEM: RIE 008

UNIDAD: M2 MONEDA: BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|-----------|--------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| EMULSION ASFÁLTICA EBCI | LT | 3,5 | 9,485 | 33,198 |
| AGUA | LT | 1,5 | 2,3 | 3,45 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 36,65 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0,0166 | 14,71 | 0,24 |
| OPERADOR | HR | 0,0526 | 26,24 | 1,38 |
| OBrero | HR | 0,0541 | 23,70 | 1,28 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 2,91 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71,18% | | | 2,07 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14,94% | | | 0,74 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 5,72 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| TRACTO CAMIÓN | HRS | 0,0036 | 208,33 | 0,75 |
| CARRO IMPRIMADOR | HRS | 0,0099 | 292,30 | 2,89 |
| ESCOBA MECANICA AUTOPROPULSION | HRS | 0,0006 | 56,56 | 0,03 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 3,68 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5,00% | | | 0,29 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 3,96 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | 15,00% | | | 6,95 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 6,95 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | 7,00% | | | 3,73 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 3,73 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | 3,09% | | | 1,76 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 1,76 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 58,77 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Y realizando un presupuesto A donde el riego de imprimación se lo hará con asfalto diluido MC – 30 y otro B con el riego de emulsión asfáltica EBCI, se mostrará la tabla resumen de ambos presupuestos:

Tabla 26 : Resumen de costos con Emulsión Asfáltica

| No. | Actividad | Unidad | Metrado | P.U. | Costo Parcial |
|----------------------|--|----------------|----------|----------|----------------------|
| | | | Vol. | [Bs] | [Bs] |
| 1 | Instalación de faenas | glb | 1 | 11314,67 | 11314,67 |
| 2 | Extracción y retiro de material vegetal | m ³ | 6984,02 | 372,45 | 2601198,25 |
| 3 | Replanteo, trazado y control topográfico | m | 30900,00 | 35,94 | 1110546,00 |
| 4 | Corte con equipo de material suelto | m ³ | 3404,60 | 16,54 | 56312,08 |
| 5 | Conformación y Nivelado de Subrasante | m ² | 26931,02 | 37,61 | 1012875,66 |
| 6 | Conformación y transporte de Capa Sub Base | m ³ | 4168,58 | 213,27 | 889033,06 |
| 7 | Conformación y transporte de Capa Base | m ³ | 3910,73 | 236,39 | 924457,46 |
| 8 | Riego de imprimación con Emulsión Asfáltica | m ² | 23684,00 | 58,77 | 1391908,68 |
| 9 | Carpeta asfáltica e=5cm | m ² | 22920,00 | 155,76 | 3570019,20 |
| 10 | Pintado de señalización horizontal | m ² | 7338,75 | 18,14 | 133124,92 |
| Σ Costo Total | | | | | 11.700.789,99 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27: Resumen de costos con Asfalto Diluido

| No. | Actividad | Unidad | Metrado | P.U. | Costo Parcial |
|----------------------|---|----------------|-------------|----------|----------------------|
| | | | [Bs] - ITEM | [Bs] | [Bs] |
| 1 | Instalación de faenas | glb | 1 | 11314,67 | 11314,67 |
| 2 | Extracción y retiro de material vegetal | m ³ | 6984,02 | 372,45 | 2601198,25 |
| 3 | Replanteo, trazado y control topográfico | m | 30900,00 | 35,94 | 1110546,00 |
| 4 | Corte con equipo de material suelto | m ³ | 3404,6 | 16,54 | 56312,08 |
| 5 | Conformación y Nivelado de Subrasante | m ² | 26931,02 | 37,61 | 1012875,66 |
| 6 | Conformación y transporte de Capa Sub Base | m ³ | 4168,58 | 213,27 | 889033,05 |
| 7 | Conformación y transporte de Capa Base | m ³ | 3910,73 | 236,39 | 924457,46 |
| 8 | Riego de imprimación con Asfalto Diluido | m ² | 23684,00 | 61,6 | 1458934,40 |
| 9 | Carpeta asfáltica e=5cm | m ² | 22920,00 | 155,76 | 3570019,20 |
| 10 | Pintado de señalización horizontal | m ² | 7338,75 | 41,71 | 306099,26 |
| Σ Costo Total | | | | | 11.940.790,05 |

Fuente: Elaboración Propia

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis del Estudio de Suelos

Luego de completar el estudio de suelos de los dos pozos seleccionados, y realizar los ensayos de laboratorio para garantizar que ambas muestras de suelo cumplen con los criterios necesarios para ser considerados como materiales adecuados para conformar una capa base.

En el texto de especificaciones técnicas de construcción de la ABC, indica una serie de requisitos que el material seleccionado debe cumplir para poder ser utilizado de manera efectiva. Como primer punto se tiene una tabla de gradaciones granulométricas (ver tabla No 2) que sigue los estándares de la Norma AASHTO M – 147, esta tabla sirve como referencia inicial para evaluar la distribución de tamaños de partículas del material. Además de las gradaciones granulométricas, existen otros requisitos técnicos y características que el material debe cumplir para ser aceptado, según lo indicado en la especificación de la ABC, se describirá en detalle estos requisitos adicionales para garantizar que el suelo en estudio cumpla con todas las especificaciones.

- La fracción que pasa el tamiz No 40 deberá tener un límite líquido inferior a 25 y un índice de plasticidad inferior o igual a 6%. Pasando este límite, hasta 8 como máximo, el equivalente de arena deberá ser mayor que 30%.
- La fracción fina de la capa base será arena triturada o natural. La fracción que pasa el tamiz No 200 de la serie U.S. Standard no debe ser mayor que dos tercios de la fracción que pasa el tamiz No 40 de la misma serie.
- El agregado retenido en el tamiz No 10 estará constituido de partículas duras y durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y exentos de materia vegetal, terrones de arcilla y otras substancias perjudiciales.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

- Los agregados gruesos deberán tener un desgaste no superior a 40% a 500 revoluciones según lo determine el ensayo AASHTO T – 96.
- El 50% de las partículas retenidas en el tamiz No 4, de la Serie U.S. Standard, para los agregados utilizados para capa base en pavimentos flexibles deben tener al menos una cara fracturada por trituración.

Adicionalmente en el manual de especificaciones técnicas de la “INVIAS”, también tiene una serie de requisitos que el material granular debe cumplir para formar la capa base:

Tabla 28: Especificaciones para capa base – “INVIAS”

| ENSAYO | NORMA | ESPECIFICACIÓN | VALOR |
|---------------------------|------------|----------------|------------|
| Límite Líquido, LL | E – 125-07 | % máximo | 25 |
| Índice de Plasticidad, IP | E – 126-07 | % máximo | NP |
| Equivalente de Arena | E – 133-07 | % mínimo | 20 |
| Desgaste de Los Ángeles | E – 218-07 | % máximo | 35 |
| Valor de Azul de Metileno | E – 235-07 | máximo | 10 |
| CBR | E – 148-07 | % mínimo | 90% – 100% |

Fuente: Especificaciones técnicas – “INVIAS”

Para el “análisis granulométrico” de los 2 pozos, se realizaron un total de 3 pruebas para cada ensayo, abarcando ambos tipos de suelos recolectados. La muestra 1 presenta características de material cerrado, es decir, con mayor contenido de partículas finas, mientras que la muestra 2 tiene una mayor presencia granular, como gravas y piedras

Luego se llevó a cabo el ensayo de límites de consistencia (límites de Atterberg), para determinar las propiedades de plasticidad y fluidez del suelo. Para ambos tipos de suelo se obtuvieron suelos no plásticos, y por consecuencia el índice plástico también; el límite líquido menor a 30 y con un índice de grupo igual a 0. Estas características son beneficiosas para la

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

estabilidad del material, especialmente en aplicaciones de capa base cumpliendo con los requisitos, tanto de las especificaciones de la “ABC” y el de “INVIAS”. A continuación, se presentarán tablas resúmenes de los resultados obtenidos:

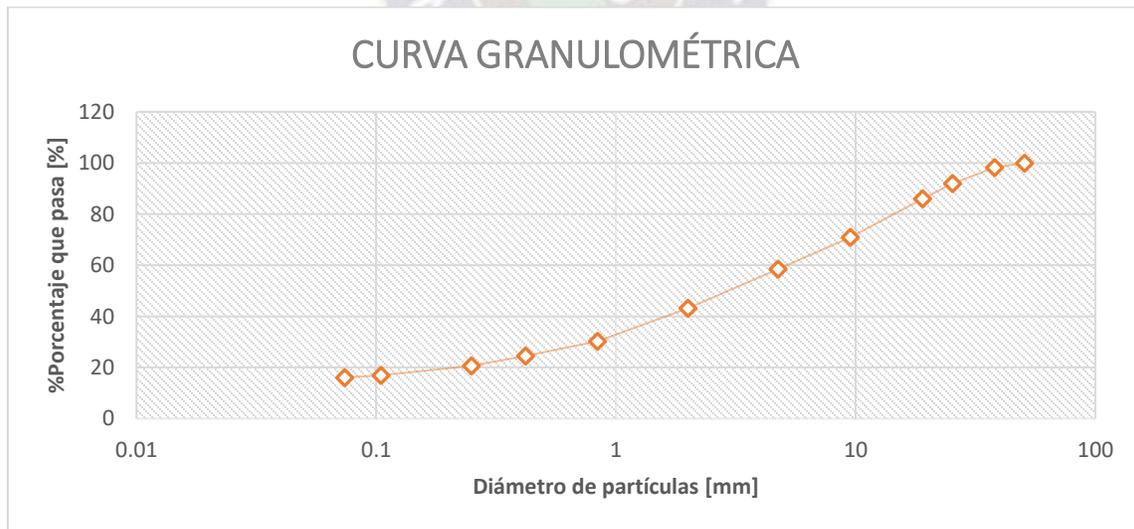
Tabla 29: Resumen de granulometría y límites - Pozo 1

| Muestra | Granulometría - % que pasa | | | | | | | | | | Límites de Atterberg | | |
|---------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----------------------|----|----|
| | 2” | 1 ½” | ¾” | 3/8” | No4 | N10 | N20 | N40 | N60 | N200 | LL | LP | IG |
| 1 | 100 | 98,2 | 85,9 | 70,7 | 60,1 | 54,5 | 38,2 | 30,9 | 26,1 | 20,27 | 25 | NP | 0 |
| 2 | 100 | 100 | 88,4 | 74,4 | 61,6 | 56,4 | 44,2 | 36,5 | 31,0 | 19,45 | 24 | NP | 0 |
| 3 | 100 | 100 | 86,8 | 71,4 | 59,2 | 50,0 | 41,3 | 32,3 | 26,6 | 18,82 | 25 | NP | 0 |

Fuente: Elaboración Propia

La curva granulométrica representativa de la muestra del pozo 1 se mostrará en la figura No. 13, y como se puede observar corresponde a un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango por lo que estaría bien graduado.

Figura 13: Curva granulométrica representativa Pozo 1

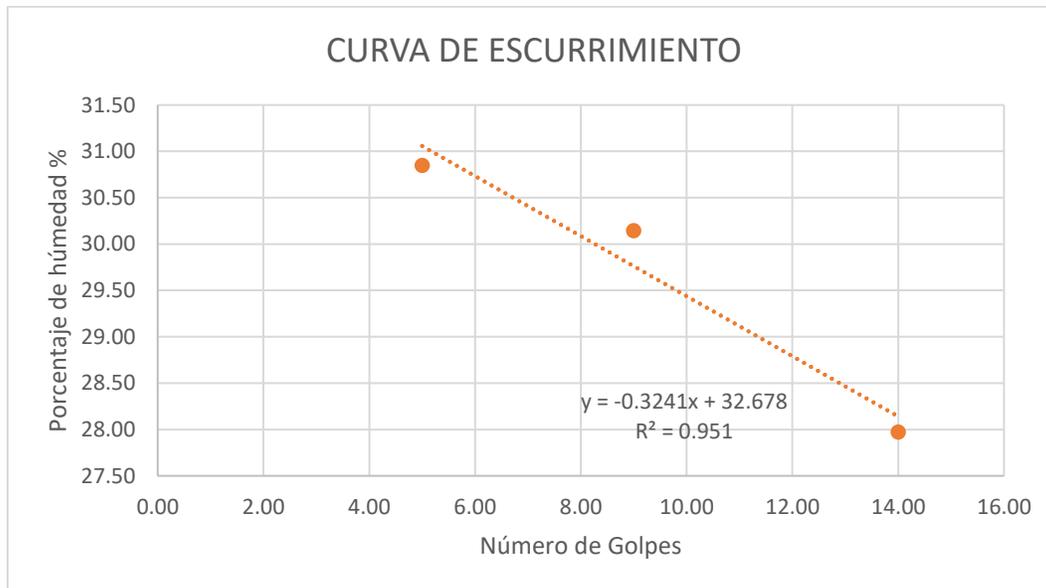


Asimismo, se presenta la figura 14, que muestra la relación entre el contenido de humedad, y su correspondiente número de golpes, denominada como la Curva de Esguerramiento del pozo No 1.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Para hallar el límite plástico se realizó el promedio de los contenidos de humedad obtenidos en cada muestra y el índice plástico es la diferencia de los límite líquido y plástico. Los resultados obtenidos indican que el suelo está en el extremo no expansivo, lo cual indica que es favorable para aplicaciones de construcción.

Figura 14: Curva de escurrimiento representativa Pozo 1



Fuente: Elaboración Propia

Luego se presenta la tabla resumen de los resultados obtenidos de la granulometría y límites de Atterberg del pozo No 2 (granulometría abierta).

Tabla 30: Resumen de granulometría y límites - Pozo 2

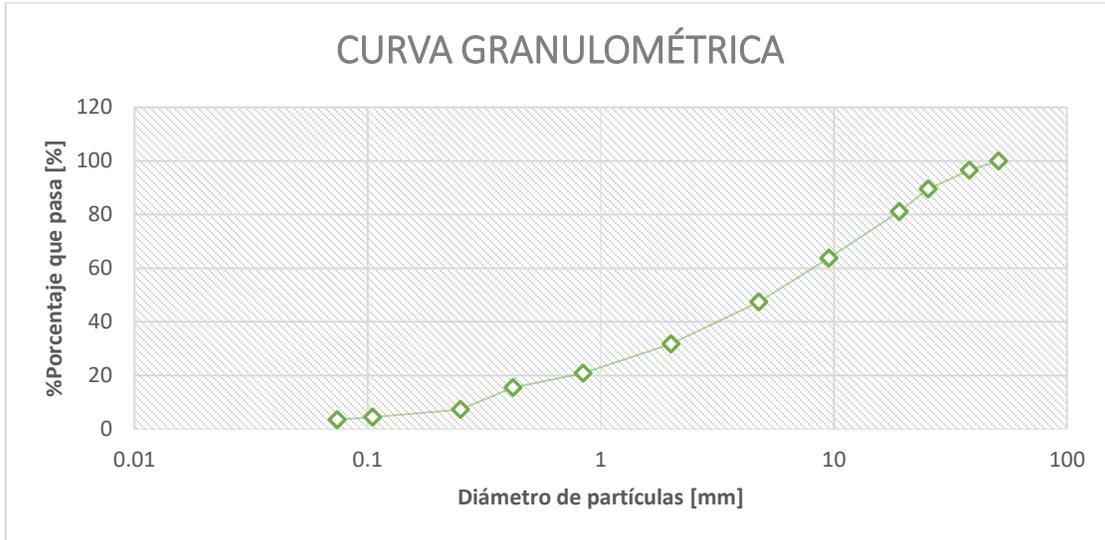
| Muestra | Granulometría - % que pasa | | | | | | | | | | Límites de Atterberg | | |
|---------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|----|----|
| | 2" | 1 ½" | ¾" | 3/8" | No4 | N10 | N20 | N40 | N60 | N200 | LL | LP | IG |
| 1 | 100 | 96,5 | 81,0 | 63,7 | 47,4 | 31,6 | 20,7 | 15,4 | 7,3 | 3,53 | 20 | NP | 0 |
| 2 | 100 | 97,0 | 82,7 | 66,3 | 50,5 | 35,6 | 21,1 | 15,8 | 8,61 | 5,9 | 19 | NP | 0 |
| 3 | 100 | 96,0 | 80,7 | 63,3 | 46,9 | 30,9 | 20,1 | 14,1 | 6,32 | 2,7 | 18 | NP | 0 |

Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

La curva granulométrica representativa de la muestra del pozo 2 se muestra en la figura 15, y como se puede observar corresponde a un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y también se le puede denominar un suelo bien graduado.

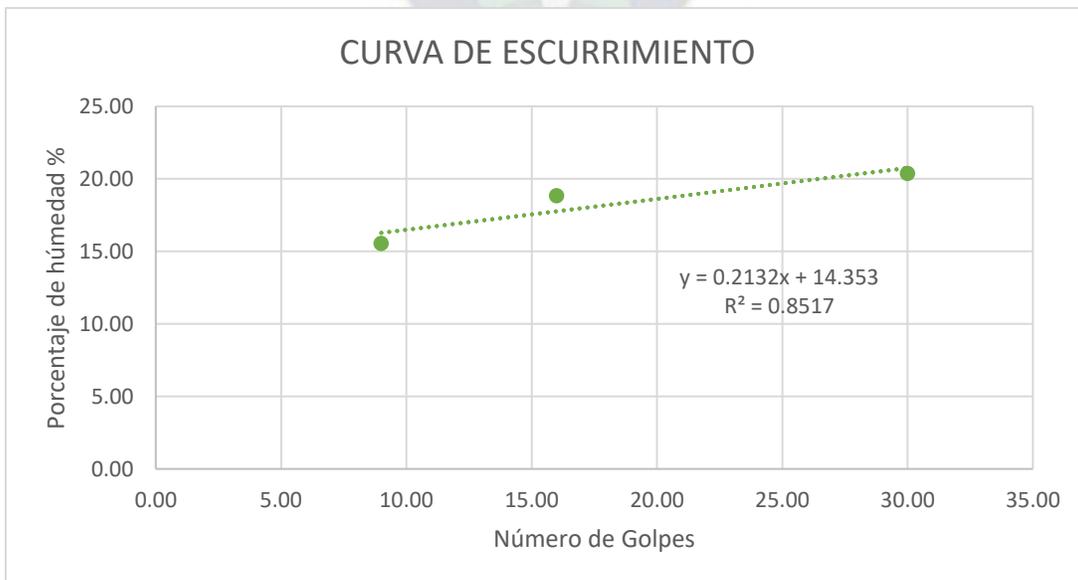
Figura 15: Curva granulométrica representativa Pozo 2



Fuente: Elaboración Propia

De igual manera se presentará la figura 16, la curva de escurrimiento del pozo 2.

Figura 16: Curva de escurrimiento representativa Pozo 2



Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Luego de realizado los ensayos de granulometría y límites de consistencia, se procedió a clasificar las muestras de suelos por los métodos AASHTO y SUCS.

