



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Control de producción de pavimentos mediante el uso de tomografía
computarizada de rayos x (TC-RX)**

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Civil

Autores:

Alarcón Cabezas, Karen Andrea

Bejarano Cevallos, Doménica Sthefanía

Tutor:

Msc. Alexis Iván Andrade Valle

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotras **Alarcón Cabezas Karen Andrea**, con cédula de ciudadanía **0605139435** y **Bejarano Cevallos Doménica Sthefanía**, con cédula de ciudadanía **0604875518** autoras del trabajo de investigación titulado: “**Control de producción de pavimentos mediante el uso de tomografía computarizada de rayos x (TC-RX)**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 28 de octubre de 2024.



Karen Andrea Alarcón Cabezas

C.I: 0605139435



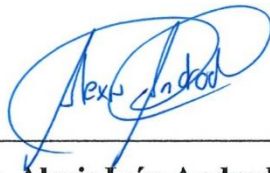
Doménica Sthefanía Bejarano Cevallos

C.I: 0604875518

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. Alexis Iván Andrade Valle**, Mgs, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Control de producción de pavimentos mediante el uso de tomografía computarizada de rayos x (TC-RX)”**, bajo la autoría de **Alarcón Cabezas Karen Andrea y Bejarano Cevallos Doménica Sthefanía**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 28 días del mes de octubre de 2024



Ing. Alexis Iván Andrade Valle

C.I: 0604089383

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Control de producción de pavimentos mediante el uso de tomografía computarizada de rayos x (TC-RX)”, presentado por Karen Andrea Alarcón Cabezas, con cédula de identidad número 0605139435 y Doménica Sthefanía Bejarano Cevallos, con cédula de identidad número 0604875518, bajo la tutoría de Ing. Alexis Iván Andrade Valle. Mgs; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 8 de noviembre de 2024.

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Ángel Edmundo Paredes García, Msc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Tito Oswaldo Castillo Campoverde, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **ALARCÓN CABEZAS KAREN ANDREA** con CC: **0605139435** y **BEJARANO CEVALLOS DOMÉNICA STEFANÍA** con CC: **0604875518**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CONTROL DE PRODUCCIÓN DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL USO DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE RAYOS X (TC-RX)**", cumple con el 9%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 29 de octubre de 2024.

Ing. Alexis Iván Andrade Valle, Mgs.
TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres, Pilar y Dennis, por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes con amor, sacrificio y dedicación me han enseñado el valor del esfuerzo y la importancia de perseguir mis sueños. Gracias por cada consejo, cada abrazo y cada palabra de aliento que me ha dado la fuerza para continuar, incluso en los momentos difíciles.

A mis abuelos, Genoveva y Nelson, por su amor eterno y sus enseñanzas invaluable, sus palabras y su ejemplo me han enseñado a ser fuerte, a valorar la familia y a creer en mí misma; a mi hermano Massimiliano, mi mejor amigo y confidente, gracias por estar siempre a mi lado, por compartir risas y retos, y por ser una fuente constante de apoyo y motivación.

Para ustedes, mi familia, quienes han sido mi inspiración, mi guía y mi amor constante.

Con cariño,

Karen Alarcón Cabezas

AGRADECIMIENTO

Con el corazón lleno de gratitud quiero comenzar agradeciendo a mis padres Pilar y Dennis, llegar hasta aquí no habría sido posible sin el amor, motivación y apoyo incondicional que me brindaron desde el primer momento; a mi abuelita Genoveva, que siempre estuvo para mí con una palabra de aliento, muestra de cariño y su infinito amor; a mi tío Víctor, ha sido mi motivación durante este camino y ha estado dispuesto a ayudarme siempre de manera desinteresada; a mi novio José, que me impulsa cada día a ser mejor, por creer en mí sin importar nada y por sus palabras de aliento en cada momento; por último a mi razón de ser, mi hermano Massimiliano, por ser mi luz en los días oscuros, mi inspiración y fortaleza. Gracias a cada uno de ustedes, esta meta también es suya.

Con cariño,

Karen Alarcón Cabezas

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Doris, quienes han sido mi guía, mi ejemplo y mi mayor fortaleza. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la dedicación, y por creer en mí incluso en los momentos en que yo no lo hacía. Su amor, sus sacrificios y su apoyo incondicional han sido la base sobre la que he construido cada triunfo. Este logro es de ustedes, porque sin su amor y sus enseñanzas, nada de esto hubiera sido posible.

A mis hermanos Andrés y Danny, mis compañeros de vida y mis primeros amigos. Gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome con sus palabras, su ejemplo y su amor incondicional. Cada paso en este camino ha sido más fácil gracias a la fuerza, la alegría y la inspiración que encuentro en cada uno de ustedes. Esta tesis es el reflejo de un esfuerzo que lleva consigo todo lo que me han enseñado: a perseverar, a soñar y a no rendirme.

A mi sobrina Ana Pula, pequeña luz que ilumina mis días y me inspira a ser mejor. Que esta tesis, sea una muestra de que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar sueños grandes. Mi deseo es que crezcas llena de curiosidad, valentía y amor por el aprendizaje. Que cada uno de tus sueños vuele tan alto como las estrellas y que siempre recuerdes que, así como yo, tú también puedes alcanzar todo lo que te propongas.

A mi cuñada, Paola, quien con su apoyo y amistad han estado a mi lado en este viaje. Gracias por tu compañía, tus palabras de ánimo y por ser una parte tan especial de mi vida. Tu cariño y comprensión han sido un refugio en momentos difíciles y una motivación constante para seguir adelante. Que este logro refleje un poco de la gratitud y el cariño que tengo por ti.

Les dedico a todos ustedes este logro con eterna gratitud, ¡Los amo!

Con cariño,

Doménica Sthefanía Bejarano Cevallos.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Carlos y Doris por su amor incondicional, su apoyo incansable y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por creer en mí y brindarme la oportunidad de alcanzar mis sueños. Este logro es también suyo.

A mis hermanos Andrés y Danny, por ser una fuente constante de motivación y alegría. Su compañía y sus palabras de ánimo me han dado la fuerza para continuar en los momentos más difíciles.

A mis profesores, quienes compartieron conmigo su conocimiento, su experiencia y su guía. Su dedicación y paciencia han sido fundamentales para mi crecimiento académico y personal. Gracias por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí.

A mis amigos, por estar a mi lado en cada paso, compartiendo conmigo risas, retos y desvelos. Su apoyo y amistad han sido un pilar fundamental en este camino, y con ustedes, cada momento ha sido más llevadero.

Finalmente, a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a este logro, les extiendo mi gratitud y reconocimiento. Esta tesis no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino también de su apoyo y compañía.

Con mi más sincero agradecimiento,

Doménica Sthefanía Bejarano Cevallos.

INDICE

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

| | |
|--|----|
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| 1.1 Antecedentes..... | 16 |
| 1.2 Planteamiento del Problema..... | 20 |
| 1.3 Justificación..... | 20 |
| 1.4 Objetivos | 21 |
| 1.4.1 General..... | 21 |
| 1.4.2 Específicos | 21 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 Pavimentos | 22 |
| 2.2 Tomografía Computarizada (TC) | 22 |
| 2.3 Proceso de elaboración de mezcla asfáltica en planta | 22 |
| 2.4 Factores importantes para un buen funcionamiento de mezcla asfáltica..... | 23 |
| 2.4.1 Factores relacionados con los Materiales..... | 23 |
| 2.4.2 Factores relacionados con el Diseño de la Mezcla | 24 |
| 2.4.3 Factores relacionados con el Proceso de Producción | 24 |
| 2.4.4 Factores relacionados con la Aplicación..... | 24 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.4.5 | Factores Relacionados con el Mantenimientos | 25 |
| 2.4.6 | Factores Relacionados con el Tráfico | 25 |
| 2.5 | Resolución y Precisión de Tomografía Computarizada..... | 25 |
| 2.6 | Resistivímetro Syscal Pro | 25 |
| 2.7 | Programas utilizados para Revelación de imágenes tomográficas..... | 27 |
| 2.8 | Coeficiente r de Pearson..... | 28 |
| 2.9 | Composición y Estructura de Pavimentos..... | 28 |
| 2.10 | Control de Producción en Pavimentos..... | 29 |
| 2.11 | Estado del Arte | 29 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA | | 32 |
| 3.1 | Tipo de Investigación..... | 32 |
| 3.2 | Diseño de Investigación | 32 |
| 3.3 | Diagrama Metodológico..... | 32 |
| 3.4 | Técnicas de Recolección de Datos | 33 |
| 3.5 | Población de Estudio y Tamaño de Muestra..... | 35 |
| 3.6 | Métodos de Análisis..... | 35 |
| 3.7 | Procesamiento de Datos | 36 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 39 |
| 4.1 | Trabajos de Laboratorio | 39 |
| 4.2 | Tomografías en Planta | 40 |
| 4.2.1 | Línea 1 Cajón A..... | 41 |
| 4.2.2 | Línea 2 Cajón A..... | 41 |
| 4.2.3 | Línea 1 Muestra B | 42 |
| 4.2.4 | Línea 2 Muestra B | 43 |
| 4.3 | Tomografías en Obra | 43 |
| 4.3.1 | Línea 1 Vía..... | 44 |
| 4.3.2 | Línea 2 Vía..... | 44 |