Primero se clasificarán ambas muestras de suelo de los pozos 1 y 2 mediante el “**Método AASHTO**”. Las muestras se categorizaron como suelos que contienen fragmentos de piedra grava y arena, con simbología A-1-b para el pozo 1 y A-1-a para el pozo 2. Ambas muestras corresponden a una calidad que va de buena a excelente

Tabla 31: Resumen de clasificación por AASHTO - Pozo 1

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo | Calidad |
|---------|------------|---------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1 | 1 | A – 1 – b | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente a Buena |
| | 2 | A – 1 – b | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente a Buena |
| | 3 | A – 1 – b | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente a Buena |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32: Resumen de clasificación por AASHTO - Pozo 2

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo | Calidad |
|---------|------------|---------------|-------------------------------------|-----------|
| 2 | 1 | A – 1 – a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |
| | 2 | A – 1 – a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |
| | 3 | A – 1 – a | Fragmentos de piedra, grava y arena | Excelente |

Fuente: Elaboración Propia

De manera consiguiente se realizó la clasificación por el “**Método SUCS**” de los pozos seleccionados y de todas sus muestras correspondientes, donde se obtuvo la siguiente caracterización en las tablas 33 y 34.

Donde para el pozo No 1, en todos los ensayos realizados dio como resultado un suelo “SM”, que corresponde a un suelo con predominancia en arena limosa con grava. Y para el pozo

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

No 2, resulto una clasificación predominante “GW”, el cual se trata de una muestra de grava bien graduada.

Tabla 33: Resumen de clasificación por SUCS – Pozo 1

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo |
|---------|------------|---------------|------------------------|
| 1 | 1 | SM | Arena limosa con grava |
| | 2 | SM | Arena limosa con grava |
| | 3 | SM | Arena limosa con grava |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: Resumen de clasificación por SUCS - Pozo 2

| Pozo No | Muestra No | Clasificación | Tipo de Suelo |
|---------|------------|---------------|---------------------|
| 2 | 1 | GW | Grava bien graduada |
| | 2 | GW | Grava bien graduada |
| | 3 | GW | Grava bien graduada |

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de “**Equivalente Arena**” (E.A.) es un método utilizado para determinar la cantidad de partículas finas o materia orgánica presentes en los áridos que afectan su calidad. En ambos pozos los valores obtenidos no sobrepasaron los límites especificados, cumpliendo así con lo establecido.

Tabla 35: Análisis de resultados E.A. - Pozo 1

| Pozo No | Muestra No | E.A. | Especificación | Observación |
|---------|------------|------|----------------|-------------|
| 1 | 1 | 22 % | MIN 20% | Cumple |
| | 2 | 25 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 36: Análisis de resultados E.A. - Pozo 2

| Pozo No | Muestra No | E.A. | Especificación | Observación |
|----------------|-------------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| 2 | 1 | 30 % | MIN 20% | Cumple |
| | 2 | 33 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Otro ensayo importante es el de **“Desgaste de los Ángeles”** el cual sirve para simular las condiciones de desgaste abrasivo que experimentan los áridos durante el tráfico y la exposición a las condiciones ambientales en las carreteras. Donde los resultados obtenidos fueron valores bajos, en relación con el valor máximo de las especificaciones, el cual indica una baja pérdida de masa y tiene una buena resistencia al desgaste de la muestra, cumpliendo los requisitos de las especificaciones.

Tabla 37: Análisis de resultados de desgaste - Pozo 1

| Pozo No | Muestra No | Desgaste | Especificación | Observación |
|----------------|-------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 1 | 20 % | MAX 35% | Cumple |
| | 2 | 22 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38: Análisis de resultados de desgaste - Pozo 2

| Pozo No | Muestra No | Desgaste | Especificación | Observación |
|----------------|-------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 2 | 1 | 15 % | MAX 35% | Cumple |
| | 2 | 14 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Como siguiente ensayo se realizó el ensayo de **“Compactación”**, donde se determinó el contenido de humedad óptimo y a su vez la máxima densidad seca de los dos pozos en estudio, para su posterior aplicación en el ensayo del CBR.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 39: Resumen de resultados de compactación - Pozo 1

| Pozo No | Muestra No | % Humedad Óptima | Densidad Seca |
|----------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 7,5 % | 2,21 |
| | 2 | 7,56 % | 2,2 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40: Resumen de resultados de compactación - Pozo 2

| Pozo No | Muestra No | % Humedad Óptima | Densidad Seca |
|----------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| 2 | 1 | 6,6 % | 2,24 |
| | 2 | 6,5 % | 2,2 |

Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo de “CBR” (California Bearing Ratio), que utiliza para evaluar la capacidad de soporte del suelo bajo condiciones de carga. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 41, donde ambas muestras cumplen con los requisitos de las especificaciones.

Tabla 41: Resumen de resultados de CBR

| Pozo No | Muestra | CBR 100% | CBR 95% | CBR 100% | CBR 95% |
|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | No | 0.1” | 0.1” | 0.2” | 0.2” |
| 1 | 1 | 40 % | 35 % | 45 % | 39 % |
| | 2 | 41 % | 35 % | 47 % | 38 % |
| 2 | 1 | 45 % | 38 % | 49 % | 41 % |
| | 2 | 43 % | 39 % | 48 % | 42 % |

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Análisis del Asfalto Diluido MC – 30

Luego de realizado la caracterización del asfalto diluido MC – 30, se procederá a analizar los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados a este material bituminoso. Para

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

una mejor comprensión de los resultados, se incluirá una tabla detallada que establece los parámetros y criterios que deben cumplir los valores obtenidos, facilitando así la interpretación y evaluación de los datos recabados.

Tabla 42: Parámetros de aceptación para el diluido MC-30

| ENSAYO | MIN | MAX |
|--|--------------------------------|-----|
| Viscosidad Saybolt Furol [Segundos] | 75 | 150 |
| Punto de inflamación (Copa Abierta Tag) [grados °C] | 38 | --- |
| Agua, [%] | --- | 0,2 |
| Ensayo de destilación, [Porcentaje en vol. Del destilado total a 340°C] | | |
| a 225 °C | --- | 25 |
| a 260 °C | 40 | 70 |
| a 315 °C | 75 | 93 |
| Residuo de destilación a 340°C, [% Vol.] | 50 | --- |
| Ensayo en el residuo de destilación: | | |
| Penetración a 100 gr, 5 seg, a 25°C | 120 | 250 |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min (Ver nota 2), [cm] | 100 | --- |
| Solubilidad en tricloroetileno, [%] | 99 | --- |
| Ensayo de la Mancha | | |
| Nafta Standard | Negativa para todos los grados | |
| Solvente Nafta – Xilol, [% Xilol] | Negativa para todos los grados | |
| Solvente Heptano – Xilol, [% Xilol] | Negativa para todos los grados | |

Fuente: Manual de Ensayos de Asfaltos

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

La “**viscosidad Saybolt**” es un parámetro importante que se utiliza para evaluar la fluidez y consistencia de los asfaltos y otros fluidos bituminosos. Donde todas las pruebas ensayadas cumplieron con el valor de la especificación.

Tabla 43: Análisis de resultados de viscosidad

| Muestra No | Viscosidad Saybolt | Especificación | Observación |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 142.51 seg. | | Cumple |
| 2 | 139.89 seg. | MAX 150 SEG | Cumple |
| 3 | 141.76 seg. | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de “**destilación**” es una técnica estándar utilizada para evaluar la composición y la volatilidad de los asfaltos y aceites bituminosos. Este ensayo permite determinar la temperatura a la cual comienzan a evaporarse diferentes fracciones del asfalto, lo que proporciona información sobre su calidad y estabilidad térmica.

Tabla 44: Análisis de resultados de destilación

| Temperatura | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Especificación | Observación |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| A 225 °C | 37 % | 33 % | 30 % | Max 25% | No Cumple |
| A 260 °C | 70 % | 70 % | 68 % | 40 – 70 % | Cumple |
| A 315 °C | 93 % | 91 % | 88 % | 75 – 93 % | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Análisis de resultados de residuo de destilación

| Muestra NO | Residuo de destilación | Especificación | Observación |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 63.5 % | | Cumple |
| 2 | 62 % | MIN 50 % | Cumple |
| 3 | 62.5 % | | Cumple |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

El siguiente ensayo a evaluar es el de “**penetración**” que es utilizada para medir la dureza o resistencia del asfalto a la penetración de una aguja estándar bajo condiciones específicas de temperatura y carga. Donde un valor de penetración bajo sugiere un asfalto más duro y resistente, mientras que un valor alto indica suavidad y flexibilidad, como se verá en la tabla de evaluación, el valor de penetración cumple los requisitos y tiene un valor promedio de 139.

Tabla 46: Análisis de resultados de penetración

| Muestra No | Penetración | Especificación | Observación |
|------------|-------------|------------------------|-------------|
| 1 | 140 dmm | ENTRE 120 – 250 dmm | Cumple |
| 2 | 138 dmm | | Cumple |
| 3 | 140 dmm | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Luego sigue el ensayo de “**Ductilidad**” que se utiliza para evaluar la capacidad de alargamiento y deformación del asfalto antes de su ruptura. A continuación, se presentarán los resultados de las muestras ensayadas donde en todas las muestras se obtuvieron valores de alargamiento que superaron los 150 cm., donde cumple con los parámetros de aceptación, el cual es un valor alto e indica un asfalto más flexible y resistente a la deformación.

Tabla 47: Resumen de resultados de ductilidad

| Muestra No | Ductilidad | Especificación | Observación |
|------------|------------|----------------|-------------|
| 1 | > 150 cm | MIN 100 cm | Cumple |
| 2 | > 150 cm | | Cumple |
| 3 | > 150 cm | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

El “**punto de inflamación**” es un parámetro crucial que se utiliza para evaluar la seguridad y estabilidad térmica de los asfaltos y aceites bituminosos. Los resultados obtenidos de las

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

muestras del diluido MC – 30 dio como valor representativo de 51°C, y cumple con el requisito de aceptación, el cual garantiza la manipulación y el uso seguro del asfalto.

Tabla 48: Resumen de resultados de punto de inflamación

| Muestra No | Punto de Inflamación | Especificación | Observación |
|------------|----------------------|----------------|-------------|
| 1 | 51°C | | Cumple |
| 2 | 51°C | MIN 38°C | Cumple |
| 3 | 52°C | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de la mancha es una prueba utilizada para evaluar la adherencia y cohesión del asfalto diluido en relación con la pérdida de peso por evaporación. Donde para el 30% se obtuvo el negativo en el papel filtro.

Tabla 49: Resumen de resultados ensayo de la mancha

| Muestra No | % Xileno | Especificación | Observación |
|------------|---------------|----------------|-------------|
| 1 | 30 % Negativo | | Cumple |
| 2 | 30 % Negativo | Negativo | Cumple |
| 3 | 30 % Negativo | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Análisis de la Emulsión Asfáltica EBCI

La caracterización de la emulsión asfáltica EBCI es esencial para garantizar la calidad y el rendimiento del material en cuestión, donde se presentarán los resultados de los ensayos realizados, siguiendo la tabla de especificaciones proporcionado por la empresa SYNTEX Asphalt SRL, que establece los estándares de calidad y desempeño requeridos para su uso en obras viales.

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 50: Especificaciones técnicas emulsión “EBCI”

| Descripción del ensayo | Unidad | Especificación | | Método ASTM/AASHTO |
|--|----------|----------------|------|-----------------------|
| | | Min. | Max. | |
| Ensayos a la Emulsión | | | | |
| Viscosidad Saybolt Furol a 25°C | [seg] | | 200 | D244/T72 |
| Residuo Asfáltico de Evaporación | [%] | 40 | | D6934/T179 |
| Cont. de hidrocarburos por Destilación | ml/100ml | | 20 | D6997/T78 |
| Cont. de Agua por Destilación | [%] | | 45 | D6997/T55 |
| Tamizado (850 um) | [%] | | 0,10 | D244/T59 |
| Ensayos al residuo de evaporación | | | | |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min | [cm] | 40 | | D113/T51 |
| Viscosidad a 60°C | [mPa*s] | | 400 | D2171/T202 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizó el ensayo de "**Viscosidad Saybolt**", que se utiliza para evaluar la fluidez y la consistencia de una emulsión. Se obtuvo un valor representativo de 49 segundos, el cual cumple con las especificaciones técnicas de la emulsión.

Tabla 51: Análisis de resultados de viscosidad Saybolt

| Muestra No | Viscosidad Saybolt | Especificación | Observación |
|------------|--------------------|----------------|-------------|
| 1 | 45.55 seg. | | Cumple |
| 2 | 51.65 seg. | | Cumple |
| 3 | 48.7 seg. | MAX 200 seg | Cumple |
| Em-2 | 120 seg. | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de "**Contenido de residuo asfáltico por evaporación**" es una prueba que se realiza para evaluar el contenido de residuo de la emulsión asfáltica EBCI. En la tabla resumen se

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ven reflejados valores muy por encima del valor mínimo esperado, lo cual se puede concluir que la emulsión es satisfactoria para su aplicación en campo. Tanto como el primer como el segundo lote de emulsión provista.

Tabla 52: Análisis de resultados de residuo por evaporación

| Muestra No | %Residuo Asfáltico | Especificación | Observación |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 67.4 % | | Cumple |
| 2 | 68 % | | Cumple |
| 3 | 68.2 % | MIN 40% | Cumple |
| Em-2 | 48 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Y como se puede ver el segundo lote de emulsión (Em-2), cumple y está por encima del valor mínimo de la especificación de la tabla 50, garantizando los resultados obtenidos en los ensayos realizado para el procedimiento del TTI.

Como siguiente ensayo sigue el de **“Destilación”**, que se realiza para evaluar el contenido de hidrocarburos y el contenido de agua que están presentes en la muestra de emulsión EBCI. Donde los resultados obtenidos de las muestras no sobrepasaron los valores especificados y estuvieron en un rango aceptable, ambos lotes de emulsión.

Tabla 53: Análisis de resultados de hidrocarburos por destilación

| Muestra No | Cont. de hidrocarburos | Especificación | Observación |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 1.5 ml/100ml | | Cumple |
| 2 | 2 ml/100ml | MAX 20 | Cumple |
| Em-2 | 2.5 ml/100ml | ML/100ML | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Tabla 54: Análisis de resultados de contenido de agua

| Muestra No | Cont. de Agua | Especificación | Observación |
|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 30.5 % | | Cumple |
| 2 | 35 % | MAX 45 % | Cumple |
| Em-2 | 45 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Y se puede ver que para la emulsión del lote 2 (Em-2), el hidrocarburo y el contenido de agua por destilación cumplen con los valores máximos especificados de la tabla 50.

El ensayo de “**tamizado**” es una prueba estándar que se usa para la evaluación de la distribución del tamaño de partículas en la emulsión, utilizando el tamiz de tamaño de 850 µm que sirve para determinar la fracción de material que pasa a través de esta abertura. Donde todas las muestras ensayadas cumplen con el valor máximo aceptable.

Tabla 55: Resumen de resultados de tamizado

| Muestra No | % Tamizado | Especificación | Observación |
|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 0.08 % | | Cumple |
| 2 | 0.1 % | MAX 0.1% | Cumple |
| Em-2 | 0.1 % | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó el ensayo de "**ductilidad**" en la muestra de residuo de evaporación para evaluar la capacidad de elongación y deformación del asfalto antes de su ruptura. Los resultados de las muestras ensayadas mostraron que todas superaron los 150 cm, cumpliendo así con los parámetros de aceptación establecidos.

Tabla 56: Resumen de resultados de ductilidad

| Muestra No | Longitud | Especificación | Observación |
|-------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | ≥ 150 cm | | Cumple |
| 2 | ≥ 150 cm | MIN 40 cm | Cumple |
| Em-2 | 75 cm | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de “**viscosidad capilar**” se basa en el principio de que la velocidad a la que un líquido fluye a través de un tubo capilar esta inversamente relacionada con su viscosidad. Donde todas las muestras cumplieron y estuvieron por debajo del valor aceptable en la especificación.

Tabla 57: Resumen de resultados de viscosidad por capilaridad

| Muestra No | Viscosidad | Especificación | Observación |
|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 113,38 mPa*s | MAX 400 | Cumple |
| 2 | 115,5 mPa*s | mPa-s | Cumple |
| Em-2 | 210.5 mPa*s | | Cumple |

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Análisis de Resultados del Procedimiento TTI

Tras la conclusión de los ensayos de laboratorio y el procedimiento del TTI, se realizó la evaluación de la penetración de ambos asfaltos líquidos mediante una inspección visual y su correspondiente medición. El enfoque principal de la evaluación se centrará en el asfalto empleado, es decir, en cual tipo de diluido la penetración es mayor, el tipo de capa base, el tipo de limpieza superficial y la dosificación de imprimante aplicada. De esta manera se obtendrán conclusiones sobre cuál de los parámetros antes mencionados son mejores y cumplen con la penetración mínima para riegos de imprimación.

El objetivo principal del procedimiento del TTI es la medición de la penetración, tomando en cuenta las distintas variables que serán puestas en evaluación:

- Tipo de Imprimante: Emulsión EBCI – Diluido MC – 30.
- Tipo de material granular: base abierta y cerrada.
- Contenido de humedad variable.
- Limpieza de superficie: Raspado y Barrido.
- Dotaciones diferentes: 0.8 litro/m², 1 litro/m² y 1.2 litro/m².

Para iniciar con el análisis de resultados se seguirá el esquema de la imagen 12, donde como principal parámetro se evaluará al material granular de tipo cerrado.

Se evidenciaron las siguientes características en este primer lote de probeta a lo largo del procedimiento: Iniciando con la primera variable a evaluar se tiene el tipo de limpieza que se realizó a la superficie y eliminar el polvo de las probetas, donde el raspado de las mismas obtuvo valores ligeramente mayores de penetración con respecto al barrido, en el orden de 1 a 2 mm. Como segundo punto se lograron mejores valores de penetración cuando se disminuyó el contenido de humedad óptimo en un 2% menos como indica el procedimiento del TTI, donde los resultados fueron levemente altos en el rango de 2 a 4 mm. Para el volumen de riego se tienen bastantes aspectos a mencionar y ser puestos en evaluación: con la dosificación de 1.2 litros/m², se evidencio que en la superficie de la base se formó una lámina de imprimante considerable, que, al finalizar el periodo de secado, esta lamina aún era visible al momento de desmoldar las probetas y añadir también que se registró valores de penetración menores a los obtenidos con el volumen de 1 litro/m², y una de las razones puede ser a la lámina mencionada anteriormente; luego para la dosificación de volumen de 0.8 litros/m², se obtuvieron resultados de penetración donde no satisfacían los parámetros de aceptación, es decir, no superaban los 5 mm. Y como último punto

realizando este análisis comparativo entre el diluido MC – 30 y la emulsión EBCI (donde esta es exclusiva para riegos de imprimación), la emulsión obtuvo resultados iguales o mayores, cuando se disminuía el contenido de humedad en 2% menos, la limpieza superficial era del tipo de raspado y el volumen de riego con mejor penetración es la de 1 litro/m², luego para el diluido si fueron superiores con relación a la emulsión en los demás parámetros, pero no tan alejados entre si y superando el parámetro de aceptación de los 5 mm.

Siguiendo el segundo esquema mostrado en la imagen 13, y para seguir y concluir con el procedimiento del TTI, se cambiará como variable de evaluación al material granular de tipo abierto.

Al cambiar el material granular por uno de base abierta, se obtuvieron las siguientes características variando los parámetros descritos en la primera parte de este punto: Empezando con la limpieza de las probetas y realizando con la comparación del primer lote de probetas ensayadas, el “raspado” superficial mostro valores de penetración ligeramente superiores en comparación con el barrido, en un rango de 1 a 2 mm. Como segundo punto, el contenido de humedad optimo aplicado al 100% al material granular fue mucho mejor que al reducirlo en un 2%, como indicaba el procedimiento original, donde esté en comparación con el anterior lote de probetas presento esta diferencia. En tercer lugar, el volumen de riego de la penetración aumento a medida que se aumentaba la cantidad de imprimante; y como último punto, el bituminante que tuvo mejores resultados fue el asfalto diluido MC-30 con valores de penetración altos en cada una de las dosificaciones aplicadas, sin embargo, la emulsión no se quedó atrás, obteniendo resultados relativamente similares a los del material diluido. La mayor concordancia se observó en la dosificación de 1.2 litros/m².

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se recolectaron muestras de suelo de dos pozos diferentes, cada uno con características distintas. Tras realizar los ensayos de laboratorio correspondientes, ambos especímenes cumplen con los requisitos necesarios para ser considerados materiales idóneos para la conformación de una capa base granular. Estos materiales son aptos para los tipos de base que se desean analizar: base abierta y base cerrada.
- Se llevó a cabo la caracterización de los imprimantes que se aplicaran, y ambos cumplieron con todas las especificaciones requeridas para su uso posterior en el regado de las probetas. Esto asegura que los imprimantes seleccionados están adecuadamente preparados y son aptos para ser utilizados según los estándares establecidos.
- Para este tipo de base (abierto) el mejor contenido de humedad adecuado para esta granulometría es del 100%. Con esta cantidad de contenido de humedad, se obtuvieron valores de penetración de casi el doble que aplicando un 2% menos de humedad.
- La dosificación que obtuvo mejores mediciones de penetración en la granulometría abierta fue la de 1,2 litros/m², donde a medida que se aumentaba la cantidad de volumen de imprimante a regar en las probetas la penetración fue superior.
- En el caso de un tipo de capa de base cerrada, los valores de penetración fueron mucho menores con relación al de granulometría abierta, donde la medición más alta alcanzada fue de 8 mm. en el caso de la emulsión EBCI.
- La dosificación más efectiva fue de 1 litro/m², ya que, al aumentar la cantidad de imprimante en las probetas, se formó una película en la superficie que redujo la penetración, sin lograr superar los valores mínimos recomendados. Además, con un

volumen de riego de 0,8 litros/m², no se alcanzaron los niveles aceptables de penetración de 5 mm en ningún caso. Esto subraya cómo tanto el exceso como la insuficiencia de imprimante pueden comprometer la efectividad del tratamiento.

- En cuanto a la dosificación, en el tipo de base cerrada, a medida que se aumentaba la cantidad de emulsión y diluido aplicada, se formaba una película de imprimante en la superficie, lo que indicaba que no estaba penetrando adecuadamente. Esta característica seguía siendo visible incluso después de 7 días del desmolde. Sin embargo, en el caso de las probetas de capa de base abierta, la situación fue de forma contraria. Además, añadir que con la emulsión asfáltica EBCI, se observó que la imprimación había penetrado en la capa base en un tiempo de 2 horas, dejando la superficie seca.
- El contenido de humedad que resultó en los valores más altos de penetración para la granulometría de base cerrada fue un 2% por debajo del contenido de humedad óptimo. Este resultado sugiere que una de las razones para la falta de penetración podría ser que, al aplicar la humedad máxima, los poros de la base estuvieran más cerrados. Esto impide que el material penetre adecuadamente, limitando así la efectividad del proceso.
- Otro parámetro estudiado fue el tipo de limpieza realizado en la superficie para eliminar el material suelto y dejarla libre de polvo. Se obtuvieron valores ligeramente altos al adoptar el raspado como método de limpieza.
- En el caso de la emulsión EBCI, medido a 48 horas después de desmoldado de su probeta es igual al medido a los 7 días de dicho desmolde, el cual indica que la emulsión llega en 48 horas a su curado completo y no sigue penetrando, y tampoco existe solvente atrapado en los poros del material granular.

- Se realizó el presupuesto de la construcción de un tramo de carretera donde se evaluaron dos opciones para riego de imprimación: una con diluido MC-30 y otra con emulsión asfáltica. Se comparó el costo de ambos materiales por litro y se calculó el consumo estimado para el tramo específico de la carretera. Se determinó que el uso de emulsión asfáltica resultó en un menor costo total en comparación con el diluido MC-30. Este análisis económico destaca la importancia de seleccionar la opción más económica y eficiente para optimizar el presupuesto total de construcción de la carretera.
- En conclusión, el uso de esta emulsión asfáltica elaborada en Bolivia tiene diferentes ventajas y beneficios al sustituir por el asfalto diluido, porque requiere menos tiempo de curado y son menos sensibles a las condiciones climáticas adversas en comparación con el diluido, las cuales dependen de la evaporación de los solventes. Otra característica de la emulsión es que no solo reduce el tiempo de inactividad durante la construcción, sino que también minimiza el impacto ambiental debido a la menor emisión de compuestos volátiles. Además, que la emulsión requiere menor temperatura de aplicación en comparación del diluido.
- Se empleó la emulsión EBCI que, tras ser caracterizada, cumplió con todas las especificaciones requeridas para el proyecto. Sin embargo, una vez agotada esta emulsión, se solicitó una nueva remesa del mismo producto. Al caracterizar nuevamente este lote de emulsión, se descubrió que no cumplía con las mismas especificaciones que la primera, presentando diferencias en sus propiedades: el valor del residuo asfáltico fue un 15% menor, mientras que el destilado aumento en un 15%, cumpliendo con las especificaciones establecidas.

- Posteriormente, para verificar la efectividad de ambos lotes de emulsión, se llevó a cabo el procedimiento TTI en varias probetas, probando ambas emulsiones y se observó que los valores de penetración variaban en el rango de 1 a 2 mm. Esto confirma la fiabilidad de los resultados obtenidos anteriormente.

5.2.Recomendaciones

- De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto al material granular de tipo cerrado, será importante tomar una decisión si rebajar en un 2% el contenido de humedad óptimo para que la penetración del imprimante sea lo máximo posible, o que conserve la humedad optima y alcanzar la máxima densidad seca posible durante el proceso de compactación.
- Es importante tener en cuenta los resultados del procedimiento al elegir el tipo de base granular para la construcción de la plataforma, para así evitar problemas como la aplicación excesiva de imprimante, que puede dificultar el secado y la adherencia.
- En el caso de la limpieza superficial del terreno, se ha evidenciado que, el barrido o raspado adecuado de la superficie, se tiene una mejor penetración de los imprimantes en todos los casos. No realizar esta limpieza disminuirá considerablemente la penetración.
- La aplicación de la emulsión o cualquier tipo de imprimante debe realizarse en condiciones climáticas favorables, evitando temperaturas extremas y lluvias, para asegurar un curado adecuado y una buena adhesión. El respetar el tiempo de curado recomendado es muy importante, antes de permitir el tránsito de vehículos para evitar daños prematuros en la superficie tratada.
- Al momento de recibir el material de riego para imprimación, es muy importante realizar la caracterización del material en un laboratorio certificado para que de esta manera verificar que cumplan con todos los parámetros para su posterior aplicación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Christian A. Mantilla y Joe W. Button, (1994). *Métodos de riegos de imprimación y materiales para reemplazar asfalto diluido.*
- Thomas J. Freeman, Joe W. Button y Cindy K. Estakhri, (2010). *Riegos de imprimación efectivos para bases de pavimentos compactados.*
- Boris E. Carias, William A. Alachán y Daniel A. Hernández, (2013). *Importancia del riego de imprimación y del riego de liga en el buen desempeño de los pavimentos.*
- Manuel Velázquez (1961). *Asfaltos.*
- Manuel Velázquez (1962). *Manual del Asfalto.*
- Rogelio Rodríguez, Víctor M. Castaño y Miguel Martínez, (2001). *Emulsiones Asfálticas.*
- José Sapei, Roberto Tejera, Rubén González y Mario Larizzate (2014). *Emulsiones de imprimación y su aporte a la adherencia.*
- Santiago Kröger - Congreso de la Vialidad Uruguay, (2017). *Imprimación con emulsiones, mejoras técnicas y ambientales.*
- L. Rucks, F. García, A. Kaplán, J. Ponce de León y M. Hill (2004). *Propiedades Físico – Mecánicas del Suelo.*
- Víctor Bermejo Franco y Luis Pacosillo Ticona (2009). *Laboratorio de mecánica de suelos I – texto oficial.*
- Graciela I. Sirpa Ramirez (2019). *Tratamiento superficial con emulsion asfáltica para pavimentación acceso IEM – Cota Cota.*
- Administradora Boliviana de Carreteras, (2011). *Manual de ensayos de suelos y materiales asfálticos.*

Administradora Boliviana de Carreteras, (2011). *Manual de especificaciones técnicas generales de construcción.*

Caballero J.F. (1998). *Asfaltos Manual de ensayos de laboratorio I.E.M. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.*

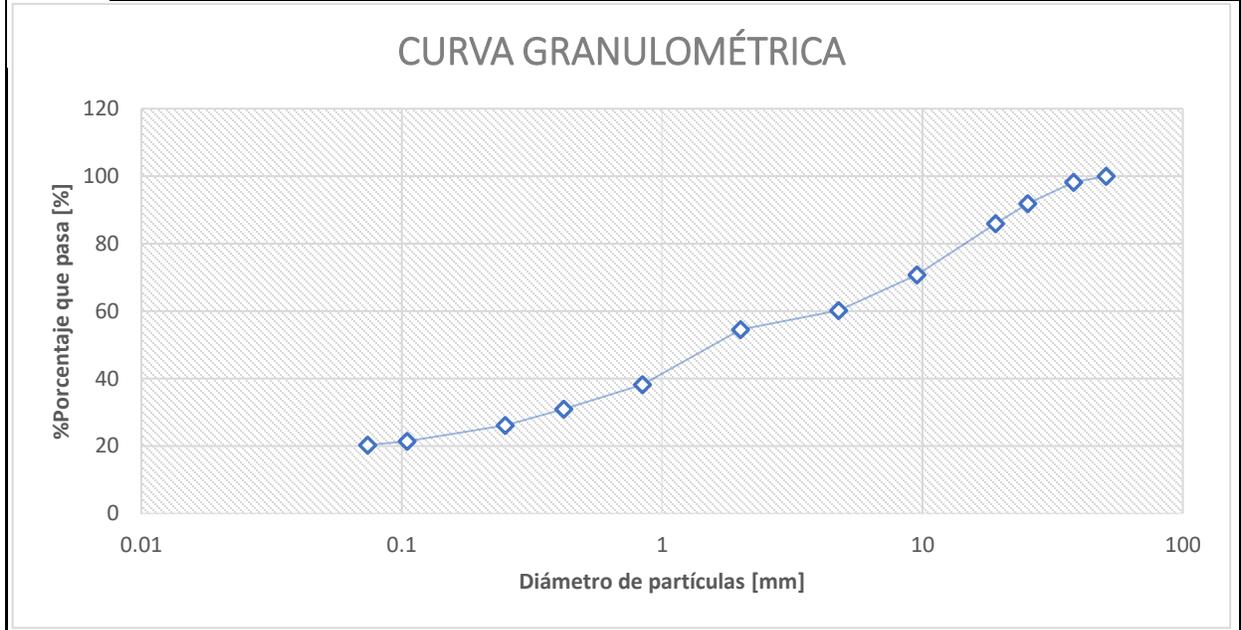
Lorenzo Borselli, (2023). *Geotecnia I – Parte II: Clasificación ingenieril de los suelos y de los macizos rocosos.*

ANEXOS

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Planillas de Cálculo de Suelos

| Procedencia: | | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | | | Operador: | | Diego | | |
|--------------------------------------|----------|------------------------------|--------------------|------------|----------------------------|--|-------------------------------|----------|--------------|
| Pozo No: | | 1 | | | Calculista: | | Carlos Ander Ramirez | | |
| Muestra No: | | 1 | | | Fecha toma muestra: | | 18/03/2024 | | |
| Profundidad: | | 0.20 [m] | | | Fecha ensayo Lab.: | | 27/03/2024 | | |
| ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO | | | | | | | | | |
| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | Natur | Higroscópi |
| Tamiz | Abertura | Peso Retenido | % Parcial Retenido | Acumulado | | Tara No | l | ca | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| | mm | gr | % | % | % | | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | 27 | 24 | | |
| 2 | 50.8 | --- | 0 | 0 | 100.00 | | | | |
| 1 1/2" | 38.1 | 196.84 | 1.80 | 1.80 | 98.20 | | | | |
| 1" | 25.4 | 690.37 | 6.32 | 8.12 | 91.88 | | | | |
| 3/4" | 19.1 | 648.22 | 5.94 | 14.06 | 85.94 | Tara + Muestra húmeda [gr] | 1335.7 | 1213.80 | |
| 3/8" | 9.52 | 1660.6 | 15.21 | 29.27 | 70.73 | Tara + Muestra seca [gr] | 1286.1 | 1212.23 | |
| No4 | 4.76 | 1156.4 | 10.59 | 39.86 | 60.14 | Peso del agua [gr] | 49.55 | 1.57 | |
| No10 | 2 | 533.89 | 4.89 | 44.75 | 55.25 | Peso del tara [gr] | 214.01 | 213.90 | |
| Total | | 4886.3 | | | | Peso de la muestra seca [gr] | 1072.1 | 998.33 | |
| | | | | | | Contenido de Humedad [%] | 4.62 | 0.16 | |
| Peso seco de la muestra total | | | | | | | | | |
| | | | | | | Peso total muestra húmeda [gr] | | 11199 | |
| | | | | | | Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | 4886.39 | |
| | | | | | | Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | 6312.61 | |
| | | | | | | Peso del agua [gr] | | 278.85 | |
| | | | | | | Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | 6033.76 | |
| | | | | | | Peso muestra total seca [gr] | | 10920.15 | |
| ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO | | | | | | | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | |
| Tamiz | Abertura | Peso Retenido | % Parcial Retenido | Acumulado | | % Pasa Total | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| | mm | gr | % | % | % | | | | |
| No10 | 2 | 4.3 | 4.31 | 4.31 | 95.69 | 52.8 | Peso muestra húmeda [gr] | gr | 100.00 |
| No20 | 0.84 | 25.54 | 25.58 | 29.89 | 70.11 | 38.7 | Peso muestra seca [gr] | gr | 99.84 |
| No40 | 0.42 | 13.3 | 13.32 | 43.21 | 56.79 | 31.3 | GRAVA | % | 39.86 |
| No60 | 0.25 | 8.82 | 8.83 | 52.04 | 47.96 | 26.5 | ARENA | % | 39.59 |
| No140 | 0.105 | 8.69 | 8.70 | 60.75 | 39.25 | 21.6 | FINO | % | 20.55 |
| No200 | 0.074 | 2.06 | 2.06 | 62.81 | 37.19 | 20.5 | TOTAL | % | 100 |
| Total | | 62.71 | | | | | | | |



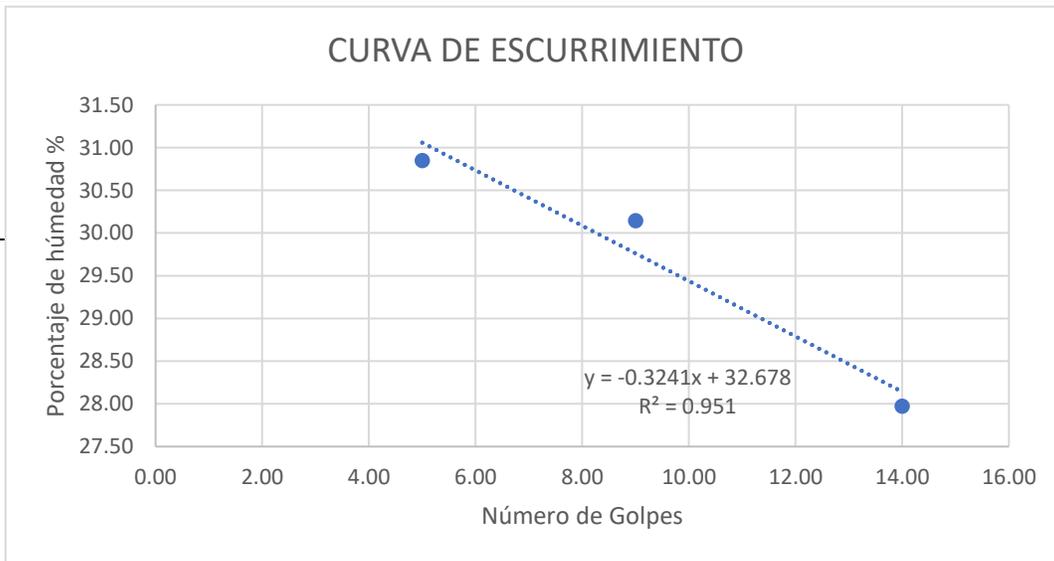
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene R. |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 1 | Fecha toma muestra: | 18/03/2024 |
| Profundidad: | 0.20 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 27/03/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

LIMITE LIQUIDO (LL)

| | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | 43 | 51 | 107 |
| Nro de golpes | 14.00 | 9.00 | 5.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 46.54 | 47.93 | 45.63 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 39.15 | 39.55 | 37.86 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 7.39 | 8.38 | 7.77 |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.73 | 11.75 | 12.67 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 26.42 | 27.80 | 25.19 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 27.97 | 30.14 | 30.85 |



LIMITE PLÁSTICO

| | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 83 | 72 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 11.82 | 13.92 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

RESULTADOS

| | | |
|-----------------------|----|----|
| Límite Líquido | LL | 25 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

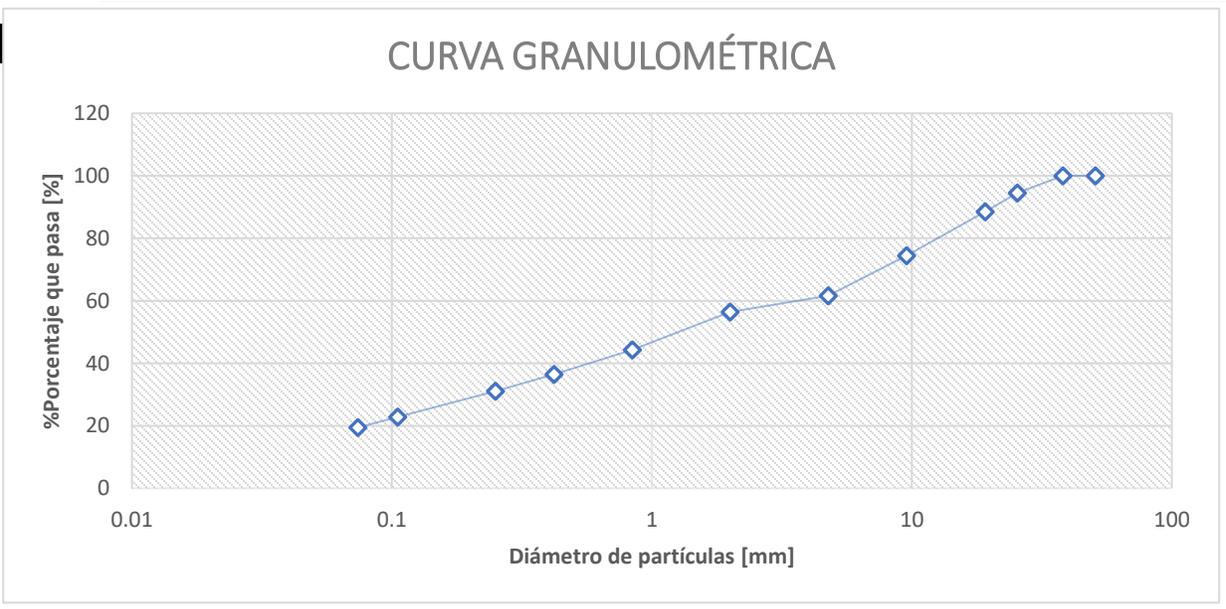
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Dieg Carlos Ander Ramírez |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Ramírez |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 18/03/2024 |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 31/03/2024 |