| | | |
|--|---|----|
| 4.4 | Correlación de la mezcla en planta y en obra..... | 45 |
| 4.5 | Discusión..... | 48 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 50 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 50 |
| 5.2 | Recomendaciones | 51 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA | 52 |
| 7. | ANEXOS..... | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Funcionamiento de la Tomografía eléctrica..... | 26 |
| Figura 2. Diagrama metodológico..... | 32 |
| Figura 3. Secuencias de medidas para tomografía eléctrica 2D..... | 34 |
| Figura 4. Área de estudio..... | 35 |
| Figura 5. Tomografía línea 1 cajón A..... | 41 |
| Figura 6. Tomografía línea 2 cajón A..... | 41 |
| Figura 7. Tomografía línea 1 muestra B..... | 42 |
| Figura 8. Tomografía línea 2 muestra B..... | 43 |
| Figura 9. Tomografía línea 1 vía..... | 44 |
| Figura 10. Tomografía línea 2 vía..... | 44 |
| Figura 11. Índice de correlación campo-tomografía..... | 46 |
| Figura 12. Índice de correlación obra-tomografía..... | 47 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores de las resistividades en diferentes materiales..... | 37 |
| Tabla 2. Porcentajes de los materiales de la mezcla asfáltica..... | 40 |
| Tabla 3. Granulometría de la fórmula maestra..... | 40 |
| Tabla 4. Propiedades de la fórmula maestra..... | 40 |
| Tabla 5. Número de píxeles por tomografía..... | 45 |
| Tabla 6. Porcentajes de vacíos y densidades en planta, obra y tomografía..... | 46 |

RESUMEN

En la presente investigación se buscó desarrollar un método no destructivo para asfalto en planta mediante el uso de tomografía computarizada, con el uso del resistivímetro Syscal Pro como herramienta para evaluar la calidad de la mezcla asfáltica en la construcción de pavimentos. El estudio se centra en la identificación de vacíos y agregados en el pavimento durante las etapas de producción en planta y colocación en obra, con el fin de mejorar la durabilidad y rendimiento del pavimento. La investigación se llevó a cabo en una vía de Latacunga asignada por una empresa constructora. El procedimiento incluyó la toma de datos tanto en planta como en obra, utilizando una configuración Dipolo-Dipolo con separaciones de electrodos de 10 cm en planta y 21 cm en obra. En planta, se realizaron dos tipos de muestras: una en un cajón de 5.5 m de longitud y otra aplicada directamente sobre el suelo compactado. Se asignaron colores específicos a los materiales; verde para el agregado fino, azul para el agregado medio, naranja para el grueso, gris para el cemento asfáltico y amarillo para los vacíos, lo que permitió crear imágenes tomográficas detalladas. Estas tomografías fueron comparadas con mediciones físicas de densidad y contenido de vacíos. Los resultados indicaron que, en planta, la mezcla asfáltica mostró una densidad de 2.211 g/cm³ y un contenido de vacíos del 4.0%, mientras que en obra, después de la colocación y compactación, la densidad fue de 2.191 g/cm³ y el contenido de vacíos aumentó al 4.5%. La correlación entre los resultados obtenidos mediante tomografía y las mediciones físicas fue moderada en planta dándonos un $R^2 = 0.5942$ y baja en obra con un $R^2 = 0.3102$, lo que se atribuye a la variabilidad en las condiciones de compactación y transporte. Se determinó que el Syscal Pro es una herramienta eficaz para detectar vacíos y defectos en el pavimento, lo que permite realizar correcciones tempranas y mejorar la calidad de la mezcla asfáltica. Además, se recomienda utilizar esta técnica de forma regular en planta y obra para asegurar la consistencia y calidad del pavimento a lo largo de su vida útil.

Palabras Clave: Tomografía computarizada, resistivímetro, pavimento, calidad de mezcla asfáltica, cantidad de vacíos.

ABSTRACT

In this research, we sought to develop a non-destructive method for asphalt in the plant by using computed tomography and the Syscal Pro resistivity meter to evaluate the quality of the asphalt mixture in the construction of pavements. The study focuses on identifying voids and aggregates in the pavement during the production stages in the plant and placement on-site to improve the pavement's durability and performance. This research was carried out on a road in Latacunga assigned by a construction company. The procedure included data collection both in the plant and on-site, using a Dipole-Dipole configuration with electrode separations of 10 cm in the plant and 21 cm on site. Two samples were taken in the plant: one in a 5.5 m long box and another applied directly to the compacted soil. We assign specific colors to the materials: green for fine aggregate, blue for medium aggregate, orange for coarse aggregate, grey for asphalt cement, and yellow for voids, which allowed the creation of detailed tomographic images. These tomographies were compared with physical measurements of density and void content. The results indicated that, in the plant, the asphalt mixture showed a density of 2.211 g/cm³ and a void content of 4.0%, while on-site, after placement and compaction, the density was 2.191 g/cm³ and the void content increased to 4.5%. The correlation between the results obtained by tomography and the physical measurements was moderate in the plant, giving us an $R^2 = 0.5942$ and low on-site with an $R^2 = 0.3102$, which is attributed to the compaction and transport conditions variability. Syscal Pro was an effective tool for detecting voids and defects in pavement, allowing for early corrections and improving asphalt mix quality. Furthermore, using this technique regularly in the plant and on-site is recommended to ensure pavement consistency and quality throughout its useful life.

Keywords: Computed tomography, resistivity meter, pavement, asphalt mix quality, number of voids.



Planned electronically for:
ANA ELIZABETH
MALDONADO LEON

Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Chang (2020), asegura que el control de producción de pavimentos ha evolucionado significativamente a lo largo de los años, impulsado por la necesidad de mejorar la durabilidad, la seguridad y el rendimiento de las carreteras. Aquí se presenta una visión general de los antecedentes históricos y el desarrollo del control de producción de pavimentos:

Desarrollo de Normas y Especificaciones (Años 1920 - 1950) (Kassem et al., 2008):

- Establecimiento de Normas: Con el aumento del tráfico automovilístico, surgió la necesidad de estandarizar la construcción de pavimentos. Se desarrollaron las primeras normas y especificaciones para la producción y colocación de mezclas asfálticas.
- Pruebas de Materiales: Se implementaron pruebas básicas de control de calidad, como la determinación del contenido de asfalto y la granulometría de los agregados.

Métodos de Diseño Racional (Años 1950 - 1970):

- Método Marshall: Introducido en los años 1930 y ampliamente adoptado en los años 1950, el método Marshall proporcionó un enfoque sistemático para el diseño de mezclas asfálticas, evaluando propiedades como la estabilidad y el flujo (Awan et al., 2022).
- AASHTO y ASTM: Las organizaciones como AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y ASTM (American Society for Testing and Materials) desarrollaron métodos de prueba estandarizados y especificaciones para pavimentos (ASTM D 1559, 2003).

Avances en Tecnología y Materiales (Años 1970 - 1990) (Xing et al., 2019):

- Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements): Desarrollado en los años 1980 y 1990, el método Superpave introdujo un enfoque más científico para el diseño de mezclas asfálticas, basado en el análisis del comportamiento de los materiales bajo diferentes condiciones climáticas y de carga.