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | Natural | Higroscópica |
|------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--|--------|----------|--------------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | Tara No | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | | 54 | 129 | |
| 2 | 50.8 | --- | 0 | 0 | 100.0 | Tara + Muestra húmeda [gr] | 1345.6 | 167.80 | |
| 1 1/2" | 38.1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.0 | Tara + Muestra seca [gr] | 1298.6 | 167.67 | |
| 1" | 25.4 | 598.54 | 5.48 | 5.48 | 94.52 | Peso del agua [gr] | 46.92 | 0.13 | |
| 3/4" | 19.1 | 658.91 | 6.03 | 11.51 | 88.49 | Peso del tara [gr] | 264.50 | 67.80 | |
| 3/8" | 9.52 | 1534.2 | 14.04 | 25.56 | 74.44 | Peso de la muestra seca [gr] | 1034.1 | 99.87 | |
| No4 | 4.76 | 1402.3 | 12.84 | 38.39 | 61.61 | Contenido de Humedad [%] | 4.54 | 0.13 | |
| No10 | 2 | 562.21 | 5.15 | 43.54 | 56.46 | Peso seco de la muestra total | | | |
| Total | | 4756.16 | | | | Peso total muestra húmeda [gr] | | 10578 | |
| | | | | | | Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | 4756.16 | |
| | | | | | | Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | 5821.84 | |
| | | | | | | Peso del agua [gr] | | 252.67 | |
| | | | | | | Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | 5569.17 | |
| | | | | | | Peso muestra total seca [gr] | | 10325.33 | |

| ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO | | | | | | | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | |
|----------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|-------------------|-------------------------------|------|--------------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | % Pasa Total % | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| No10 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 56.4 | Peso muestra húmeda | [gr] | 100.00 |
| No20 | 0.84 | 21.6 | 21.63 | 21.63 | 78.37 | 44.2 | Peso muestra seca | [gr] | 99.87 |
| No40 | 0.42 | 13.7 | 13.72 | 35.36 | 64.64 | 36.5 | GRAVA | % | 38.39 |
| No60 | 0.25 | 9.63 | 9.65 | 45.00 | 55.00 | 31.0 | ARENA | % | 42.16 |
| No140 | 0.105 | 14.58 | 14.60 | 59.60 | 40.40 | 22.8 | FINO | % | 19.45 |
| No200 | 0.074 | 5.94 | 5.95 | 65.55 | 34.45 | 19.4 | TOTAL | % | 100 |
| Total | | 65.45 | | | | | | | |

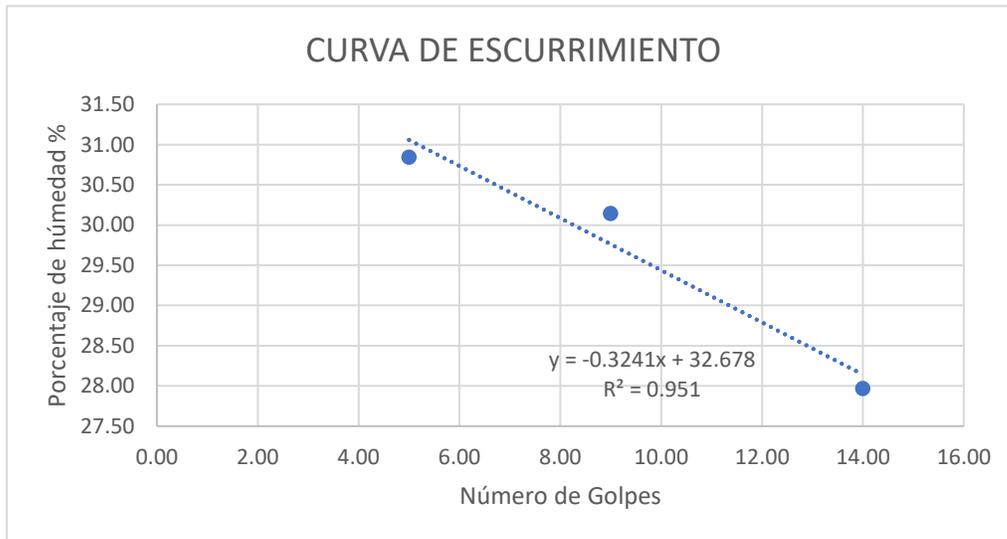


“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene R. |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 18/03/202 |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 1/4/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

| LIMITE LIQUIDO (LL) | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | C-32 | M-3 | 10 |
| Nro de golpes | 20.00 | 13.00 | 9.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 56.56 | 57.93 | 55.63 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 39.15 | 39.55 | 37.86 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 17.41 | 18.38 | 17.77 |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.73 | 11.75 | 12.67 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 26.42 | 27.80 | 25.19 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 65.90 | 66.12 | 70.54 |



LIMITE PLÁSTICO

| | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 83 | 72 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 11.82 | 13.92 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

RESULTADOS

| | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Límite Líquido | LL | 25 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

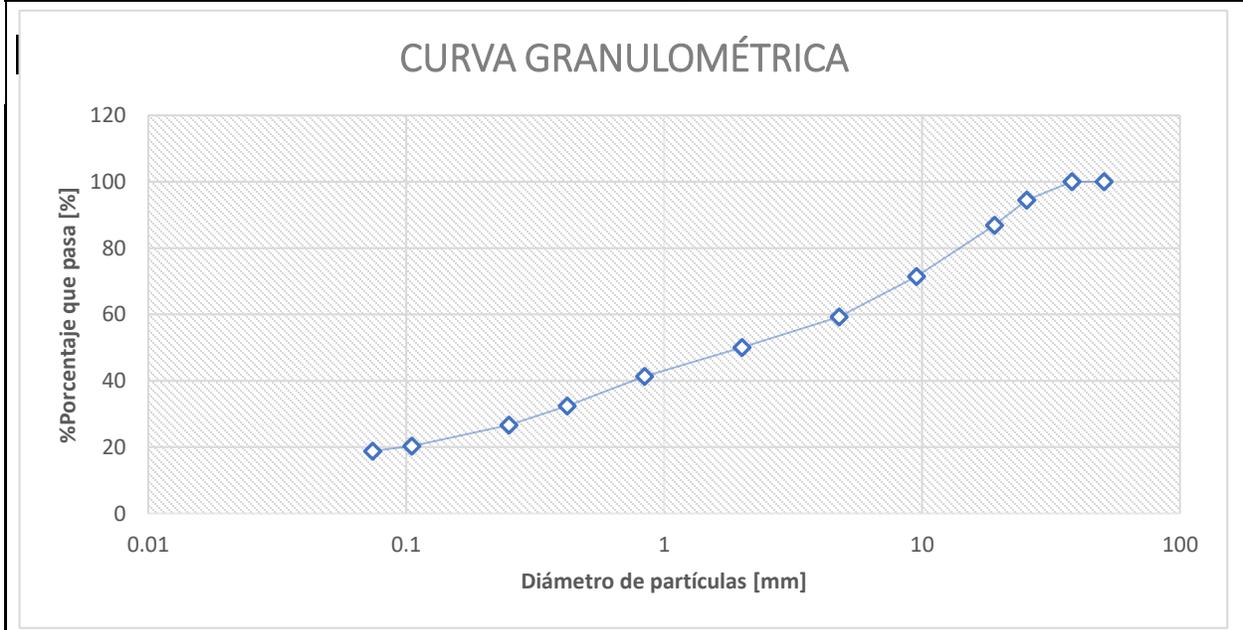
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Diego |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 18/03/2024 |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 08/04/24 |

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | Natural | Higroscópica |
|------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--|--------|----------|--------------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | Tara No | | 19 | 118 |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | Tara + Muestra húmeda [gr] | 1777.1 | 163.40 | |
| 2 | 50.8 | --- | 0 | 0 | 100.0 | Tara + Muestra seca [gr] | 1717.9 | 163.25 | |
| 1 1/2" | 38.1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.0 | Peso del agua [gr] | 59.20 | 0.15 | |
| 1" | 25.4 | 601.87 | 5.51 | 5.51 | 94.49 | Peso del tara [gr] | 216.3 | 63.40 | |
| 3/4" | 19.1 | 836.23 | 7.66 | 13.16 | 86.84 | Peso de la muestra seca [gr] | 1501.6 | 99.85 | |
| 3/8" | 9.52 | 1681.86 | 15.40 | 28.56 | 71.44 | Contenido de Humedad [%] | 3.94 | 0.15 | |
| No4 | 4.76 | 1336.04 | 12.23 | 40.79 | 59.21 | Peso seco de la muestra total | | | |
| No10 | 2 | 1000 | 9.15 | 49.95 | 50.05 | Peso total muestra húmeda [gr] | | 11786 | |
| Total | | 5456 | | | | Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | 5456 | |
| | | | | | | Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | 6330 | |
| | | | | | | Peso del agua [gr] | | 240.09 | |
| | | | | | | Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | 6089.91 | |
| | | | | | | Peso muestra total seca [gr] | | 11545.91 | |

| ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO | | | | | | | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | | |
|----------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--------------|-------------------------------|---|--------------|--------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | % Pasa Total | | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | | |
| No10 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.0 | 50.0 | Peso muestra húmeda [gr] | | | 100.00 |
| No20 | 0.84 | 26.75 | 26.79 | 26.79 | 73.21 | 41.3 | Peso muestra seca [gr] | | | 99.85 |
| No40 | 0.42 | 15.81 | 15.83 | 42.63 | 57.37 | 32.3 | GRAVA | % | 40.79 | |
| No60 | 0.25 | 10.25 | 10.27 | 52.89 | 47.11 | 26.6 | ARENA | % | 40.39 | |
| No140 | 0.105 | 11.2 | 11.22 | 64.11 | 35.89 | 20.2 | FINO | % | 18.82 | |
| No200 | 0.074 | 2.56 | 2.56 | 66.67 | 33.33 | 18.8 | TOTAL | % | 100 | |
| Total | | 66.57 | | | | | | | | |

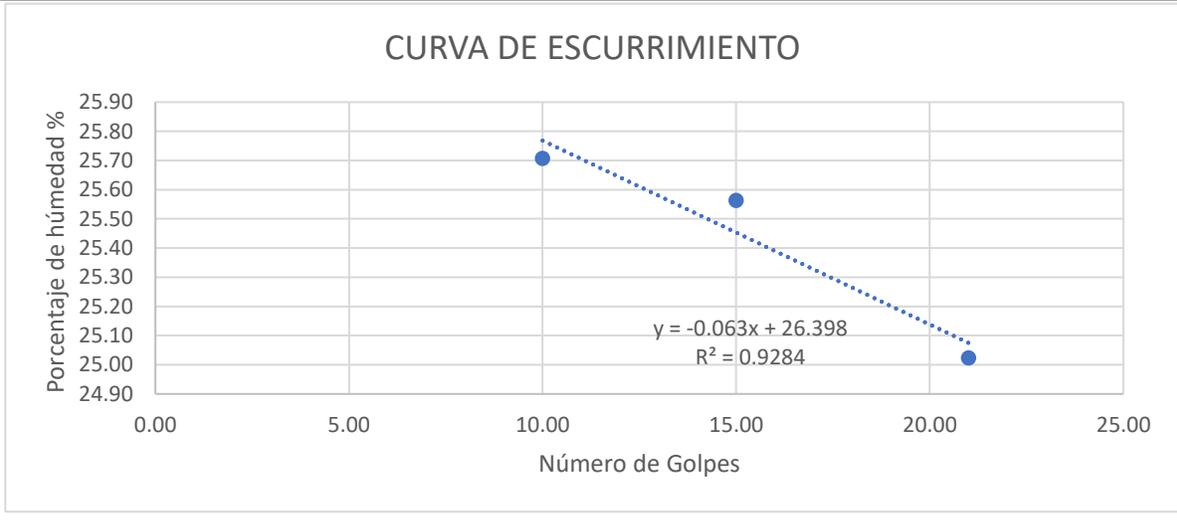


“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene R. |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 18/03/2024 |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 4/4/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

| LIMITE LIQUIDO (LL) | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | M-1 | 113 | 101 |
| Nro de golpes | 21.00 | 15.00 | 10.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 51.20 | 52.37 | 49.54 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 43.50 | 44.10 | 42.00 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 7.70 | 8.27 | 7.54 |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.73 | 11.75 | 12.67 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 30.77 | 32.35 | 29.33 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 25.02 | 25.56 | 25.71 |



LIMITE PLÁSTICO

| | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 83 | 72 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.65 | 12.54 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

RESULTADOS

| | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Límite Líquido | LL | 25 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

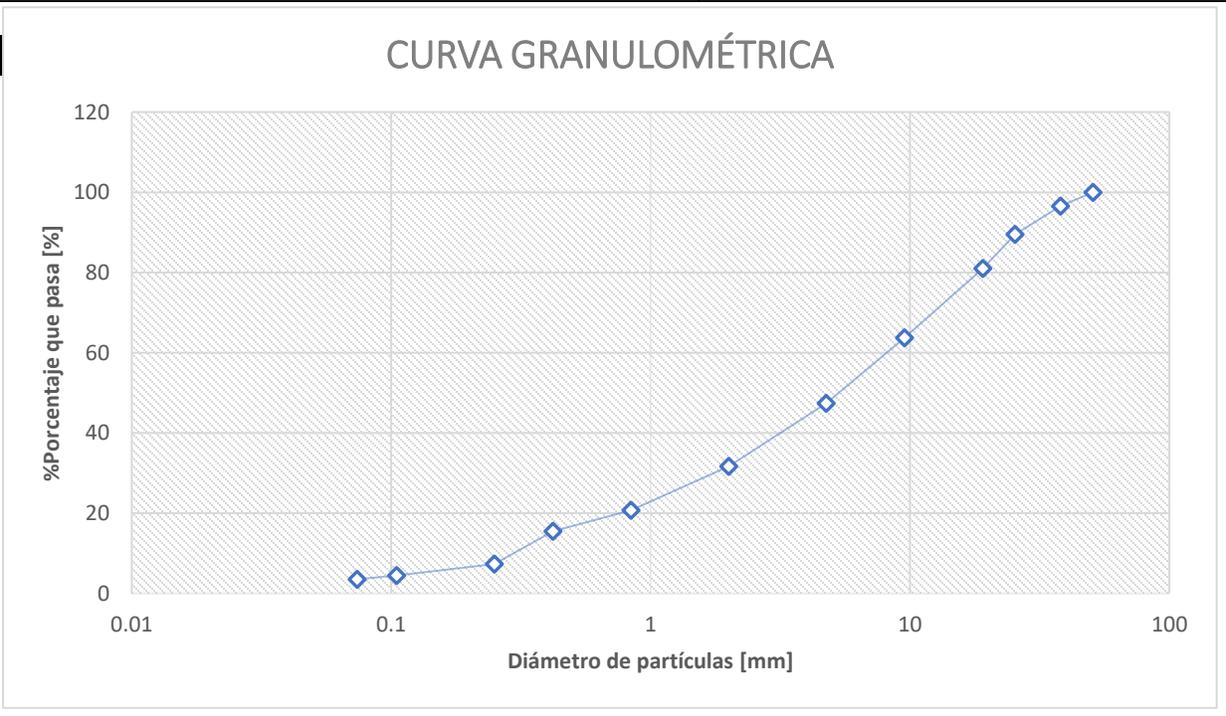
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Diego |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 1 | Fecha toma muestra: | 5/4/2024 |
| Profundidad: | 0.20 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 12/4/2024 |

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--|----------------|---------------------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | Tara No | Natural M-3 | Higroscópica 124 |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | | | |
| 2 | 50.8 | --- | 0 | 0 | 100.0 | | | |
| 1 1/2" | 38.1 | 350.06 | 3.47 | 3.47 | 96.53 | Tara + Muestra húmeda [gr] | 2147.30 | 163.70 |
| 1" | 25.4 | 706.5 | 7.00 | 10.47 | 89.53 | Tara + Muestra seca [gr] | 2101.90 | 163.42 |
| 3/4" | 19.1 | 855.2 | 8.48 | 18.95 | 81.05 | Peso del agua [gr] | 45.40 | 0.28 |
| 3/8" | 9.52 | 1748.3 | 17.33 | 36.29 | 63.71 | Peso del tara [gr] | 337.60 | 63.70 |
| No4 | 4.76 | 1645.9 | 16.32 | 52.60 | 47.40 | Peso de la muestra seca [gr] | 1764.30 | 99.72 |
| No10 | 2 | 1585.7 | 15.72 | 68.32 | 31.68 | Contenido de Humedad [%] | 2.57 | 0.28 |
| Total | | 6891.66 | | | | Peso seco de la muestra total | | |
| | | | | | | Peso total muestra húmeda [gr] | | 10169.2 |
| | | | | | | Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | 6891.66 |
| | | | | | | Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | 3277.54 |
| | | | | | | Peso del agua [gr] | | 82.22 |
| | | | | | | Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | 3195.32 |
| | | | | | | Peso muestra total seca [gr] | | 10086.98 |

| ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO | | | | | | | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|-------------------|--------------------------------------|--|--|--------|-------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | % Pasa Total % | | | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | | | |
| No10 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 31.68 | Peso muestra húmeda [gr] | | | 100.00 | |
| No20 | 0.84 | 33.57 | 34.43 | 34.43 | 65.57 | 20.77 | Peso muestra seca [gr] | | | 97.49 | |
| No40 | 0.42 | 16.34 | 16.76 | 51.19 | 48.81 | 15.46 | GRAVA | | | % | 52.60 |
| No60 | 0.25 | 25.13 | 25.78 | 76.97 | 23.03 | 7.30 | ARENA | | | % | 43.87 |
| No140 | 0.105 | 8.81 | 9.04 | 86.01 | 13.99 | 4.43 | FINO | | | % | 3.53 |
| No200 | 0.074 | 2.78 | 2.85 | 88.86 | 11.14 | 3.53 | TOTAL | | | % | 100 |
| Total | | 86.63 | | | | | | | | | |