- Mejoras en Equipos: La introducción de equipos de producción y colocación más avanzados permitió un mejor control de la temperatura, la dosificación y la compactación de las mezclas asfálticas.

Enfoque en la Calidad y el Desempeño (Años 1990 - Presente) (Liu et al., 2014):

- Control Estadístico de Procesos (SPC): Se adoptaron técnicas de control estadístico de procesos para monitorear y controlar la producción de mezclas asfálticas, reduciendo la variabilidad y mejorando la calidad.
- Tecnologías de Prueba No Destructiva: La implementación de tecnologías como la deflectometría de impacto (FWD) y los sistemas de imágenes térmicas permitió una evaluación más precisa y rápida de la calidad del pavimento en el campo.
- Modelos de Desempeño: Se desarrollaron modelos de desempeño para predecir la vida útil de los pavimentos y optimizar el diseño y el mantenimiento.

Sostenibilidad y Nuevas Tecnologías (Años 2000 - Presente) (Liu et al., 2014):

- Reciclaje de Pavimentos: El uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) y otros materiales reciclados se ha incrementado, promoviendo prácticas sostenibles en la producción de pavimentos.
- Nanotecnología y Aditivos Avanzados: La incorporación de nanotecnología y aditivos avanzados ha mejorado las propiedades del asfalto, como la resistencia al envejecimiento y la durabilidad.
- Sistemas de Gestión de Pavimentos (PMS): Los sistemas de gestión de pavimentos, basados en datos y análisis, permiten una planificación y un mantenimiento más eficientes de las redes viales.

Maiguashca (2022), menciona que en la actualidad el control de producción de pavimentos implica varios procedimientos y ensayos tradicionales que aseguran que el pavimento tenga las propiedades necesarias para cumplir con su función de manera duradera y segura. Entre los métodos más comunes se encuentran (Gopalakrishnan et al., 2007):

Control de la Mezcla:

- Dosificación: Se controla la proporción de agregados y asfalto en la mezcla para asegurar que cumpla con el diseño especificado. Se utiliza equipo de dosificación precisa para garantizar la consistencia.
- Temperatura: Se monitorea la temperatura del asfalto y de los agregados antes de la mezcla y durante la producción para asegurar una mezcla adecuada y trabajabilidad. Las temperaturas típicas varían entre 140°C y 160°C.
- Homogeneidad: Se verifica la uniformidad de la mezcla para evitar segregaciones y asegurar una cobertura uniforme del asfalto sobre los agregados.

Pruebas de Laboratorio en Planta (Alvarez et al., 2008):

- Contenido de Asfalto: Se realiza mediante el ensayo de extracción de asfalto para verificar que el contenido de asfalto esté dentro de los límites especificados.
- Granulometría de la Mezcla: Se realiza un análisis granulométrico de la mezcla para asegurarse de que la distribución de los tamaños de partículas sea adecuada.
- Compactación: Se llevan a cabo pruebas de compactación como el método Marshall o el ensayo de compactación giratoria Superpave para evaluar la densidad y la estabilidad de la mezcla.
- Densidad y Vacíos: Se miden para asegurar que la mezcla tenga la densidad adecuada y el contenido de vacíos dentro de los límites especificados.

Zhang et al., (2018), en su investigación evalúa la compactación de la mezcla durante la colocación, una densidad suficiente asegura que los áridos queden bien ligados, lo que aumenta la resistencia y durabilidad del pavimento. Una alta densidad reduce la permeabilidad de la mezcla, minimizando la infiltración de agua y aire, que pueden causar daños como el envejecimiento oxidativo y el deterioro por congelación y descongelación.

Russo et al., (2018), menciona en su investigación que un bajo porcentaje de vacíos reduce la permeabilidad, minimizando la entrada de agua y aire, lo que previene daños como el stripping (separación del asfalto de los agregados) y el envejecimiento prematuro. Un porcentaje de vacíos demasiado bajo puede llevar a una mezcla demasiado densa que es susceptible a la deformación permanente bajo cargas repetidas de tráfico. El porcentaje de vacíos (aire atrapado en la mezcla) influye en la durabilidad y el

comportamiento de la mezcla. Un porcentaje adecuado de vacíos es esencial para permitir cierta flexibilidad sin comprometer la resistencia.

Control en el Sitio de Construcción(Garnica et al., 2005):

- Temperatura de Colocación: Se monitorea la temperatura de la mezcla durante la colocación y compactación para asegurar una adecuada trabajabilidad y compactación.
- Compactación: Se utiliza equipo de compactación como rodillos vibratorios y neumáticos para alcanzar la densidad especificada. La densidad se verifica in situ mediante métodos no destructivos como el ensayo nuclear o extrayendo núcleos.
- Espesor de la Capa: Se mide para asegurar que la capa de pavimento tenga el espesor adecuado según el diseño.

Pruebas de Desempeño en el Laboratorio:

- Estabilidad y Flujo Marshall: Se realizan para evaluar la resistencia y la deformabilidad de la mezcla.
- Resistencia a la Fatiga: Se prueba para determinar la durabilidad de la mezcla bajo cargas repetidas.
- Resistencia al Ahuellamiento: Se evalúa para asegurarse de que la mezcla no se deforme excesivamente bajo el tráfico.

Monitoreo Continuo:

- Inspecciones Regulares: Se realizan inspecciones periódicas del pavimento para identificar y corregir problemas como grietas, baches y deformaciones.
- Pruebas de Desempeño a Largo Plazo: Se utilizan métodos como la deflectometría de impacto (FWD) para evaluar la capacidad estructural del pavimento con el tiempo.

Documentación y Trazabilidad:

- Registros de Producción: Se mantiene una documentación detallada de los lotes de producción, incluyendo los resultados de las pruebas y cualquier ajuste realizado.

- Certificación de Materiales: Se aseguran certificados de calidad para los materiales utilizados, verificando que cumplan con las especificaciones requeridas.

1.2 Planteamiento del Problema

El método tradicional de muestreo en planta de producción de asfalto “Marshall” (ASTM D6927, 2022), implica la elaboración de briquetas, curado durante 24 horas, y ensayo destructivo. Sin embargo, mientras se da este proceso el material ya es despachado al sitio de colocación de la vía lo que implica que se debe esperar a los resultados del ensayo para saber si este es de buena calidad y se queda en sitio o es de mala calidad y debe ser retirado, mejorado o reciclado lo que incrementa el costo de producción y eventualmente el costo ocasionado por daños de un pavimento defectuoso (Constante, 2014). Esta investigación propone desarrollar un método no destructivo que permita conocer la calidad del material en planta de manera inmediata antes del despacho al sitio de la obra evitando así los gastos por material rechazado o material defectuoso.

1.3 Justificación

El control de producción de pavimentos es crucial para garantizar la calidad y durabilidad de las carreteras y otras superficies pavimentadas. La utilización de la tomografía computarizada (TC) en este proceso ofrece varias ventajas importantes:

- La Tomografía computarizada permite la visualización de las capas internas del pavimento con alta resolución. Esto significa que se pueden identificar defectos como burbujas de aire, agregados mal compactados o desgaste desigual que no son visibles desde la superficie. Detectar estos problemas internos antes de que la carretera esté en uso puede prevenir fallos prematuros y costosas reparaciones.
- La TC permite una evaluación no destructiva y rápida del pavimento, lo que minimiza la necesidad de pruebas invasivas y costosas que pueden dañar la superficie. Además, al detectar problemas tempranos en el proceso de producción, se evita el desperdicio de materiales y recursos en la construcción de pavimentos defectuosos.
- Esta técnica utiliza para generar imágenes tridimensionales de alta resolución que revelan la distribución y la calidad de los materiales dentro del pavimento, incluidas las capas de base, subbase y la mezcla asfáltica.

Esta investigación será un aporte fundamental para comprender el comportamiento de la mezcla asfáltica cuando se encuentra en planta y cuando es aplicado en obra, de esta manera se determina si sus propiedades y calidad varían. Con estos resultados se compara y establece una correlación del comportamiento de la mezcla asfáltica con el fin de mejorar el control de producción del pavimento.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Desarrollar un método no destructivo para asfalto en planta mediante el uso de tomografía computarizada.