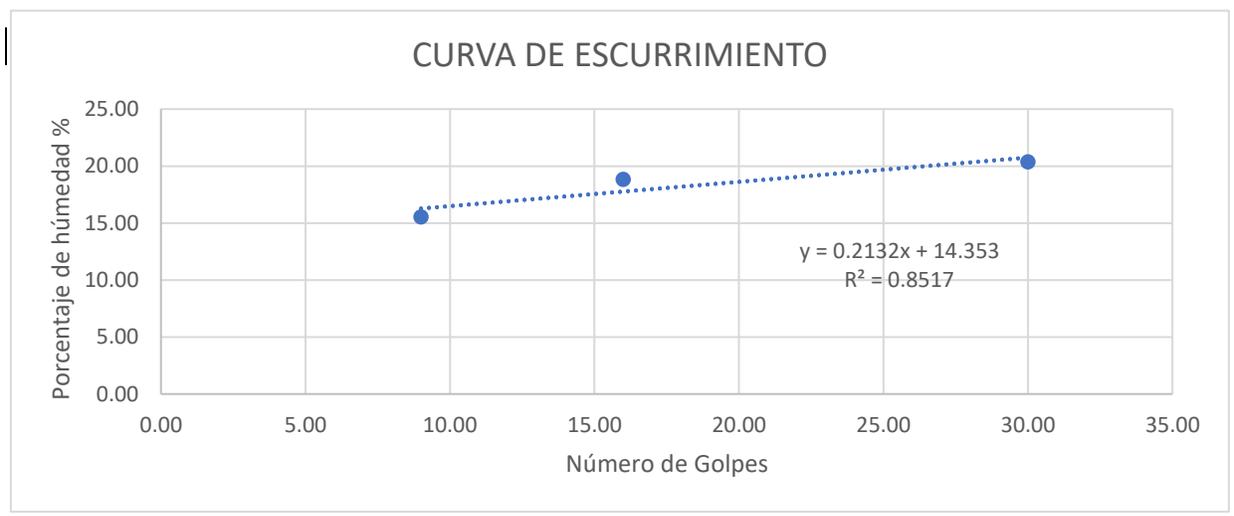
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 1 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.20 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 12/4/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

LIMITE LIQUIDO (LL)

| | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | No 83 | No 4 | 90 |
| Nro de golpes | 30.00 | 16.00 | 9.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 50.32 | 56.94 | 49.06 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 43.80 | 50.11 | 44.13 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 6.52 | 6.83 | 4.93 |
| Peso de cápsula (Wc) | 11.82 | 13.86 | 12.43 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 31.98 | 36.25 | 31.70 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 20.39 | 18.84 | 15.55 |



LIMITE PLÁSTICO

| | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 61 | No 3 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 13.58 | 14.76 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

RESULTADOS

| | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Límite Líquido | LL | 20 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

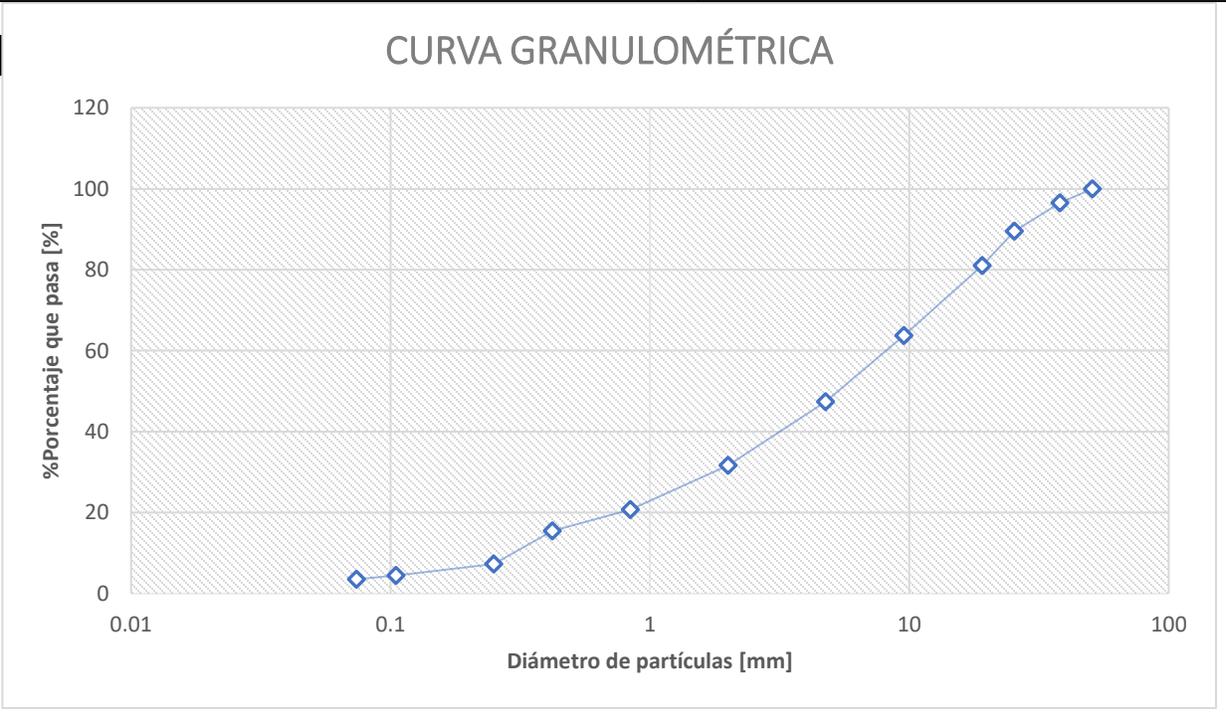
| | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Diego |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 5/4/2024 |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 15/4/2024 |

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|-----------------------------|-----------------|--------------------|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | Tara No | Natural M-10 | Higroscópica 50 |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | | | |
| 2 | 50.8 | --- | 0 | 0 | 100.0 | | | |
| 1 1/2" | 38.1 | 300.89 | 2.98 | 2.98 | 97.02 | | | |
| 1" | 25.4 | 651.5 | 6.46 | 9.44 | 90.56 | | | |
| 3/4" | 19.1 | 795.24 | 7.88 | 17.33 | 82.67 | | | |
| 3/8" | 9.52 | 1649.23 | 16.35 | 33.68 | 66.32 | | | |
| No4 | 4.76 | 1594.68 | 15.81 | 49.48 | 50.52 | | | |
| No10 | 2 | 1500.47 | 14.88 | 64.36 | 35.64 | | | |
| Total | | 6492.01 | | | | | | |

| Peso seco de la muestra total | | |
|--|--|----------|
| Peso total muestra húmeda [gr] | | 10526.2 |
| Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | 6492.01 |
| Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | 4034.19 |
| Peso del agua [gr] | | 109.66 |
| Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | 3924.53 |
| Peso muestra total seca [gr] | | 10416.54 |

| ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO | | | | | | | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--------------|--------------------------------------|-------|--|
| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido gr | % Parcial Retenido % | Acumulado | | % Pasa Total | Peso muestra húmeda [gr] | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| No10 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 31.68 | 100.00 | | |
| No20 | 0.84 | 32.57 | 33.41 | 33.41 | 66.59 | 21.09 | 99.66 | | |
| No40 | 0.42 | 16.45 | 16.87 | 50.28 | 49.72 | 15.75 | | GRAVA | |
| No60 | 0.25 | 21.98 | 22.55 | 72.83 | 27.17 | 8.61 | | ARENA | |
| No140 | 0.105 | 5.45 | 5.59 | 78.42 | 21.58 | 6.84 | | FINO | |
| No200 | 0.074 | 2.89 | 2.96 | 81.38 | 18.62 | 5.90 | | TOTAL | |
| Total | | 79.34 | | | | | | 100 | |

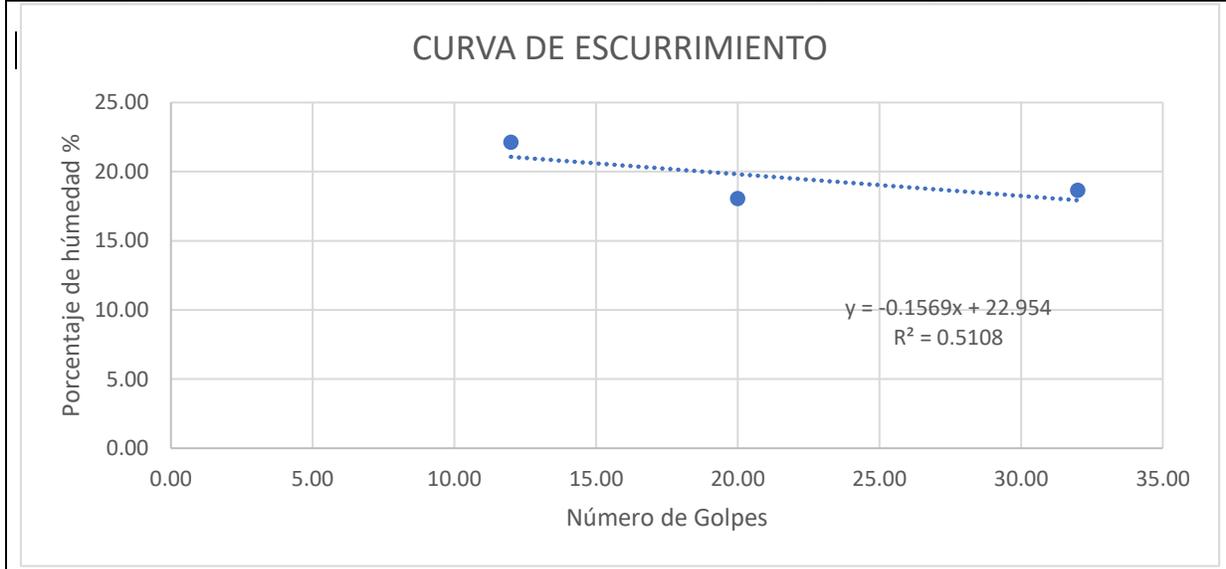


“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 17/04/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

| LIMITE LIQUIDO (LL) | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | No 50 | No 10 | No 36 |
| Nro de golpes | 32.00 | 20.00 | 12.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 52.32 | 58.94 | 51.11 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 46.12 | 52.05 | 44.10 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 6.20 | 6.89 | 7.01 |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.86 | 13.86 | 12.43 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 33.26 | 38.19 | 31.67 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 18.64 | 18.04 | 22.13 |



| LIMITE PLÁSTICO | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 61 | No 3 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.56 | 13.71 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

| RESULTADOS | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Límite Líquido | LL | 19 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

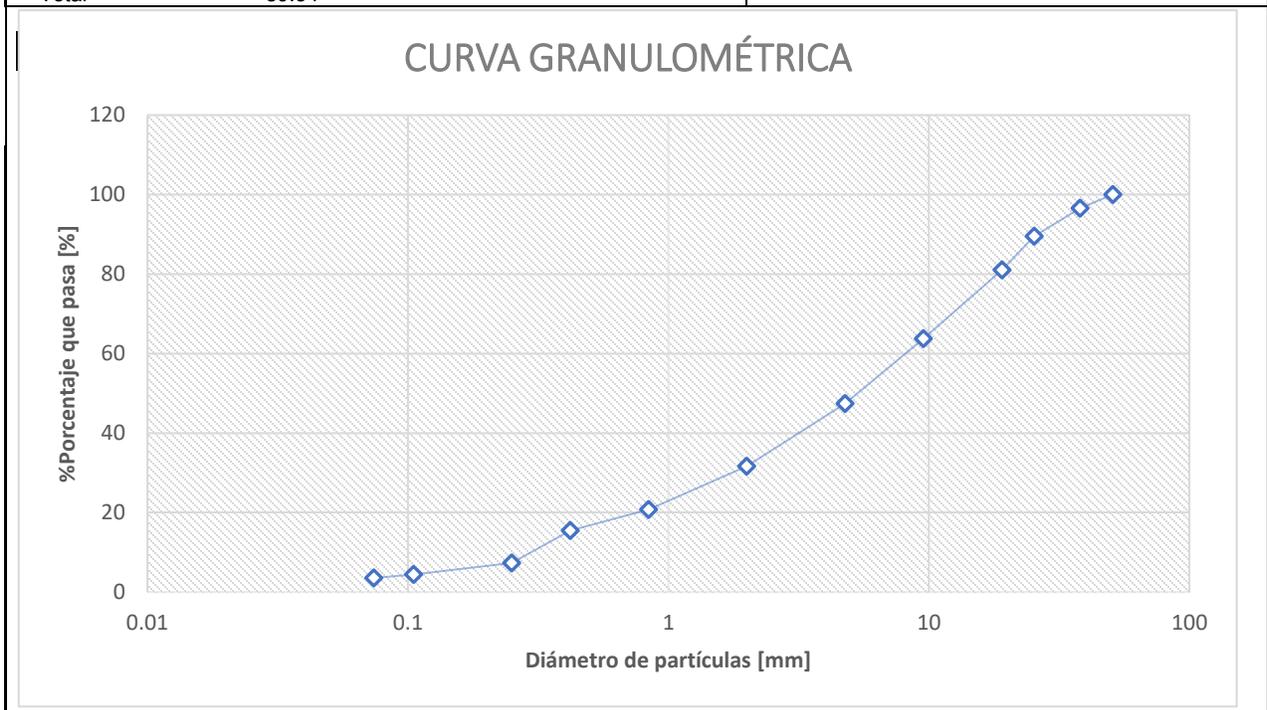
| | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Diego |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 5/4/2024 |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 19/4/2024 |

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

| ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO | | | | | | Contenido de Humedad | | Natural | Higroscópica |
|------------------------------|----------|---------------|--------------------|------------|--------|--|--------|---------|--------------|
| Tamiz | Abertura | Peso Retenido | % Parcial Retenido | Acumulado | | Tara No | | | |
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| | mm | gr | % | % | % | | | | |
| 2 1/2" | 63.5 | --- | | | | | | M-3 | 61 |
| 2 | 50.8 | | 0 | 0 | 100.0 | Tara + Muestra húmeda [gr] | 1040.7 | | 156.45 |
| 1 1/2" | 38.1 | 400.56 | 3.97 | 3.97 | 96.03 | Tara + Muestra seca [gr] | 1016.9 | | 156.21 |
| 1" | 25.4 | 746.12 | 7.40 | 11.37 | 88.63 | Peso del agua [gr] | | 23.84 | 0.24 |
| 3/4" | 19.1 | 801.56 | 7.95 | 19.31 | 80.69 | Peso del tara [gr] | 48.80 | | 56.45 |
| 3/8" | 9.52 | 1753.14 | 17.38 | 36.69 | 63.31 | Peso de la muestra seca [gr] | 968.12 | | 99.76 |
| No4 | 4.76 | 1654.21 | 16.40 | 53.09 | 46.91 | Contenido de Humedad [%] | 2.46 | | 0.24 |
| No10 | 2 | 1611.77 | 15.98 | 69.07 | 30.93 | Peso seco de la muestra total | | | |
| Total | | 6967.36 | | | | Peso total muestra húmeda [gr] | | | 10169.2 |
| | | | | | | Peso muestra retenida tamiz No10 [gr] | | | 6967.36 |
| | | | | | | Peso muestra que pasa tamiz No10 [gr] | | | 3201.84 |
| | | | | | | Peso del agua [gr] | | | 76.95 |
| | | | | | | Peso muestra seca pasa tamiz N°10 [gr] | | | 3124.89 |
| | | | | | | Peso muestra total seca [gr] | | | 10092.25 |

ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO

| Tamiz | Abertura | Peso Retenido | % Parcial Retenido | Acumulado | | % Pasa Total | ANÁLISIS MECÁNICO DEL MORTERO | | |
|-------|----------|---------------|--------------------|------------|--------|--------------|-------------------------------|---|--------------|
| | | | | % Retenido | % Pasa | | | | |
| | mm | gr | % | % | % | | | | |
| No10 | 2 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.0 | 31.6 | Peso muestra húmeda [gr] | | 100.00 |
| No20 | 0.84 | 35.8 | 36.72 | 36.72 | 63.28 | 20.0 | Peso muestra seca [gr] | | 99.76 |
| No40 | 0.42 | 18.45 | 18.92 | 55.65 | 44.35 | 14.0 | GRAVA | % | 53.09 |
| No60 | 0.25 | 23.78 | 24.39 | 80.04 | 19.96 | 6.32 | ARENA | % | 44.26 |
| No140 | 0.105 | 7.56 | 7.75 | 87.79 | 12.21 | 3.87 | FINO | % | 2.65 |
| No200 | 0.074 | 3.75 | 3.85 | 91.64 | 8.36 | 2.65 | TOTAL | % | 100 |
| Total | | 89.34 | | | | | | | |

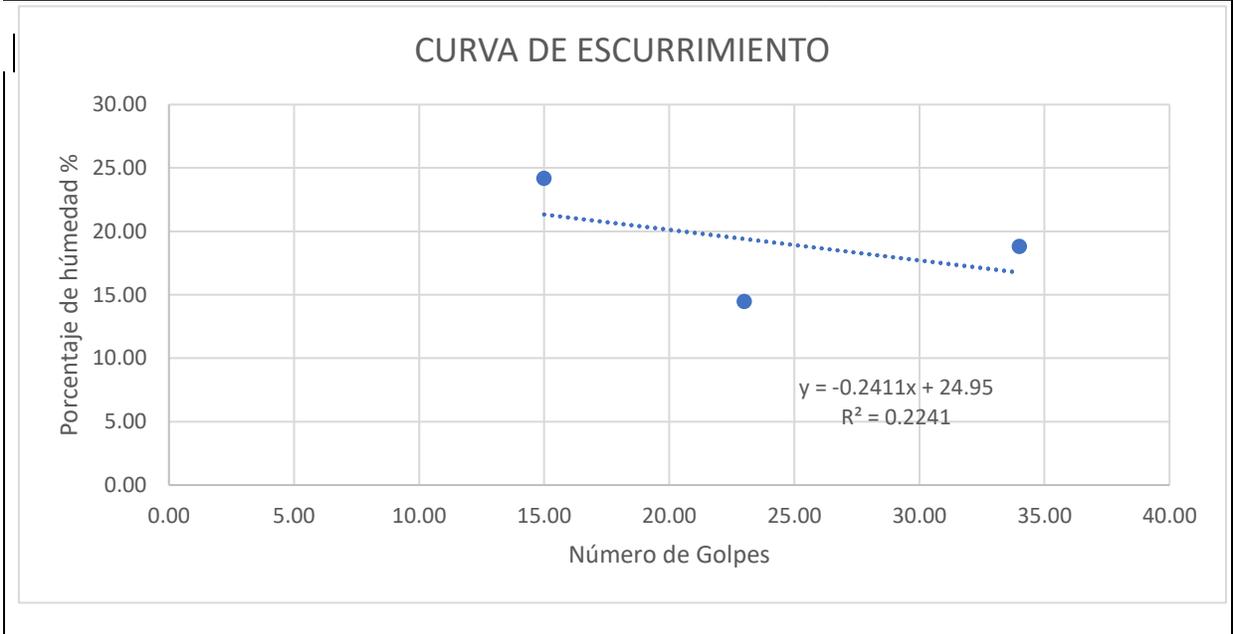


“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 18/04/2024 |

LIMITES DE ATTERBERG

| LIMITE LIQUIDO (LL) | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Capsula N° | No 10 | No 25 | No 12 |
| Nro de golpes | 34.00 | 23.00 | 15.00 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | 49.75 | 55.17 | 48.10 |
| Suelo seco + cápsula Ws | 43.70 | 49.78 | 41.22 |
| Peso de agua Pa=Wh-Ws | 6.05 | 5.39 | 6.88 |
| Peso de cápsula (Wc) | 11.56 | 12.56 | 12.77 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | 32.14 | 37.22 | 28.45 |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | 18.82 | 14.48 | 24.18 |



| LIMITE PLÁSTICO | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Cápsula No | 61 | No 3 |
| Suelo húmedo + cápsula Wh | NP | NP |
| Suelo seco + cápsula Ws | | |
| Peso del agua Pa=Wh-Ws | | |
| Peso de cápsula (Wc) | 12.56 | 13.71 |
| Peso suelo seco Ps=Ws-Wc | | |
| Porcentaje de humedad %h=Pa*100/Ps | | |

| RESULTADOS | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Límite Líquido | LL | 18 |
| Límite Plástico | LP | NP |
| Índice de Plasticidad | IP | NP |