1.4.2 Específicos

- Desarrollar algoritmos para identificar la composición y la calidad de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica.
- Determinar el índice de correlación entre la calidad de la mezcla asfáltica salida en planta vs. en obra.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Pavimentos

Superficies diseñadas para soportar el tránsito de vehículos y personas, compuestas por diferentes capas que proporcionan estabilidad y durabilidad. Estos pueden dividirse en pavimentos asfálticos o flexibles y pavimentos de concreto o rígidos (Giordani & Leone, 2018).

2.2 Tomografía Computarizada (TC)

Técnica de imagen que utiliza energía para crear imágenes detalladas del interior de un objeto, permitiendo la visualización de su estructura interna sin dañarlo, la TC en pavimentos puede medir características agregadas como tamaño, ubicación, puntos de contacto y orientación, con mayores puntos de contacto a medida que aumenta el nivel de compactación (Kutay et al., 2010).

2.3 Proceso de elaboración de mezcla asfáltica en planta

La producción de mezcla asfáltica en fábricas implica un proceso industrial en el que se combinan materiales específicos en una mezcla homogénea para asfaltar carreteras y otras superficies. Las proporciones de los diferentes tipos de agregados se determinan mediante el diseño de mezclas, que incluye pruebas de laboratorio para optimizar la combinación de materiales y lograr las propiedades requeridas. En el diseño de la mezcla se consideran factores como resistencia, durabilidad, trabajabilidad y costo. Estos agregados se combinan con asfalto para formar la base de la mezcla asfáltica que se utiliza para crear una superficie de carretera resistente y duradera (Zeleele et al., 2013).

Pasos principales del proceso:

- **Recepción y almacenamiento de materiales:** Se almacenan en tolvas separadas según su tamaño.
 - Agregados Finos: como arena puede ser natural o manufacturada. Es un material granular que pasa a través de un tamiz de 4.75 mm. La arena mejora la trabajabilidad y la estabilidad de la mezcla. Polvo mineral son finos obtenidos de la trituración de rocas o residuos minerales. Ayudan a llenar los vacíos y a mejorar la cohesión de la mezcla.

- **Agregados Gruesos:** Grava son partículas que quedan retenidas en un tamiz de 4.75 mm pero pasan a través de un tamiz de 37.5 mm. Proporcionan resistencia y durabilidad a la mezcla. Piedra triturada similar a la grava, pero obtenida por trituración de rocas. Se seleccionan por su dureza y resistencia.
- **Dosificación y mezcla:** Dependiendo de la estructura de la mezcla, los áridos se miden en determinadas cantidades. Esto se logra mediante un sistema de pesaje controlado. El mineral se calienta en una secadora para eliminar la humedad y alcanzar una temperatura adecuada para la mezcla. El agregado caliente se mezcla con el asfalto caliente en una mezcladora (planta de mezcla en caliente o planta de mezcla en frío, según el tipo de mezcla). Se pueden agregar ingredientes según sea necesario (Ding et al., 2016).
- **Control de Calidad:** Se realizan pruebas para asegurar que la mezcla cumpla con las especificaciones técnicas requeridas (densidad, contenido de asfalto, granulometría, etc.).
- **Carga y Transporte:** La mezcla asfáltica terminada se carga en camiones y se transporta al lugar de pavimentación.
- **Aplicación y Compactación:** En el lugar de pavimentación, la mezcla asfáltica se extiende y se compacta usando maquinaria especializada (extendedoras y compactadoras).

2.4 Factores importantes para un buen funcionamiento de mezcla asfáltica

Para asegurar el buen funcionamiento de una mezcla asfáltica, es fundamental tener en cuenta varios factores que afectan tanto su proceso de elaboración como su aplicación y desempeño a largo plazo (Wu et al., 2018).

Factores considerados:

2.4.1 Factores relacionados con los Materiales

- **Calidad de los Agregados:** Los agregados deben ser resistentes a la fragmentación y desgaste. Una distribución adecuada de tamaños de partículas mejora la densidad y la estabilidad. Agregados angulares y con textura rugosa proporcionan mejor interbloqueo y resistencia al deslizamiento.

- Calidad del Asfalto: La calidad del asfalto debe ser adecuada a las condiciones climáticas y del tráfico. El asfalto debe adherirse bien al árido para evitar su caída.
- Aditivos: Estos pueden incluir polímeros, fibras o caucho para aumentar la flexibilidad, resistencia y durabilidad del compuesto. Aditivos antideslizantes mejora la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas.

2.4.2 Factores relacionados con el Diseño de la Mezcla

- Proporción de los Componentes: El diseño de la mezcla debe basarse en pruebas de laboratorio para garantizar un equilibrio entre resistencia, durabilidad y trabajabilidad.
- Pruebas de Laboratorio: La cantidad de asfalto debe ser suficiente para recubrir los agregados y proporcionar cohesión sin excederse, lo que podría causar deformaciones. Pruebas de control de calidad: Los ensayos de compactación aseguran que la mezcla alcanza la densidad requerida. Pruebas resistencia que incluyen ensayos Marshall o de comprensión (Li et al., 2019).

2.4.3 Factores relacionados con el Proceso de Producción

- Temperatura de Mezclado: La temperatura debe controlarse cuidadosamente para asegurar una mezcla adecuada del asfalto y los agregados y mantener su trabajabilidad.
- Equipos de mezclado: Los equipos deben estar en buen estado y operarse correctamente para evitar variaciones en la calidad de la mezcla.

2.4.4 Factores relacionados con la Aplicación

- Temperatura de Aplicación: La mezcla asfáltica debe aplicarse a una temperatura que asegure una adecuada compactación y adherencia.
- Condiciones Ambientales: Evitar la pavimentación en condiciones de lluvia, nieve o temperaturas extremadamente bajas.
- Equipos de Aplicación y Compactación: Correcta selección y uso de rodillos vibratorios y estáticos para asegurar una buena compactación.

2.4.5 Factores Relacionados con el Mantenimientos

- Inspección Regular: Monitorear el estado del pavimento para identificar y reparar daños temprano.
- Sellado de Grietas: Aplicar selladores a tiempo para prevenir la infiltración de agua y la propagación de grietas.
- Reparaciones: Realizar bacheos y otros tipos de reparaciones de manera oportuna para mantener la integridad del pavimento.

2.4.6 Factores Relacionados con el Tráfico

- Carga y Frecuencia del Tráfico: El diseño de la mezcla debe considerar las cargas esperadas y la frecuencia del tráfico para asegurar una vida útil adecuada.
- Control de Sobrecargas: Implementar y hacer cumplir regulaciones sobre cargas máximas permitidas para evitar daños prematuros al pavimento.

2.5 Resolución y Precisión de Tomografía Computarizada

La tomografía computarizada (TC) puede obtener imágenes con alta resolución, lo que es esencial para detectar defectos y variaciones internas en los materiales del pavimento. La resolución y la precisión han mejorado significativamente gracias a los avances tecnológicos, incluyendo: Tanto la resolución como la precisión se mejoran con nuevos detectores con mayor resolución espacial y menor ruido. La reconstrucción iterativa y la IA están cambiando la calidad de las imágenes. Los escaneos más rápidos de TC reducen el riesgo de movimiento del objeto y mejoran la precisión (Zhang et al., 2019).

2.6 Resistivímetro Syscal Pro

El Syscal Pro es un equipo de alta gama para la medición de resistividad eléctrica en geofísica, proporcionando datos precisos y confiables que son cruciales para una variedad de aplicaciones en la exploración y el estudio del subsuelo (Bobachev et al., 2006). La tomografía tiene un funcionamiento que se basa en principios similares a los métodos de resistividad convencionales. Es necesario el uso de cuatro electrodos: dos para la corriente continua (A, B) y dos para el potencial (M, N). Los electrodos A y B introducen un campo eléctrico en el suelo o donde se lo esté aplicando, mientras que M y N miden la diferencia de potencial eléctrico (ΔV) entre los dos puntos. Partiendo de ΔV ,

se pueden calcular los valores de resistividad en el punto medio del dispositivo a una profundidad específica (Avery et al., 2017).