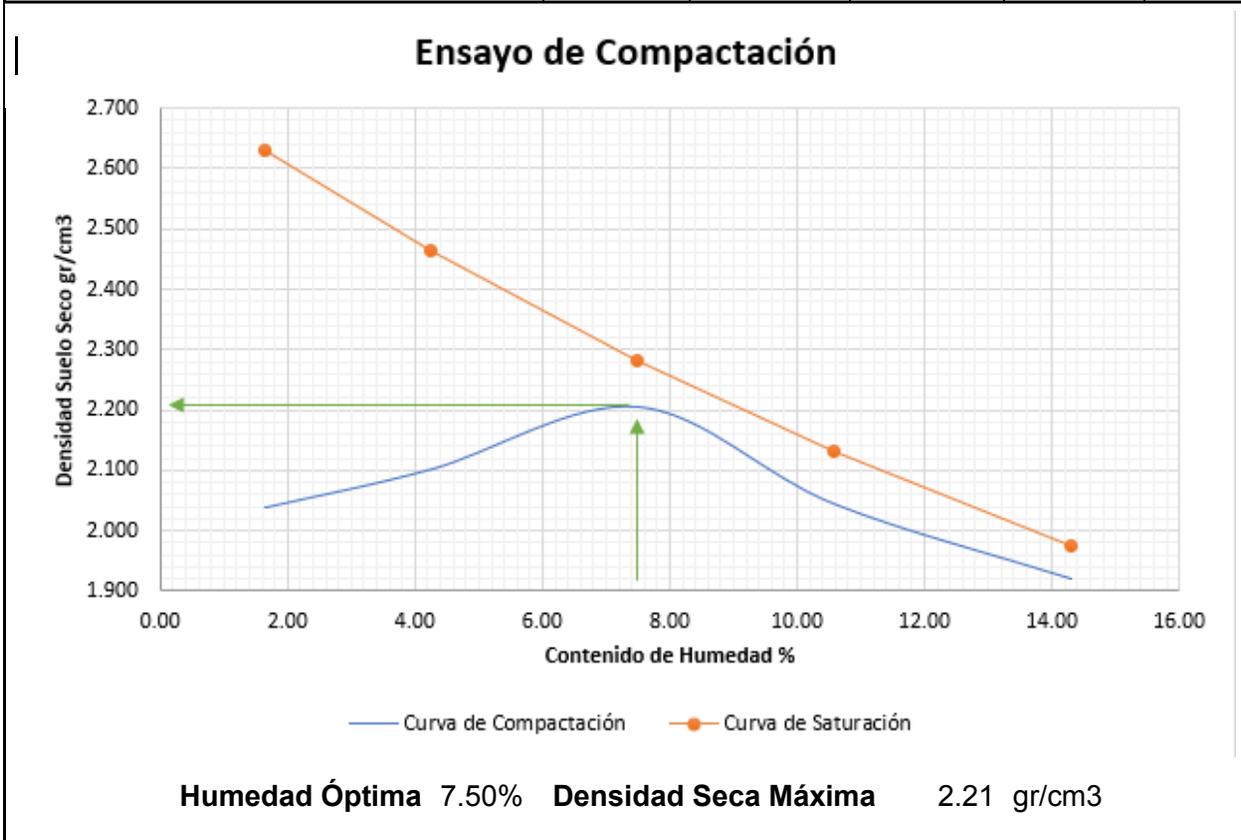
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 1 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.20 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 10/04/24 |

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 10940.20 | 11193.50 | 11482.50 | 11344.10 | 11205 |
| Peso del Molde | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521 |
| Peso del suelo húmedo | 4419.20 | 4672.50 | 4961.50 | 4823.10 | 4684 |
| Volumen de la muestra | 2133.00 | 2133.00 | 2133.00 | 2133.00 | 2133 |
| Densidad del suelo húmedo | 2.072 | 2.191 | 2.326 | 2.261 | 2.196 |
| Nro de Cápsula | 4 | 31-A | 42 | 26 | 35 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 557.90 | 538.90 | 548.10 | 630.80 | 682 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 550.10 | 519.51 | 515.19 | 577.38 | 606 |
| Peso del Agua | 7.80 | 19.39 | 32.91 | 53.42 | 76.63 |
| Peso de la Cápsula | 72.20 | 61.70 | 75.70 | 71.70 | 69 |
| Peso del suelo Seco | 477.90 | 457.81 | 439.49 | 505.68 | 536 |
| Contenido de humedad | 1.63 | 4.24 | 7.49 | 10.56 | 14.29 |
| Densidad Suelo Seco | 2.039 | 2.102 | 2.21 | 2.045 | 1.921 |
| Saturación | 2.632 | 2.463 | 2.280 | 2.131 | 1.974 |



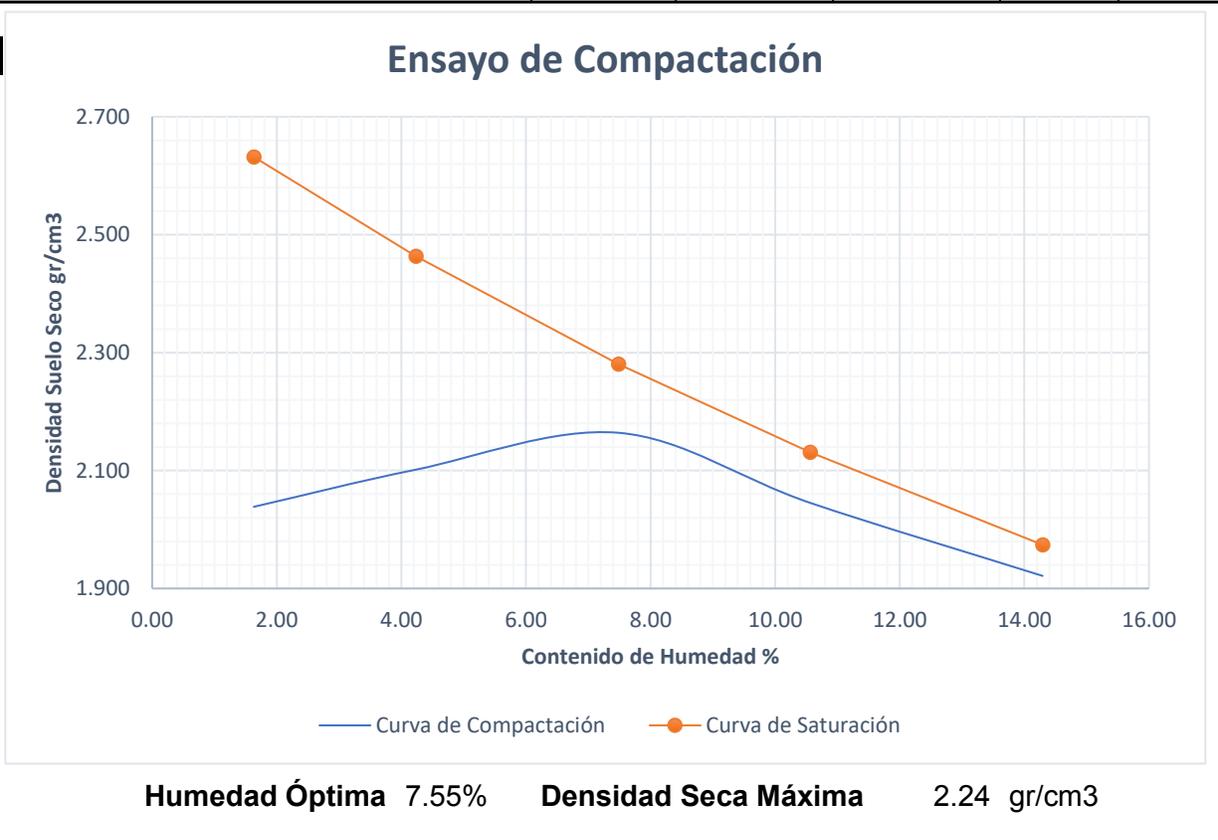
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 10/04/24 |

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 11050.56 | 11201.80 | 11544.21 | 11467.90 | 11347 |
| Peso del Molde | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 |
| Peso del suelo húmedo | 4529.56 | 4680.80 | 5023.21 | 4946.90 | 4826.11 |
| Volumen de la muestra | 2133.00 | 2133.00 | 2133.00 | 2133.00 | 2133 |
| Densidad del suelo húmedo | 2.124 | 2.194 | 2.355 | 2.319 | 2.263 |
| Nro de Cápsula | 30 | 5 | 15 | 12 | 32 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 557.90 | 538.90 | 548.10 | 630.80 | 682.2 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 550.10 | 519.51 | 515.19 | 577.38 | 605.6 |
| Peso del Agua | 7.80 | 19.39 | 32.91 | 53.42 | 76.63 |
| Peso de la Cápsula | 72.20 | 61.70 | 75.70 | 71.70 | 69 |
| Peso del suelo Seco | 477.90 | 457.81 | 439.49 | 505.68 | 536.17 |
| Contenido de humedad | 1.63 | 4.24 | 7.49 | 10.56 | 14.29 |
| Densidad Suelo Seco | 2.089 | 2.105 | 2.191 | 2.098 | 1.980 |
| Saturación | 2.632 | 2.463 | 2.280 | 2.131 | 1.974 |



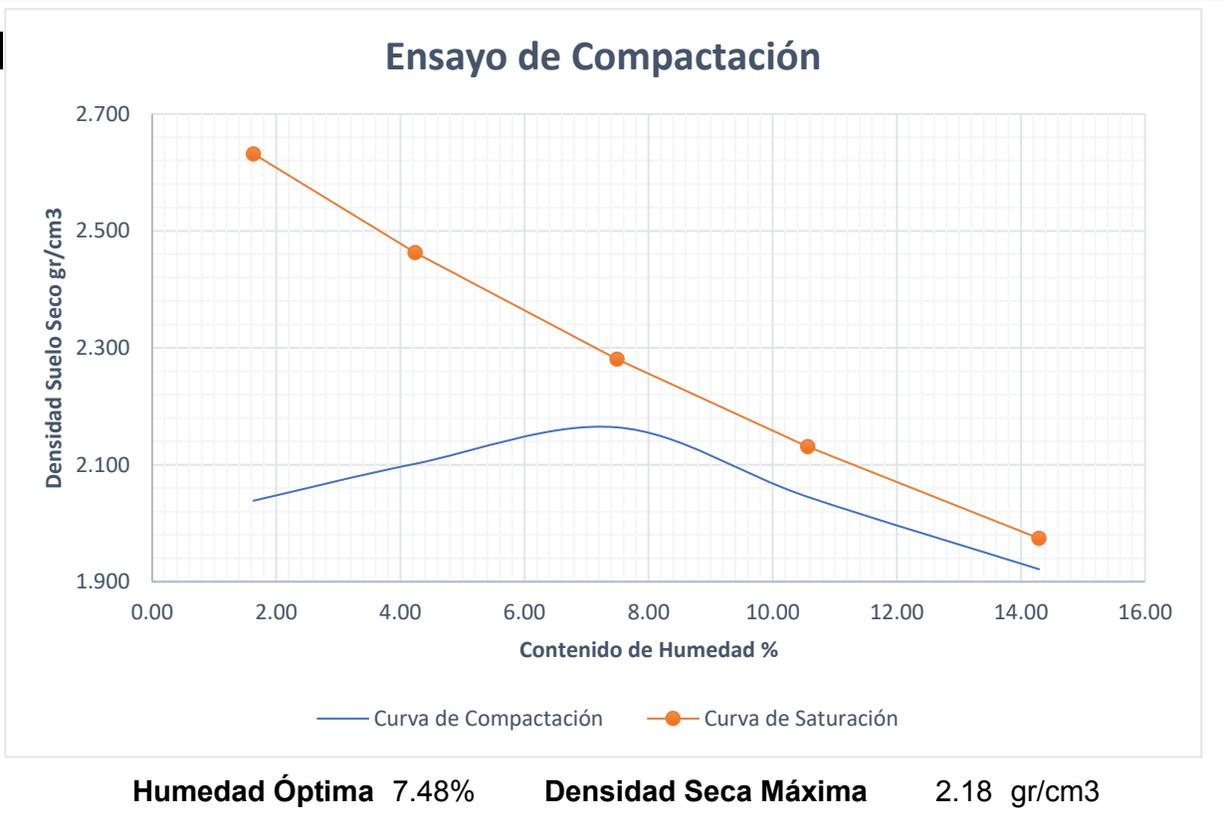
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos |
| Pozo No: | 1 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 20/4/2024 |

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

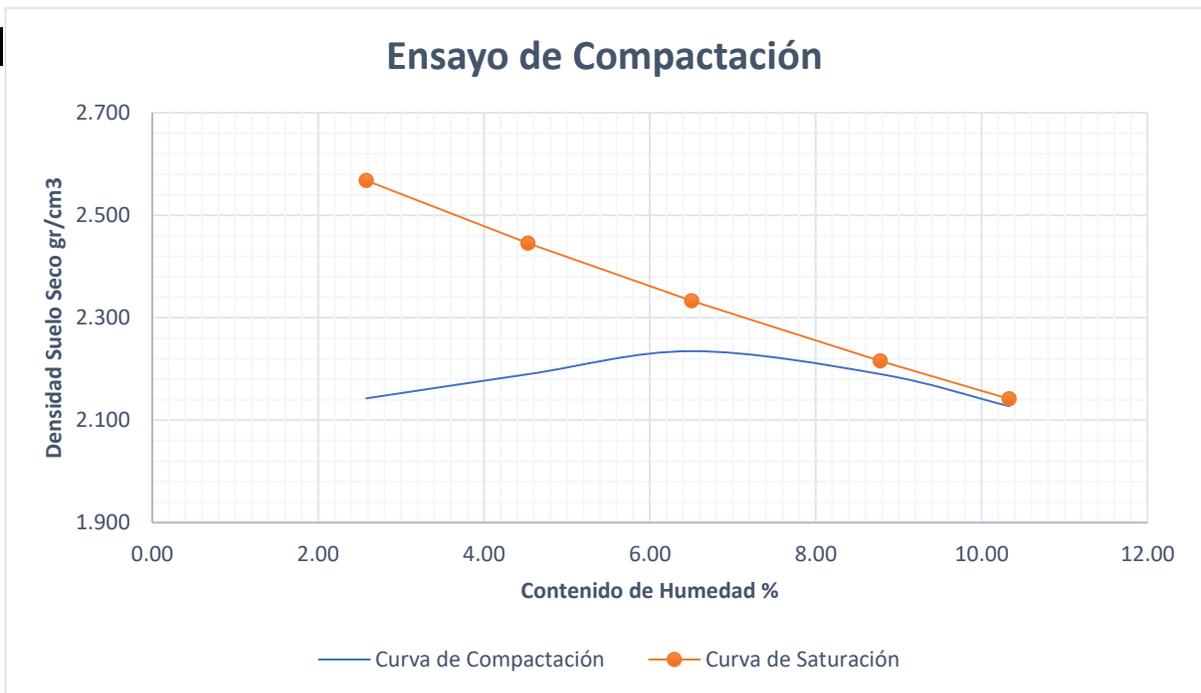
AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D

| | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------|----------|---------|-------|
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 11010.5 | 11211.75 | 11789.66 | 11355.8 | 11011 |
| Peso del Molde | 6420.00 | 6420.00 | 6420.00 | 6420.0 | 6420. |
| Peso del suelo húmedo | 4590.56 | 4791.75 | 5369.66 | 4935.89 | 4591. |
| Volumen de la muestra | 2135 | 2135 | 2135 | 2135 | 2135 |
| Densidad del suelo húmedo | 2.150 | 2.244 | 2.515 | 2.312 | 2.150 |
| Nro de Cápsula | 12 | M-10 | 20 | 10 | 15 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 540.25 | 521.51 | 530.78 | 614.01 | 664.2 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 530.70 | 499.12 | 499.29 | 557.80 | 605.6 |
| Peso del Agua | 9.55 | 22.39 | 31.49 | 56.21 | 58.58 |
| Peso de la Cápsula | 72.50 | 61.75 | 75.80 | 71.50 | 69.5 |
| Peso del suelo Seco | 458.20 | 437.37 | 423.49 | 486.30 | 536.0 |
| Contenido de humedad | 2.08 | 5.12 | 7.44 | 11.56 | 10.93 |
| Densidad Suelo Seco | 2.106 | 2.135 | 2.341 | 2.072 | 1.939 |
| Saturación | 2.601 | 2.411 | 2.283 | 2.087 | 2.115 |



“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

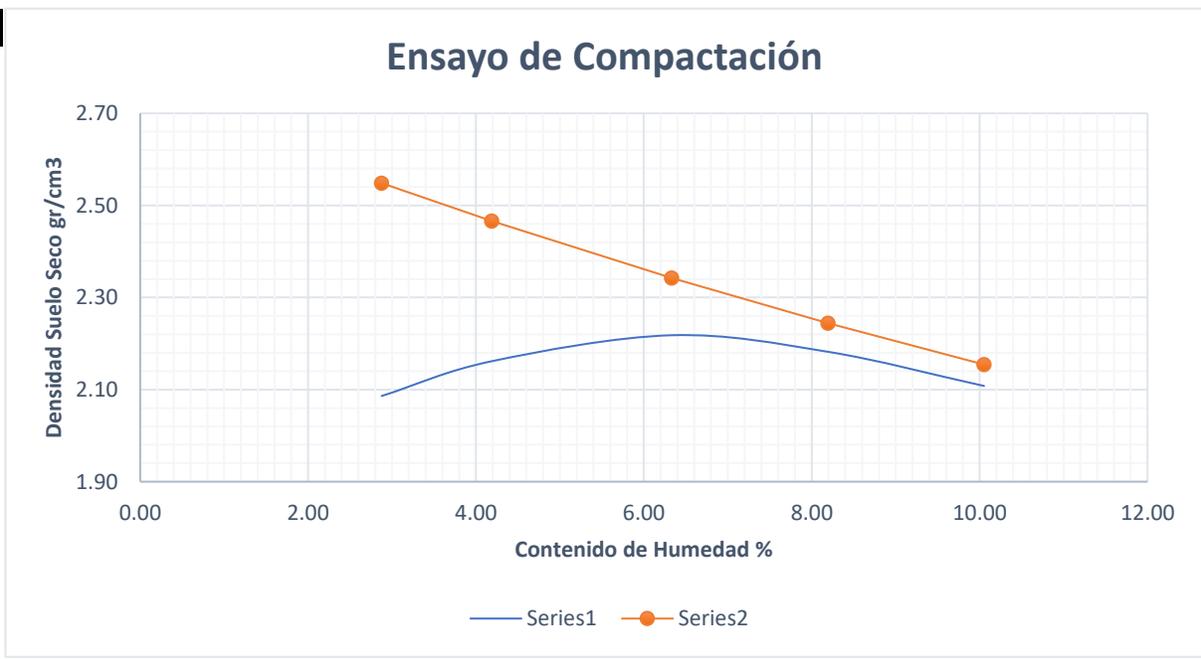
| | | | | | |
|--|------------------------|----------------------------|----------------------|--------|--------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos | | |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez | | |
| Muestra No: | 1 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 | | |
| Profundidad: | 0.20 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 08/05/24 | | |
| ENSAYO DE COMPACTACIÓN | | | | | |
| AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D | | | | | |
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 10537.70 | 10731.40 | 10925.30 | 10929 | 10855 |
| Peso del Molde | 5865.00 | 5865.00 | 5865.00 | 5865.0 | 5865.0 |
| Peso del suelo húmedo | 4672.70 | 4866.40 | 5060.30 | 5064.0 | 4989.0 |
| Volumen de la muestra | 2126.00 | 2126.00 | 2126.00 | 2126.0 | 2126.0 |
| Densidad del suelo húmedo | 2.198 | 2.289 | 2.380 | 2.382 | 2.347 |
| Nro de Cápsula | C-35 | 77 | 120 | 43 | 35 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 450.90 | 372.90 | 388.70 | 581.6 | 415.3 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 441.30 | 359.30 | 368.60 | 539.3 | 382.0 |
| Peso del Agua | 9.60 | 13.60 | 20.10 | 42.30 | 33.10 |
| Peso de la Cápsula | 69.33 | 59.15 | 59.69 | 57.39 | 62.0 |
| Peso del suelo Seco | 371.97 | 300.15 | 308.91 | 481.9 | 320.3 |
| Contenido de humedad | 2.58 | 4.53 | 6.51 | 8.78 | 10.33 |
| Densidad Suelo Seco | 2.143 | 2.190 | 2.235 | 2.190 | 2.127 |
| Saturación | 2.568 | 2.445 | 2.333 | 2.215 | 2.141 |



Humedad Óptima 6.60% **Densidad Seca Máxima** 2.24 gr/cm³

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

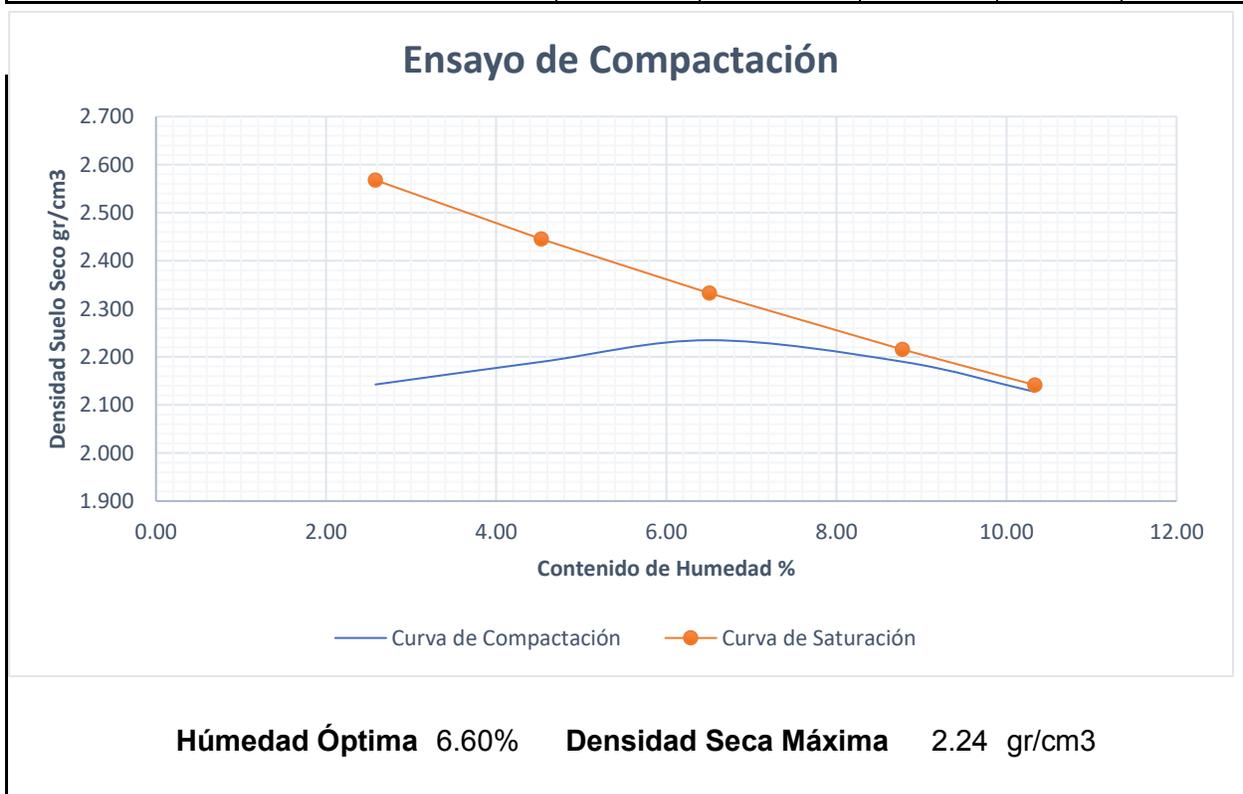
| | | | | | |
|--|------------------------|----------------------------|----------------------|----------|----------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos | | |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez | | |
| Muestra No: | 2 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 | | |
| Profundidad: | 0.30 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 13/5/2024 | | |
| ENSAYO DE COMPACTACIÓN | | | | | |
| AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D | | | | | |
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 10437.70 | 10631.40 | 10825.30 | 10829.60 | 10754.80 |
| Peso del Molde | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 | 6521.00 |
| Peso del suelo húmedo | 3916.70 | 4110.40 | 4304.30 | 4308.60 | 4233.80 |
| Volumen de la muestra | 1825.0 | 1825.0 | 1825.0 | 1825.0 | 1825.0 |
| Densidad del suelo húmedo | 2.146 | 2.252 | 2.359 | 2.361 | 2.320 |
| Nro de Cápsula | 30 | 5 | 15 | 12 | 32 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 415.90 | 337.90 | 353.70 | 546.60 | 380.30 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 406.10 | 326.30 | 335.70 | 509.40 | 350.14 |
| Peso del Agua | 9.80 | 11.60 | 18.00 | 37.20 | 30.16 |
| Peso de la Cápsula | 65.40 | 49.40 | 51.40 | 55.40 | 50.1 |
| Peso del suelo Seco | 340.70 | 276.90 | 284.30 | 454.00 | 300.04 |
| Contenido de humedad | 2.88 | 4.19 | 6.33 | 8.19 | 10.05 |
| Densidad Suelo Seco | 2.086 | 2.162 | 2.23 | 2.182 | 2.108 |
| Saturación | 2.548 | 2.466 | 2.342 | 2.244 | 2.154 |



Humedad Óptima 6.50% Densidad Seca Máxima 2.20 gr/cm3

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | | | |
|--|------------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------|
| Procedencia: | ACCESO IEM - COTA COTA | Operador: | Rene Ramos | | |
| Pozo No: | 2 | Calculista: | Carlos Ander Ramirez | | |
| Muestra No: | 3 | Fecha toma muestra: | 05/04/24 | | |
| Profundidad: | 0.50 [m] | Fecha ensayo Lab.: | 20/5/2024 | | |
| ENSAYO DE COMPACTACIÓN | | | | | |
| AASHTO PROCTOR MODIFICADO T 180 - D | | | | | |
| Nro de capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Nro de golpes por capa | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Suelo húmedo + molde Wh | 10216.00 | 10409.70 | 10603.6 | 10607. | 10533 |
| Peso del Molde | 6420.0 | 6420.0 | 6420.0 | 6420.0 | 6420.0 |
| Peso del suelo húmedo | 3796.00 | 3989.70 | 4183.60 | 4187.90 | 4113.10 |
| Volumen de la muestra | 2135 | 2135 | 2135 | 2135 | 2135 |
| Densidad del suelo húmedo | 1.778 | 1.869 | 1.960 | 1.962 | 1.927 |
| Nro Cápsula | 12 | M-10 | 20 | 10 | 15 |
| Peso del suelo húmedo + cápsula | 348.45 | 270.45 | 286.25 | 479.15 | 312.85 |
| Peso del suelo seco + cápsula | 338.65 | 258.85 | 268.25 | 441.95 | 282.69 |
| Peso del Agua | 9.80 | 11.60 | 18.00 | 37.20 | 30.16 |
| Peso de la Cápsula | 72.50 | 61.75 | 75.80 | 71.50 | 69.5 |
| Peso del suelo Seco | 266.15 | 197.10 | 192.45 | 370.45 | 213.19 |
| Contenido de humedad | 3.68 | 5.89 | 9.35 | 10.04 | 14.15 |
| Densidad Suelo Seco | 1.715 | 1.765 | 1.792 | 1.783 | 1.688 |
| Saturación | 2.497 | 2.367 | 2.187 | 2.155 | 1.980 |

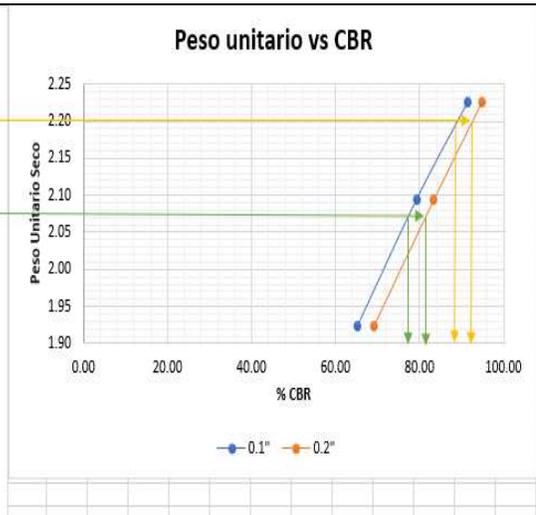
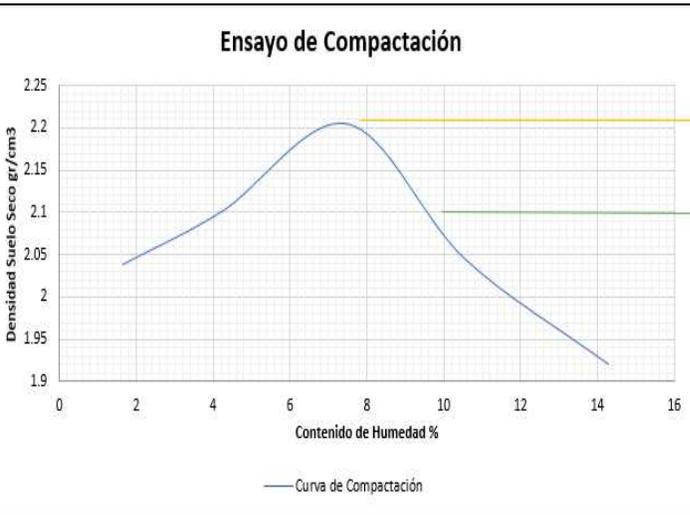
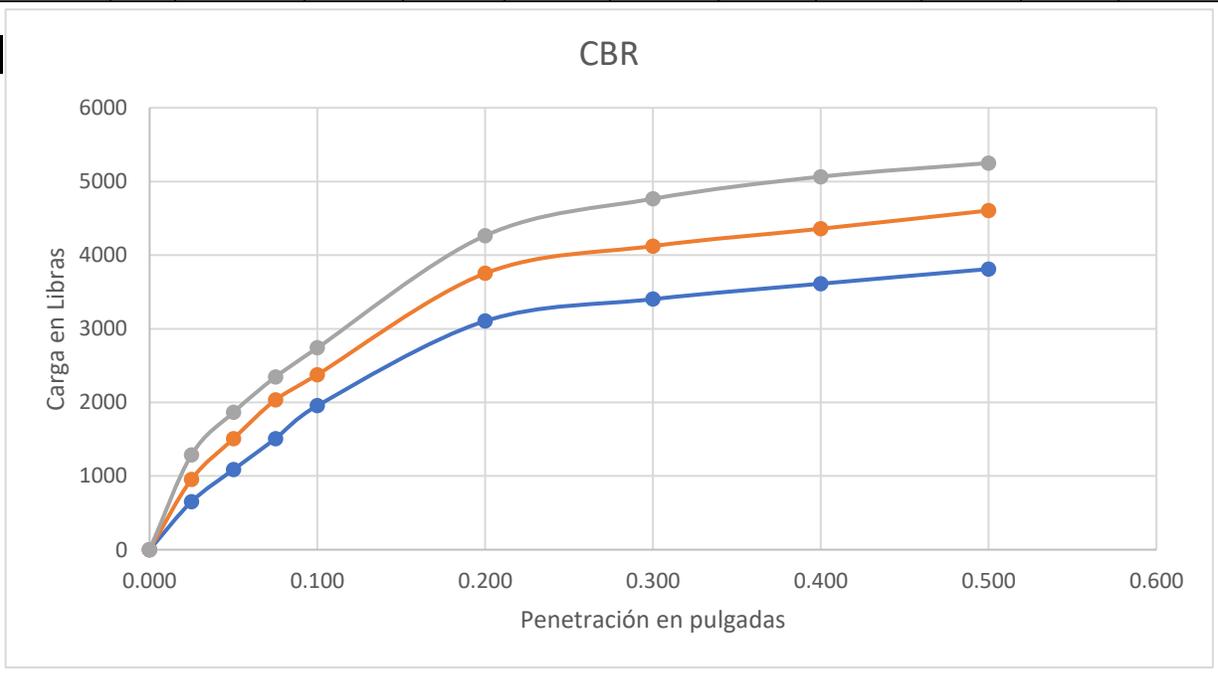


“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|------------|----------------------|-----------|--|
| Procedencia: | TRAMO ACCESO IEM - COTA COTA | | | Operador: | Rene Ramos | | | | | | |
| Pozo No: | 1 | | | Calculista: | Carlos Ander Ramirez | | | | | | |
| Muestra No: | 1 | | | Fecha toma muestra: | 29/03/2024 | | | | | | |
| Profundidad: | 0.20 [m] | | | Fecha ensayo Lab.: | 18/04/2024 | | | | | | |
| ENSAYO: RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) | | | | | | | | | | | |
| HUM. OPT. | DEN.MAX. | CBR 100% T 180D (0.1") | | CBR 100% T 180D (0.2") | | | | | | | |
| 7.5 | 2.165 | CBR 95% T 180D (0.1") | | CBR 95% T 180D (0.2") | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO | | | | | | | | | | | |
| Molde No | <i>M -10</i> | | | <i>M -11</i> | | | <i>M - 12</i> | | | | |
| No de Capas | 5 | | | 5 | | | 5 | | | | |
| No de Golpes por capa | 12 | | | 25 | | | 56 | | | | |
| Condicion de la muestra | Antes de mojar | Déspués | Antes de mojar | Déspués | Antes de mojar | Déspués | | | | | |
| Peso M. húmeda + Molde | 12219 | 12465.0 | 12621 | 12743.5 | 12815.9 | 12986.5 | | | | | |
| Peso del Molde | 7948.5 | 7945.5 | 7862.5 | 7862.5 | 7803 | 7803 | | | | | |
| Peso Muestra húmeda | 4270.50 | 4519.5 | 4758.50 | 4881 | 5012.90 | 5183.5 | | | | | |
| Vol. de Muestra | 2190 | 2190 | 2185 | 2185 | 2220 | 2220 | | | | | |
| Peso Unit. M. húmeda | 1.950 | 2.064 | 2.178 | 2.234 | 2.26 | 2.335 | | | | | |
| Muestra Húmeda del: | Fondo | Superf. | 2°Sup. | Fondo | Superf. | 2°Sup. | Fondo | Superf. | 2°Sup. | | |
| Lata No | No24 | No10 | No44 | No24 | 12 | 30 | 10 | 20 | 31 | | |
| Peso M. húmeda + Lata | 1444.5 | 1408.4 | 1595.1 | 1392 | 1520.8 | 1591.6 | 1566 | 1692.6 | 1566.81 | | |
| Peso M. seca + Lata | 1426.5 | 1391.7 | 1555.9 | 1376.5 | 1436.5 | 1492.5 | 1547.4 | 1669.2 | 1537.53 | | |
| Peso de Agua | 17.98 | 16.67 | 39.26 | 15.51 | 84.33 | 99.10 | 18.54 | 23.45 | 29.28 | | |
| Peso de Lata | 170.59 | 166.29 | 170.48 | 163.4 | 167.79 | 169.03 | 169.07 | 164.4 | 169.09 | | |
| Peso Muestra Seca | 1255.94 | 1225.43 | 1385.38 | 1213.05 | 1268.66 | 1323.45 | 1378.36 | 1504.77 | 1368.44 | | |
| Contenido de humedad | 1.43 | 1.36034 | 2.8 | 1.28 | 6.65 | 7.488 | 1.35 | 1.55838 | 2.139663 | | |
| Promedio de Cont. Hum. | 1.40 | | | 3.96 | | | 1.45 | | | | |
| Peso Unit. Muestra Seca | 1.92 | | | 2.09 | | | 2.23 | | | | |
| EXPANSIÓN h=5" | | | | | | | | | | | |
| Fecha | Hora | Tiempo en Días | MOLDE No 1 | | | MOLDE No 2 | | | MOLDE No 3 | | |
| | | | Lectura Extens. | EXPANSIÓN | | Lectura Extens. | EXPANSIÓN | | Lectura Extens. | EXPANSIÓN | |
| | | | 1" x 10 ³ | % | 1" x 10 ³ | % | 1" x 10 ³ | % | 1" x 10 ³ | % | |
| 18/04/24 | 13 | 0 | 130 | | 120 | | 135 | | | | |
| 19/04/24 | 12 | 1 | 131 | | 125 | | 138 | | | | |
| 20/04/25 | 12 | 2 | 135 | | 126 | | 139 | | | | |
| 21/04/26 | 12 | 3 | 135 | | 128 | | 145 | | | | |
| 22/04/27 | 12 | 4 | 136 | 0.12 | 130 | 0.2 | 150 | | | 0.30 | |
| C.B.R. AASHTO T 193-81 | | | | | | | | | | | |
| Penetración | Tiempo | MOLDE No 1 | | | MOLDE No 2 | | | MOLDE No 3 | | | |
| | "t" | | Carga | CBR | | Carga | CBR | | Carga | CBR | |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| Pulgadas | Segundo | Lectura Extens. | Libras | % | Lectura Extens. | Libras | % | Lectura Extens. | Libras | % |
|----------|---------|-----------------|--------|-------|-----------------|--------|-------|-----------------|--------|-------|
| 0.000 | 30 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| 0.025 | 60 | 2 | 652 | | 5 | 956 | | 9 | 1289 | |
| 0.050 | 90 | 4 | 1089 | | 9 | 1508 | | 13 | 1865 | |
| 0.075 | 120 | 6 | 1507 | | 13 | 2035 | | 17 | 2345 | |
| 0.100 | 240 | 8 | 1956 | 65.20 | 16 | 2378 | 79.27 | 21 | 2741 | 91.37 |
| 0.200 | 360 | 15 | 3105 | 69.00 | 28 | 3753 | 83.40 | 36 | 4265 | 94.78 |
| 0.300 | 480 | 21 | 3402 | | 38 | 4123 | | 52 | 4765 | |
| 0.400 | 600 | 26 | 3612 | | 47 | 4358 | | 64 | 5065 | |
| 0.500 | | 33 | 3811 | | 56 | 4605 | | 82 | 5250 | |