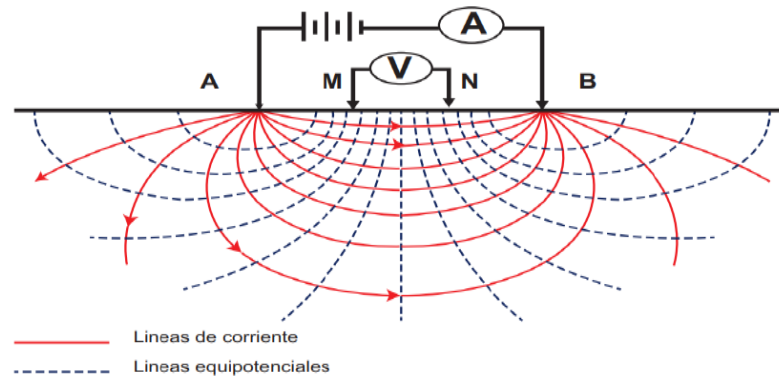


Figura 1. *Funcionamiento de la Tomografía eléctrica.*

Tomado de: (Avery et al., 2017)

En la figura 1 se muestra un esquema donde se evidencia el funcionamiento de los electrodos para la tomografía eléctrica.

Entre sus características principales están:

- **Configuración de Electrodo:** Soporta configuraciones estándar como Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo, y configuraciones personalizadas. Permite mediciones con diferentes arreglos de electrodos, lo que lo hace versátil para diversas aplicaciones.
- **Capacidades de Medición:** Mide la resistividad eléctrica del suelo a diferentes profundidades. Puede realizar tomografías eléctricas 2D y 3D.
- **Rendimiento y Durabilidad:** Diseño robusto para uso en campo. Alta precisión y confiabilidad en las mediciones. Resistente al agua y al polvo, adecuado para condiciones ambientales adversas.
- **Interfaz y Software:** Pantalla gráfica para la visualización de datos en tiempo real. Software integrado para el procesamiento y la interpretación de datos. Conectividad para descarga de datos y comunicación con computadoras para análisis posterior.
- **Fuente de Alimentación:** Alimentado por baterías recargables, lo que facilita su uso en campo sin necesidad de fuentes de energía externa.

- **Memoria de Almacenamiento:** Gran capacidad de almacenamiento de datos, permitiendo la realización de estudios extensos sin necesidad de descargar datos frecuentemente.

2.7 Programas utilizados para Revelación de imágenes tomográficas

- **Prosys II:** es un software desarrollado por IRIS Instruments, diseñado para gestionar datos de resistividad y cargabilidad obtenidos de sus resistivímetros (SYSCAL) y receptores de polarización inducida (IP) (ELREC). Este software permite la transferencia, edición, procesamiento y exportación de datos de resistividad y cargabilidad (Bharti et al., 2019). Permite descargar los datos registrados desde los dispositivos de IRIS Instruments. Exportación de datos en varios formatos, como archivos de texto y formatos compatibles con otros softwares geofísicos como Res2dinv.
- **Res2dinv:** es un software desarrollado por Geotomo Software, diseñado para la inversión de datos de tomografía de resistividad eléctrica en dos dimensiones (2D). Es ampliamente utilizado en estudios geofísicos para generar imágenes del subsuelo basadas en mediciones de resistividad. Utiliza algoritmos de inversión robustos para ajustar los datos medidos y generar una imagen de resistividad, es compatible con datos obtenidos de diferentes sistemas de adquisición de resistividad, permite la inserción de datos topográficos y de otros tipos de datos auxiliares para mejorar la precisión del modelo, proporciona opciones para la optimización de la malla de inversión y la configuración de los parámetros de inversión (Hellman et al., 2016).
- **Surfer:** Es un software desarrollado por Golden Software que se utiliza principalmente para la creación de mapas de contornos y superficies en tres dimensiones a partir de datos geoespaciales. Es ampliamente utilizado en diversas disciplinas como la geología, hidrogeología, geofísica, y la ingeniería ambiental para visualizar y analizar datos espaciales. Genera mapas de contornos detallados que representan variaciones en los datos espaciales. Exporta mapas y datos en formatos gráficos como PDF, PNG, y formatos compatibles con GIS, tiene opciones de interpolación para generar superficies continuas a partir de datos dispersos, mapas con opciones para agregar etiquetas, leyendas, escalas y otras anotaciones (Liu et al., 2020).

- **GIMP:** (GNU Image Manipulation Program) es un software libre y de código abierto para la edición de imágenes. Es una alternativa popular a programas de edición de imágenes comerciales como Adobe Photoshop. GIMP es altamente valorado por su flexibilidad y potente conjunto de herramientas. Incluye varias herramientas para seleccionar partes de una imagen, como el lazo, la varita mágica y la herramienta de selección rectangular/elíptica, permite trabajar con múltiples capas y canales para una edición más detallada y compleja, ofrece una amplia gama de filtros y efectos para mejorar y modificar imágenes, desde corrección de color hasta desenfocos y efectos artísticos (Whitt, 2014).

2.8 Coeficiente r de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es una medida estadística que evalúa la fuerza y dirección de una relación lineal entre dos variables cuantitativas. Aquí se proporcionan más detalles sobre cómo se usa e interpreta (Winter et al., 2016):

Interpretación del Coeficiente de Correlación de Pearson

- **Valor de r :**
 - $r=1$: Correlación positiva perfecta, quiere decir que las variables aumentan o disminuyen juntas en una relación lineal perfecta.
 - $r=-1$: Correlación negativa perfecta, una variable aumenta mientras la otra disminuye en una relación lineal perfecta.
 - $r=0$: No hay correlación lineal, las variables no muestran ninguna relación lineal.
 - $0 < r < 10$: Correlación positiva, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a aumentar.
 - $-1 < r < 0$: Correlación negativa, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

2.9 Composición y Estructura de Pavimentos

- **Materiales:** La superficie de rodamiento proporcionada por la carpeta asfáltica se conoce como pavimento flexible. Las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones en las capas

inferiores sin dañar su estructura. Un pavimento flexible está compuesto por varias capas: Carpeta asfáltica, Base, Sub-Base (Giordani & Leone, 2018).

- **Propiedades Mecánicas:** La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento. Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la fatiga, Resistencia al fracturamiento, Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad, Resistencia al deslizamiento, Trabajabilidad (Garnica et al., 2005).

2.10 Control de Producción en Pavimentos

- **Calidad y Durabilidad:** La elección de pavimentos de calidad es esencial para garantizar la durabilidad y la seguridad en el tránsito vehicular, esto implica el control de variables como la homogeneidad de la mezcla, materiales de alta calidad, diseño y construcción profesional, mantenimiento regular y la correcta compactación. La durabilidad de la mezcla asfáltica es uno de los principales indicadores del comportamiento mecánico del pavimento (Jiang et al., 2021).
- **Métodos Tradicionales:** El control de calidad en la producción de pavimentos es crucial para asegurar la calidad y durabilidad del pavimento, los métodos tradicionales incluyen varias técnicas y procedimientos: mediante ensayos destructivos y no destructivos, como pruebas de densidad, resistencia y deflexión, control de temperatura y pruebas de contenido de asfalto (Uzan, 2018).

2.11 Estado del Arte

La Tomografía Computarizada, permite la inspección detallada de la homogeneidad de las mezclas asfálticas y de concreto, identificando la distribución de agregados y el grado de compactación sin necesidad de destrucción de muestras. Investigaciones recientes han demostrado la capacidad de la TC para detectar vacíos, fisuras, y segregaciones dentro del pavimento, que pueden afectar la durabilidad y desempeño de este. Los avances en detectores y algoritmos de reconstrucción han mejorado la capacidad de la TC para obtener imágenes con mayor resolución espacial y temporal, permitiendo un análisis más detallado y rápido. La integración de inteligencia

artificial y aprendizaje automático en el procesamiento de imágenes de TC ha facilitado la identificación automática de defectos y la clasificación de materiales, reduciendo el tiempo de análisis y aumentando la precisión (Umbach & Middendorf, 2019).

La TC como un nuevo método de evaluación de mezclas asfálticas, considera evaluar secciones de forma rápida y exacta, teniendo en cuenta el control y aseguramiento de la calidad en la planta y en el sitio de construcción, de esta manera se analiza las características internas de las muestras y se decide un número mínimo de muestras para evaluar exactamente la calidad de la construcción (Taniguchi et al., 2014).

Según Álvarez, Arámbula & Caro (2008), la principal ventaja de esta técnica es que, al no ser destructiva, es posible utilizar los mismos especímenes para pruebas de laboratorio posteriores para determinar sus características mecánicas, físicas o químicas. Su principal limitación es la resolución de las imágenes que se producen, además que la penetración puede ser limitada en materiales muy densos o gruesos, lo que puede dificultar la inspección completa de pavimentos más robustos. En un futuro cercano, se espera que esta técnica se utilice en los ensayos estandarizados de caracterización de agregados y diseño de mezclas asfálticas.

La TC se está integrando con sistemas de gestión de pavimentos que utilizan datos obtenidos para la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento y la reparación. Se están desarrollando sistemas que permiten el monitoreo en tiempo real de la calidad del pavimento durante su producción y colocación, utilizando TC para asegurar la conformidad con las especificaciones técnicas (Offrell & Magnusson, 2002).

Considerando los microdaños producidos en el asfalto, Khan & Collop (2010), en su estudio encontró que se pueden ver partículas de más de 5 mm en comparación con la curva de diseño de la mezcla asfáltica, además realizaron tomografías computarizadas para cuantificar el daño inducido durante pruebas de fatiga y velocidad de deformación constante en una mezcla asfáltica.

La investigación de Graciano, Lammardo, Senior, & Vega-Posada (2015), se enfocó en un estudio experimental sobre la compactación de una mezcla asfáltica en caliente a través del estudio de imágenes obtenidas mediante tomografía computarizada (TC). La tomografía computarizada, para visualización de la microestructura de las mezclas asfálticas, permite, como técnica no destructiva, un análisis cualitativo que permite visualizar, entre otros aspectos, que la comparación de densidades obtenidas en

campo y en laboratorio distan considerablemente una de la otra, en el dominio de vacíos con aire.

Taniguchi, Ogawa, Otani & Nishizaki (2013), investigaron las características de ingeniería de las mezclas asfálticas en el caso de cambiar el contenido de aglomerante, el tipo de aglutinante y el tipo de mezcla, e indican que la TC es efectiva para evaluar la calidad de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, tiene potencial para evaluar la calidad de las mezclas asfálticas.

El estudio de Álvarez & Carvajal (2014), realiza el análisis de la distribución de vacíos de aire de la estructura interna de mezclas asfálticas para pavimentación (AM) producida en laboratorio y en el campo, evaluada mediante TC, lo que ha generado aportes relevantes para la evaluación de la respuesta y el rendimiento de la AM. La TC de permite el cálculo de la estructura interna de la AM con múltiples aplicaciones prácticas y oportunidades futuras para mejorar la microestructura de la AM y, en consecuencia, optimizar su rendimiento.

El control de producción de pavimentos mediante tomografía computarizada muestra un campo en rápido desarrollo, con innovaciones tecnológicas que mejoran la resolución, precisión y eficiencia del proceso. A pesar de los desafíos y limitaciones actuales, las tendencias futuras indican una adopción creciente de esta tecnología, impulsada por su capacidad para proporcionar un control de calidad más riguroso y detallado en la construcción de pavimentos (Claes et al., 2020).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que implica la recolección y análisis de datos numéricos para medir y evaluar diferentes características del pavimento. Estos datos numéricos serán analizados para el desarrollo de un algoritmo de identificación de la composición y calidad de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica, y así determinar el índice de correlación entre la calidad de la mezcla asfáltica salida en planta vs en obra.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental, se realizó pruebas controladas en un entorno de laboratorio y en campo, comparando las muestras de pavimento en diferentes etapas del proceso de producción, para conocer las características de las muestras de pavimento bajo diferentes condiciones experimentales.

3.3 Diagrama Metodológico

El presente diagrama muestra la secuencia de pasos para cumplir con los objetivos planteados.

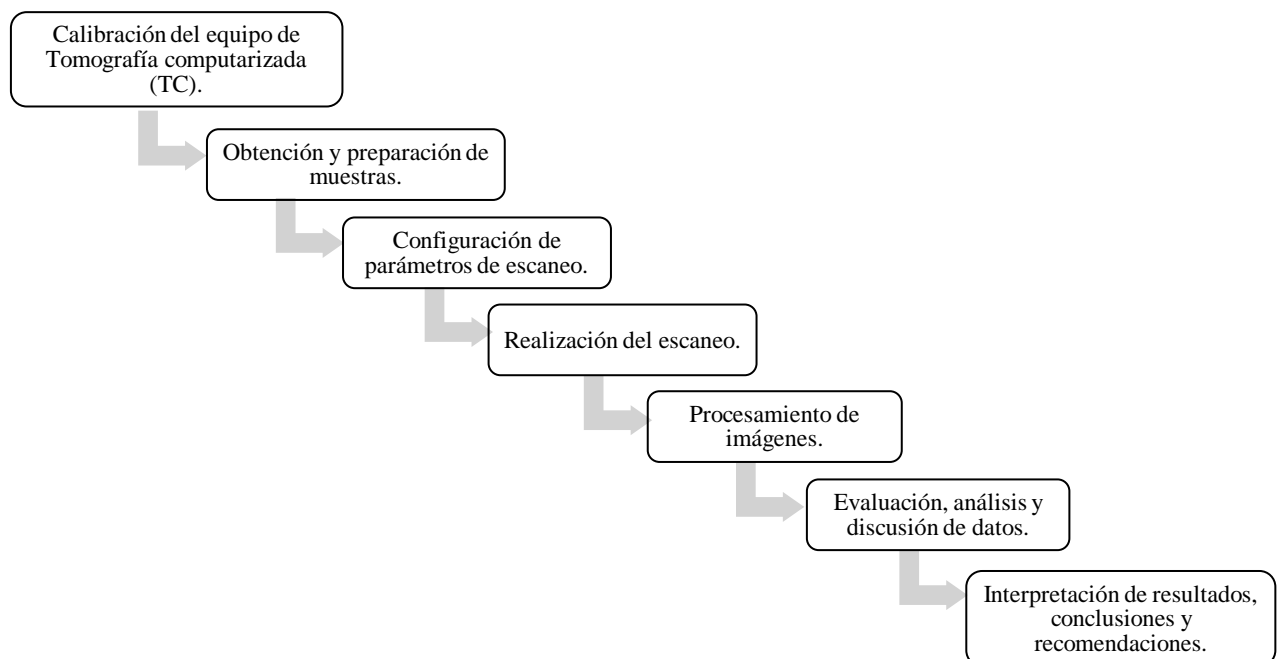


Figura 2. Diagrama metodológico.

3.4 Técnicas de Recolección de Datos

Para identificar el tramo de vía a ser estudiado se utiliza un muestreo no probabilístico no por conveniencia, debido a que la empresa constructora asignó la vía que en ese momento se encontraban asfaltando.

Se definió los intervalos de tiempo y las etapas de producción en las que se realizarán los escaneos de tomografía computarizada, siendo estos análisis en planta y en obra.

Para la preparación del sitio se aseguró que el área de estudio esté libre de obstrucciones y adecuadamente marcada para facilitar el proceso de escaneo. Se calibró el equipo con el que se realizará la tomografía denominada resistivímetro SYSCAL PRO, según las especificaciones del fabricante y las necesidades del estudio, incluyendo ajustes de energía, tiempo de exposición y resolución. El técnico encargado colocó los electrodos del equipo SYSCAL PRO de manera que las secciones del pavimento seleccionadas se encuentren dentro del campo de visión del escáner, asegurando que todas las medidas de seguridad estén en su lugar para proteger al personal.

En el proceso de escaneo en obra, se realizó una prueba preliminar para verificar la configuración y ajustar cualquier parámetro necesario. Al ejecutar el escaneo completo de las secciones seleccionadas implicó múltiples pasadas para obtener imágenes en diferentes planos y ángulos.