“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Planilla de Ensayo de Asfalto Diluido

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque
Tipo de Muestra: Muestra 1 - Asfalto Diluido MC-30

1. Peso Específico

| No Picnómetro | Picnom vacío | Picnom. + H2O | Picnom + Muestra |
|---------------|--------------|---------------|------------------|
| 1 | 49.83 gr | 83.33 gr | 80.6 gr |
| 2 | 48.88 gr | 82.19 gr | 79.57 gr |
| 3 | 50.15 gr | 81.15 gr | 78.63 gr |

2. Ensayo de destilación a 360°C

| Primera Gota | Tiempo | Temperatura |
|--------------|---------|-------------|
| | 0:10:40 | 175 °C |
| Temperatura | Volumen | Tiempo |
| 175°C | --- | --- |
| 209°C | 27 | 0:28:42 |
| 243°C | 53 | 0:48:28 |
| 298°C | 68 | 0:58:07 |
| 340°C | 73 | 1:02:50 |

3. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|------------|
| 25°C | 142.51 seg |
| 25°C | 139.89 seg |

4. Ensayo de Punto de Inflamación

| | |
|---------------------|------|
| Punto Encendido | 51°C |
| Punto de combustión | 55°C |

Ensayos al residuo de destilación
Penetración a 25°C - Residuo

| Tiempo | Penetración |
|--------|-------------|
| 5.03 | 141 |
| 5 | 138 |
| 5 | 142 |
| 4.97 | 140 |

Ductilidad

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

Ensayo de la Mancha - Residuo

| | |
|----------|-----|
| % Xileno | 30% |
|----------|-----|

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque
 Tipo de Muestra: Muestra 2 - Asfalto Diluido MC-30

1. Peso Específico

| No Picnómetro | Picnómetro vacío | Picnom. + H2O | Picnómetro + Muestra |
|---------------|------------------|---------------|----------------------|
| 1 | 48.83 gr | 83.33 gr | 81.13 gr |
| 2 | 47.66 gr | 82.19 gr | 80.77 gr |
| 3 | 50.45 gr | 80.11 gr | 79.13 gr |

2. Ensayo de destilación a 360°C

| Primera Gota | Tiempo | Temperatura |
|--------------|---------|-------------|
| | 0:10:30 | 175 °C |

| Temperatura | Volumen | Tiempo |
|-------------|---------|---------|
| 175°C | --- | --- |
| 209°C | 25 | 0:29:11 |
| 243°C | 50 | 0:43:04 |
| 298°C | 65 | 0:54:41 |
| 340°C | 76 | 1:00:07 |

3. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|--------|
| 25°C | 141.76 |
| 25°C | 135.45 |

4. Ensayo de Punto de Inflamación

| | |
|---------------------|------|
| Punto Encendido | 51°C |
| Punto de combustión | 56°C |

4. Ensayos al residuo de destilación Penetración a 25°C - Residuo

| Tiempo | Penetración |
|--------|-------------|
| 5.06 | 137 |
| 5.06 | 140 |
| 5.07 | 141 |
| 5.03 | 135 |
| 5.01 | 137 |

Ductilidad

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

Ensayo de la Mancha - Residuo

| | |
|----------|-----|
| % Xileno | 30% |
|----------|-----|

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque
 Tipo de Muestra: Muestra 3 - Asfalto Diluido MC-30

1. Peso Específico

| No Picnómetro | Picnómetro vacío | Picnómetro + H2O | Picnómetro + Muestra |
|---------------|------------------|------------------|----------------------|
| 1 | 48.81 gr | 82.23 gr | 79.6 gr |
| 2 | 47.18 gr | 81.45 gr | 78.87 gr |
| 3 | 49.25 gr | 80.95 gr | 77.11 gr |

2. Ensayo de destilación a 360°C

| Primera Gota | Tiempo | Temperatura |
|--------------|---------|-------------|
| | 0:10:30 | 175 °C |
| Temperatura | Volumen | Tiempo |
| 175°C | --- | --- |
| 209°C | 24 | 0:29:21 |
| 243°C | 49 | 0:45:56 |
| 298°C | 63 | 0:55:23 |
| 340°C | 75 | 1:01:30 |

3. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|--------|
| 25°C | 141.76 |
| 25°C | 135.45 |

4. Ensayo de Punto de Inflamación

| | |
|---------------------|------|
| Punto Encendido | 52°C |
| Punto de combustión | 57°C |

4. Ensayos al residuo de destilación
 Penetración a 25°C - Residuo

| Tiempo | Penetración |
|--------|-------------|
| 5.00 | 141 |
| 4.98 | 139 |
| 5.01 | 142 |
| 5.02 | 138 |
| 5.00 | 140 |

Ductilidad

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

Ensayo de la Mancha - Residuo

| | |
|----------|-----|
| % Xileno | 30% |
|----------|-----|

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque
Tipo de Muestra: Muestra 1 - Emulsión Asfáltica EBCI

1. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|-----------|
| 25°C | 45.55 seg |
| 25°C | 51.65 seg |

2. Contenido de Hidrocarburos por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 3 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

3. Contenido de Agua por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 61 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

4. Tamizado a 850 um

| | |
|------------------------|----------|
| Peso antes de ensayo | 166.5 gr |
| Peso después de ensayo | 165.7 gr |

5. Ensayo de residuo por Evaporación

| | |
|------------------------|----------|
| Peso antes de ensayo | 234.6 gr |
| Peso después de ensayo | 200.9 gr |

Ensayos al residuo de evaporación
Ductilidad 25°C, 5 cm/min

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

Ensayo de Viscosidad a 60°C

| Muestra | Marca | Tiempo |
|---------|-------|------------|
| 1 | 1 | 56.38 seg |
| | 2 | 117.94 seg |
| | 3 | 175.12 seg |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque

Tipo de Muestra: Muestra 2 - Emulsión Asfáltica EBCI

1. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|-----------|
| 25°C | 46.75 seg |
| 25°C | 50.11 seg |

2. Contenido de Hidrocarburos por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 4 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

3. Contenido de Agua por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 62 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

4. Ensayo de residuo por Evaporación

| | |
|------------------------|----------|
| Peso antes de ensayo | 234.6 gr |
| Peso después de ensayo | 200.9 gr |

5. Tamizado a 850 um

| | |
|------------------------|----------|
| Peso antes de ensayo | 165.1 gr |
| Peso después de ensayo | 163.8 gr |

Ensayos al residuo de evaporación

6. Ductilidad 25°C, 5 cm/min

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

7. Ensayo de Viscosidad a 60°C

| Muestra | Marca | Tiempo |
|---------|-------|------------|
| 2 | 1 | 55.11 seg |
| | 2 | 115.22 seg |
| | 3 | 173.2 seg |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

PLANILLA DE ENSAYOS - ÁREA DE ASFALTOS

Responsable: Carlos Ander Ramirez Choque

Tipo de Muestra: Muestra 3 - Emulsión Asfáltica EBCI

1. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C

| Temperatura | Tiempo |
|-------------|-----------|
| 25°C | 44.12 seg |
| 25°C | 50.89 seg |

2. Contenido de Hidrocarburos por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 5 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

3. Contenido de Agua por destilación

| | |
|--------------------|--------|
| Volumen de agua | 60 ml |
| Peso de la muestra | 200 gr |

4. Tamizado a 850 um

| | |
|------------------------|-------|
| Peso antes de ensayo | 165.1 |
| Peso después de ensayo | 164.7 |

4. Ensayo de residuo por Evaporación

| | |
|------------------------|----------|
| Peso antes de ensayo | 234.6 gr |
| Peso después de ensayo | 200.9 gr |

5. Ensayos al residuo de evaporación

6. Ductilidad 25°C, 5 cm/min

| Muestra | Dist. Romp. |
|---------|-------------|
| 1 | > 150 cm |
| 2 | > 150 cm |
| 3 | > 150 cm |

7. Ensayo de Viscosidad a 60°C

| Muestra | Marca | Tiempo |
|---------|-------|------------|
| 3 | 1 | 54.12 seg |
| | 2 | 115.12 seg |
| | 3 | 171.99 seg |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

Planilla de Precios Unitarios

ACTIVIDAD: INSTALACIÓN DE FAENAS

ITEM: IDF 001

UNIDAD: GLB

MONEDA: BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|--------------|-----------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| DEPOSITO DE MATERIALES | TN | 17.5 | 200 | 3500 |
| OFICINAS EN OBRAS | LT | 23.3 | 250 | 5825 |
| | | | | |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 9325 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 0.00 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 0.00 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 0.00 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 0.00 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 0.00 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.00 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 0.00 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15.00% | | 932.5 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 932.5 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7.00% | | 718.03 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 718.03 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3.09% | | 339.14 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 339.14 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 11314.67 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: EXTRACCION Y RETIRO DE MATERIAL VEGETAL
ITEM: ERM 002
UNIDAD: PZA **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|--------------|----------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | |
| 0.00 | | | | |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0.3 | 14.71 | 3.68 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | |
| | | | | 3.68 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 2.62 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 0.94 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | |
| | | | | 7.24 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| CAMION VOLQUETA | HRS | 0.2400 | 87.50 | 21.00 |
| MOTOSIERRA | HRS | 2.0000 | 22.50 | 45.00 |
| RETROEXCAVADORA | HRS | 1.0000 | 220.01 | 220.01 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| | | | | 286.01 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.36 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | |
| | | | | 286.37 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | 15.00% | | | 44.04 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | |
| | | | | 44.04 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | 7.00% | | | 23.64 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | |
| | | | | 23.64 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | 3.09% | | | 11.16 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| | | | | 11.16 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | |
| | | | | 372.45 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: REPLANTEO, TRAZADO Y CONTROL
TOPOGRÁFICO
ITEM: RTC 003
UNIDAD: M **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|--------------|----------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| CLAVOS | KG | 0.0009 | 10.2 | 0.0092 |
| ESTACAS DE MADERA | PZA | 0.6 | 5 | 3 |
| LIENZA EN CUERDA GRUESA | M | 11.55 | 0.3 | 3.465 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 6.47 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| ALARIFE | HR | 0.2000 | 14.14 | 2.83 |
| TOPOGRAFO | HR | 0.2000 | 25.70 | 5.14 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 7.97 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 5.67 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 2.04 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 15.68 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| ESTACIÓN TOTAL | HRS | 0.2000 | 27.00 | 5.40 |
| | | | | 0.00 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 5.40 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.78 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 6.18 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15.00% | | 4.25 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 4.25 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7.00% | | 2.28 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 2.28 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3.09% | | 1.08 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 1.08 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 35.94 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: CORTE CON EQUIPO DE MATERIAL SUELTO

ITEM: CEM 004

MONEDA

UNIDAD: M3

: BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT | C.U. [Bs] | C.TOT [Bs] |
|---|--------|------------|--------------|---------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 0.00 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HRS | 0.067 0 | 14.71 | 0.99 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 0.99 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 0.70 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 0.25 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 1.94 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| RETROEXCAVADORA | HRS | 0.050 0 | 220.0 1 | 11.00 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 11.00 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.10 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 11.10 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | 15.00% | | | 1.96 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 1.96 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | 7.00% | | | 1.05 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 1.05 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | 3.09% | | | 0.50 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 0.50 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 16.54 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| | | | | |
|--|---|---------------|------------------------|--------------------|
| ACTIVIDAD: | CONFORMACIÓN Y NIVELADO DE SUBRASANTE S/PROVISION MATERIAL | | | |
| ITEM: | CSR | | | |
| UNIDAD: | M3 | MONEDA | BOLIVIANOS [Bs] | |
| | DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] |
| | | | | C.TOT. [Bs] |
| 1. MATERIALES | | | | |
| | | | | 0 |
| | (1) TOTAL MATERIALES | | | 0.00 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| | ALARIFE | HR | 0.1000 | 14.14 |
| | AYUDANTE | HR | 0.0533 | 14.71 |
| | TOPOGRAFO | HR | 0.2000 | 25.7 |
| | SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | 7.34 |
| | BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | 5.29 |
| | IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | 1.89 |
| | (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | 14.51 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| | COMPACTADOR PATA DE CABRA | HRS | 0.0200 | 315.50 |
| | ESTACIÓN TOTAL | HRS | 0.2000 | 27.00 |
| | VIBROCOMPACTADORA RODILLO LISO | HRS | 0.0033 | 320.00 |
| | VOLQUETA 10 M3 | HRS | 0.0130 | 125.00 |
| | TRACTO CAMION | HRS | 0.0001 | 208.30 |
| | SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | 14.41 |
| | HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | 0.73 |
| | (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | 15.14 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| | GASTOS GENERALES | | 15.00% | 4.45 |
| | (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | 4.45 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| | UTILIDAD | | 7.00% | 2.39 |
| | (5) TOTAL UTILIDAD | | | 2.39 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| | IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3.09% | 1.13 |
| | (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | 1.13 |
| | PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | 37.61 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

| CONFORMACIÓN Y TRANSPORTE DE CAPA SUB | | | | |
|--|----------------|---------------|------------------------|------------------------|
| ACTIVIDAD: | BASE | | | |
| ITEM: | CSB 006 | | | |
| UNIDAD: | M3 | MONEDA | BOLIVIANOS [Bs] | |
| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
| 1. MATERIALES | | | | |
| MATERIAL PARA CAPA SUB BASE | M3 | 1.35 | 90 | 121.5 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 121.50 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0.3600 | 14.71 | 5.30 |
| OPERADOR | HR | 0.0900 | 23.70 | 2.13 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 7.43 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 5.29 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 1.90 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 14.62 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| CAMIÓN VOLQUETA 10 M3 | HRS | 0.1125 | 87.50 | 9.84 |
| CAMIÓN CISTERNA 6000LT | HRS | 0.0181 | 81.25 | 1.47 |
| MOTONIVELADORA 120 HP | HRS | 0.0300 | 350.00 | 10.50 |
| VIBROCOMPACTADORA RODILLO PATA DE CABRA | HRS | 0.0300 | 315.50 | 9.47 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 31.28 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.73 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 32.01 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | 15.00% | | | 25.22 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 25.22 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | 7.00% | | | 13.53 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 13.53 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | 3.09% | | | 6.39 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 6.39 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 213.27 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: CARPETA ASFÁLTICA E=5CM C/PROVISIÓN DE CEMENTO
ITEM: CAE 009
UNIDAD: M2 **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|-----------|---------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| CEMENTO ASFÁLTICO | TN | 0.0087 | 9604.8 | 83,56 |
| DIESEL | LT | 2.244 | 3.72 | 8,347 |
| GRAVA 3/4" | M3 | 0.0138 | 125 | 1,725 |
| GRAVILLA DE 1/2" - 200 | M3 | 0.0275 | 110 | 3,025 |
| ARENA CHANCADA | M3 | 0.0138 | 120 | 1,656 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 98,32 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| AYUDANTE | HR | 0.0166 | 14.71 | 0,24 |
| OPERADOR DEEQUIPO PESADO | HR | 0.0572 | 26.24 | 1,50 |
| OBRERO DE PLANTA | HR | 0.0640 | 19.43 | 1,24 |
| OBRERO | HR | 0.0541 | 23.70 | 1,28 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 4,27 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 3,04 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 1,09 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 8,40 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| CAMIÓN VOLQUETA | HRS | 0.0024 | 87.50 | 0,21 |
| CARGADORA FRONTAL | HRS | 0.0046 | 380.00 | 1,75 |
| PLANTA ASFALTADORA | HRS | 0.0031 | 3905.15 | 12,11 |
| COMPACTADORA NEUMÁTICA 9 LLANTAS 48 TN | HRS | 0.0162 | 4.96 | 0,08 |
| RODILLO LISO VIBROCOMPACTOR DE 7 TN | HRS | 0.0140 | 4.48 | 0,06 |
| TERMINADORA DE ASFALTO | HRS | 0.0051 | 230.73 | 1,18 |
| COMPACTADORA MANUAL DE PLACA | HRS | 0.0072 | 37.50 | 0,27 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 15,65 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0,42 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 16,07 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15.00% | | 18,42 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 18,42 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7.00% | | 9,88 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 9,88 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3.09% | | 4,67 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 4,67 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 155,76 |

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI”

ACTIVIDAD: PINTADO DE SEÑALIZACION HORIZONTAL
ITEM: PSH 010
UNIDAD: M **MONEDA:** BOLIVIANOS [Bs]

| DETALLE | UNID. | CANT. | C.U. [Bs] | C.TOT. [Bs] |
|--|--------|--------|--------------|----------------|
| 1. MATERIALES | | | | |
| THINNER | TN | 0.2 | 20 | 4 |
| PINTURA DE DEMARCACIÓN DE VÍAS | LT | 0.4 | 56.57 | 22.628 |
| MICROESFERAS DE VIDRIO | M3 | 0.2 | 16 | 3.2 |
| (1) TOTAL MATERIALES | | | | 29.83 |
| 2. MANO DE OBRA | | | | |
| OBREROS | HR | 0.1000 | 11.89 | 1.19 |
| SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | | 1.19 |
| BENEFICIOS SOCIALES DE LA MANO DE OBRA [%] | 71.18% | | | 0.85 |
| IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO IVA [%] | 14.94% | | | 0.30 |
| (2) TOTAL MANO DE OBRA | | | | 2.34 |
| 3. HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | |
| DEMARCACIÓN VIAL | HRS | 0.0400 | 15.00 | 0.60 |
| SUBTOTAL HERRAMIENTAS DE EQUIPO | | | | 0.60 |
| HERRAMIENTAS DE MANO DE OBRA [%] | 5.00% | | | 0.12 |
| (3) TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | 0.72 |
| 4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | | | |
| GASTOS GENERALES | | 15.00% | | 4.93 |
| (4) TOTAL GASTOS GRAL. Y ADM. | | | | 4.93 |
| 5. UTILIDAD | | | | |
| UTILIDAD | | 7.00% | | 2.65 |
| (5) TOTAL UTILIDAD | | | | 2.65 |
| 6. IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | |
| IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | 3.09% | | 1.25 |
| (6) TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCION | | | | 1.25 |
| PRECIO UNITARIO TOTAL DE LA ACTIVIDAD | | | | 41.71 |



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2600/2024
La Paz, 23 de agosto de 2024**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **19 de agosto de 2024**, por **CARLOS ANDER RAMIREZ CHOQUE** con **C.I. N° 9861606 LP**, con número de trámite **DA 1487/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN ELABORADA EN BOLIVIA EN CAPA BASE, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena"*



fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN ELABORADA EN BOLIVIA EN CAPA BASE, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO TTI"** a favor del autor y titular: **CARLOS ANDER RAMIREZ CHOQUE** con **C.I. Nº 9861606 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



MpvBn4LI9Ln28L

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, Nº 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, Nº 366
casi esq. Urriagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, Nº 243.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, Nº 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160



REFERENCIA

UMSA, FACULTAD DE INGENIERIA, CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

POSTULANTE: CARLOS ANDER RAMIREZ CHOQUE, C.I.: 9861606 LP, CEL: 67338438

DIRECCIÓN: Z. SOPOCACHI, CALLE MUÑOZ CORNEJO, NRO. 2734

CORREO: FMR2AND@GMAIL.COM