Para la toma de datos en planta, se aplicaron dos diferentes muestras de mezcla asfáltica, para dichas muestras la primera se elaboró un cajón de 5.5 metros de longitud por 0.5 metros de ancho, con una profundidad de 8 centímetros, misma profundidad que es igual al espesor de la carpeta asfáltica colocada en obra, para la segunda muestra la mezcla asfáltica fue aplicada en el piso mismo que previamente fue compactado, con la finalidad de innovar e identificar el comportamiento de las mezclas. Para el proceso de compactación se utilizó una plancha compactadora, en las dos muestras se compactó por un tiempo de 10 y 15 minutos respectivamente. Teniendo en cuenta que no puede existir una sobre compactación ya que el porcentaje (%) de vacíos viene dado en el diseño de la mezcla. Sin embargo, se realizó la extracción de núcleos, para verificar que cumpla con el porcentaje (%) de compactación. Una vez que se obtuvo las tres diferentes muestras se aplica la tomografía, se realizaron dos escaneos por cada cajón con el fin de obtener resultados más precisos y claros.

Para el tamaño de la muestra se determinó la longitud mínima en la que se podía realizar la tomografía con el resistivímetro SYSCAL PRO, siendo estos 5.5 metros de longitud. Colocando 48 electrodos a una distancia de 10 centímetros y dejando un espacio libre de 0.7 metros en la mitad, es decir, entre el electrodo número 24 y 25.

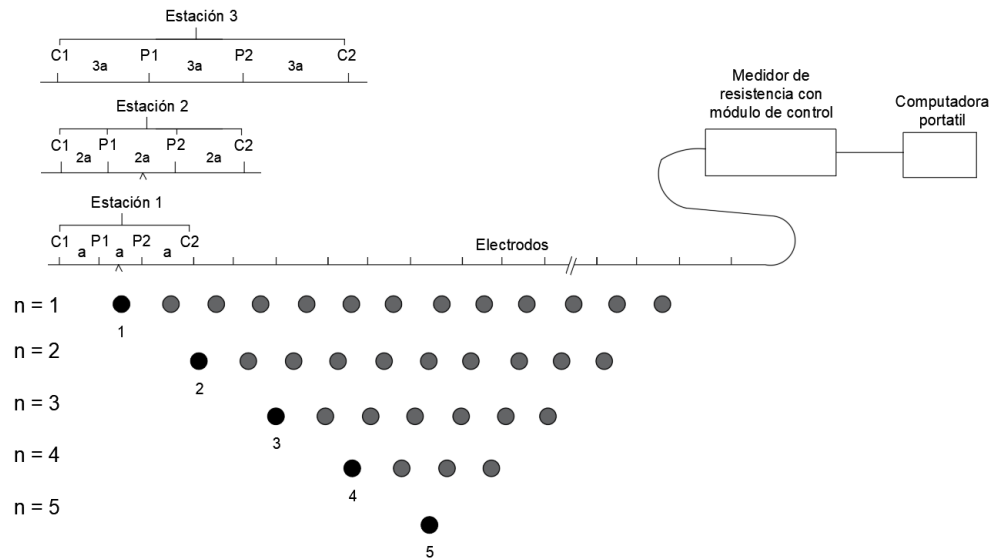


Figura 3. *Secuencias de medidas para tomografía eléctrica 2D*

Tomado de: (Avery et al., 2017)

En la figura 3 se muestra el proceso de las medidas para tomografía eléctrica.

Para la documentación de los datos se tomó en cuenta el registro de todos los parámetros del escaneo, incluyendo la configuración del equipo, la ubicación exacta de las secciones escaneadas y cualquier observación relevante durante el proceso.

3.5 Población de Estudio y Tamaño de Muestra

La vía que se analizó fue asignada por la empresa constructora, se encuentra en la ciudad de Latacunga, $0^{\circ}55'04.05''$ S – $78^{\circ}38'00.31''$ O. Dicha vía se encontraba en etapa de ejecución lo que es necesario para obtener datos reales del comportamiento de la mezcla asfáltica.

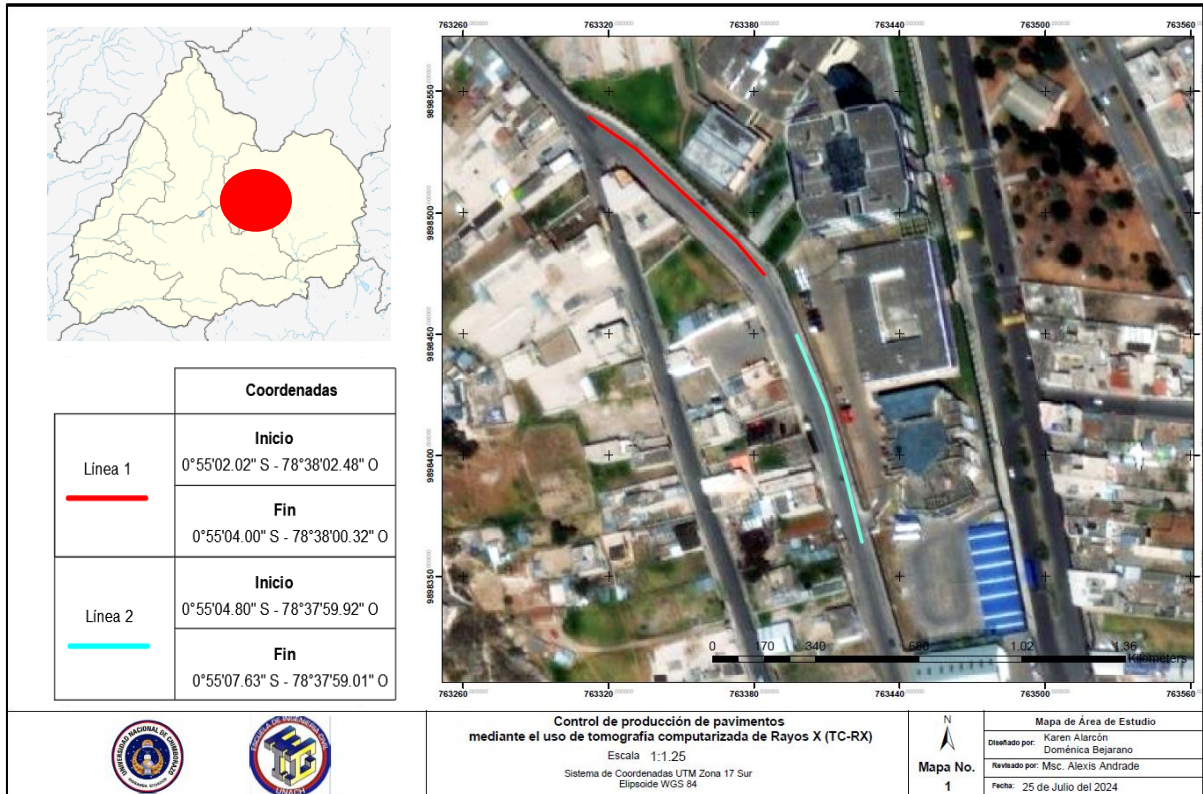


Figura 4. Área de estudio.

3.6 Métodos de Análisis

Una vez concluido el proceso de adquisición de datos, la información almacenada digitalmente se transfiere a la computadora, para posteriormente procesarlo con el software correspondiente (Oldenborger et al., 2005). La adquisición de datos se llevó a cabo utilizando el método Dipolo-Dipolo, el cual permite realizar 966 mediciones y alcanzar una profundidad de hasta 60 metros, en este estudio la profundidad máxima configurada en el equipo fue de 25 centímetros en cada una de las tomografías realizadas en el área de estudio. Los datos crudos son procesados y se someten a una primera verificación utilizando el software PROSYS II, donde se realiza una corrección inicial de las resistividades anómalas, es decir, resistividades negativas o con valores iguales a 0. La interpretación de las resistividades corregidas se realiza utilizando el software Res2dInv, que emplea varios métodos de interpolación, siendo el seleccionado el método

Kriging usando técnicas de segmentación para identificar y aislar las diferentes capas y características del pavimento, extrayendo características relevantes de las imágenes segmentadas, como el tamaño, forma, orientación y distribución de los agregados (Hellman et al., 2016). Después de la inversión, se obtiene una “imagen de resistividad para identificar los materiales” en 2D.

3.7 Procesamiento de Datos

A los materiales de la mezcla asfáltica utilizada se le aplicaron ensayos de laboratorio mediante el método Marshall en base a la norma ASTM D6927, estos son: peso específico, peso aparente, peso nominal, porcentaje de absorción, coeficiente de desgaste, resistencia peladura (Adherencia), peso unitario.

Se fabricaron briquetas de mezcla asfáltica con la combinación de agregados resultantes de la mezcla de los áridos. Estas briquetas se preparan con diferentes porcentajes de cemento asfáltico con respecto al peso total seco de los agregados: 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, y 7%. Posteriormente se aplica los ensayos de gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica sin compactar y el contenido del cemento asfáltico. Con estos valores se analiza el contenido óptimo de asfalto para la mezcla.

Una vez analizados estos resultados, se obtiene la fórmula maestra de obra con el diseño de la mezcla asfáltica con la que se trabaja.

Estos valores se comparan con las tomografías aplicadas tanto en obra como en planta. La resistividad eléctrica puede variar debido a factores como la temperatura, porosidad, química de los fluidos, permeabilidad, saturación de fluidos, composición mineral y grado de fracturación (Oldenborger et al., 2005). Para la interpretación de las imágenes y colores nos basamos en la tabla donde se encuentran los valores de las resistividades en diferentes materiales, es decir, reconocemos los agregados de la mezcla mediante la resistividad que presenta cada uno, para así asignar un color a cada resistividad que representará a los agregados.

Tabla 1. Valores de las resistividades en diferentes materiales.

| Material | Resistividad | |
|---|---------------------|----------------------------|
| | Máximo | Mínimo |
| Grava | >104 (en seco) | 50 (agua saturada) |
| Limo | 50 | 20 |
| Arena | >104 (en seco) | 50 (agua saturada) |
| Marga | 100 | 30 |
| Arcilla (húmeda) | 30 | 5 |
| Arcilla (seca) | >1000 | |
| Lodos | 25 | 15 |
| Arenisca | >105 (en compacto) | <50 (húmedo) |
| Esquistos | >105 (en compacto) | 50 (húmedo) |
| Caliza | >105 (en compacto) | 100 (húmedo) |
| Toba | 105 (mojada) | 2x10 ³ (húmedo) |
| Residuos domésticos e industriales | >1000 (de plástico) | <1 |
| Rocas ígneas y metamórficas | >106 (en compacto) | <100 (degradado, húmedo) |
| Roca de sal | >106 (en compacto) | 30 (húmedo) |
| Agua salada | 3x10 ³ | (salmuera) <0.15 |
| Agua natural | 300 | 10 |
| Agua de mar (35% NaCl) | | 0.25 |
| Agua superficial (sedimentos) | 106 | 10 |
| Agua superficial (rocas ígneas) | 100 | 0.1 |

Tomado de: (Zúñiga, 2010)

En la tabla 1 se evidencia los valores de resistividades de los diferentes materiales, su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente

eléctrica: un valor alto de resistividad indica que el material es un aislante mientras que un valor bajo indica que es un conductor.

Con los diferentes valores de resistividad que tomó el SYSCAL PRO asignamos diferentes colores, de esta manera construimos nuestra propia tomografía para identificar de manera gráfica los agregados y vacíos que contiene la mezcla. Luego comparamos y analizamos las diferentes tomografías para poder identificar las diferencias que existe entre la mezcla asfáltica salida en planta y cuando ya se coloca en obra.

Para determinar el índice de correlación que presenta la muestra en base a la tomografía utilizamos el programa GIMP 2.10.38, en este software determinamos mediante una gama de colores el número de pixeles que corresponde al color amarillo que representa el porcentaje de vacíos, de esta manera implementamos una relación entre el número de pixeles correspondientes a vacíos y el número de pixeles totales de la imagen para así conocer el porcentaje de vacíos que están representados en la tomografía, para verificar que los datos de la tomografía son reales se extrajeron núcleos de las líneas analizadas con el resistivímetro, a estos núcleos se le realizaron ensayos de densidad y porcentaje de vacíos, para finalmente crear una línea de tendencia entre el porcentaje de vacíos obtenidos de ensayos previos en planta y en obra, vs el porcentaje de vacíos que arroja la tomografía, para crear la línea de tendencia utilizamos el coeficiente de correlación r de Pearson que mide la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Trabajos de Laboratorio

Para analizar la mezcla asfáltica con la que vamos a realizar la investigación, se llevó a cabo ensayos de laboratorio para los agregados como se observa en el anexo 16, para la fabricación de las briquetas se preparó con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, en relación con el peso total seco de los agregados (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%) como se observa en el anexo 17, se realizó el ensayo de gravedad teórica máxima - RICE de la mezcla obtenida de cada uno de los porcentajes como se evidencia en el anexo 18, para las propiedades del Cemento Asfáltico los residuos de la destilación del petróleo, conocidos como cementos asfálticos, permanecen en estado semisólido a la temperatura ambiente, el cemento asfáltico puede ser caracterizado por el grado de la viscosidad absoluta a 60 °C, en este caso se usa el cemento asfáltico AC-20 esta información está presente en el anexo 19, para las especificaciones de los agregados que se emplearán en el hormigón asfáltico deberán cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 810-3.04 del libro “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” (NEVI, 2013). En este caso se utiliza la granulometría de tamaño nominal 1/2” presentes en el anexo 20, las especificaciones del cemento asfáltico se presentan en el anexo 21, el tipo de cemento asfáltico que se debe utilizar es de penetración entre 60 - 70. Estos deben cumplir con las especificaciones que se encuentran en la sección 810 del “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” (NEVI, 2013), en la tabla 810-3.5. Las especificaciones de la mezcla asfáltica se presentan en el anexo 22, la mezcla asfáltica caliente debe cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la sección 812-4 del libro libro “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” (NEVI, 2013). Para el estudio de temperaturas se analizó en un rango mínimo y máximo como se evidencia en el anexo 23.

Para el diseño de la mezcla asfáltica, se establece lo siguiente:

Tabla 2. Porcentajes de los materiales de la mezcla asfáltica

| Materiales: | % | % |
|--------------------------|---------------|----------|
| Agregado Grueso ¾” | 12.4 | |
| Agregado Intermedio 3/8” | 32.5 | |
| Agregado Fino | 55.2 | |
| Cemento Asfáltico | | 6.33 |
| TOTAL AGREGADOS | 100.00 | |

Granulometría Resultante

La granulometría resultante obtenida de la fórmula maestra es la siguiente:

Tabla 3. Granulometría de la fórmula maestra

| Tamiz | | #200 | #50 | #8 | #4 | ½” | ¾” | 1” |
|------------------|----|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | mm | 0.075 | 0.297 | 2.36 | 4.75 | 12.70 | 19.00 | 25.00 |
| % Especificación | % | 2-10 | 5-21 | 28-58 | 44-74 | 90-100 | 100 | 100 |
| % Pasa | % | 7.34 | 11.92 | 40.52 | 55.68 | 92.90 | 99.86 | 100 |
| % Tolerancia | % | ±3.00 | ±5.00 | ±6.00 | ±7.00 | ±7.00 | | |

Propiedades de la fórmula maestra

Para el 6.33 % de cemento asfáltico las propiedades de la muestra son las siguientes:

Tabla 4. Propiedades de la fórmula maestra

| Propiedad | Valor | U | Tolerancia |
|----------------------|--------------|----------|-------------------|
| Contenido de asfalto | 6.33 | % | - |
| Estabilidad | 4060.0 | lbf | >1800 |
| Densidad | 2.248 | - | - |
| Vacíos Mezcla | 4.3 | % | 3-5 |
| % Pasa tamiz #200 | 7.34 | % | 2-10 |
| Vacíos Agregados | 16.40 | % | >15 |
| Filler/Betún | 1.16 | - | 0.8-1.2 |
| Flujo | 11.20 | x 0.01” | |

4.2 Tomografías en Planta

Para la toma de datos en planta se asignó el nombre a las muestras como cajón A y cajón B, en el cajón A se realizó 2 tomografías denominándolas línea 1 que se evidencia en la figura 5 y línea 2 en la figura 6. Para el cajón B se realizó de igual manera 2 tomografías como se observa en la figura 7 la línea 1 y en la figura 8 la línea 2.

4.2.1 Línea 1 Cajón A

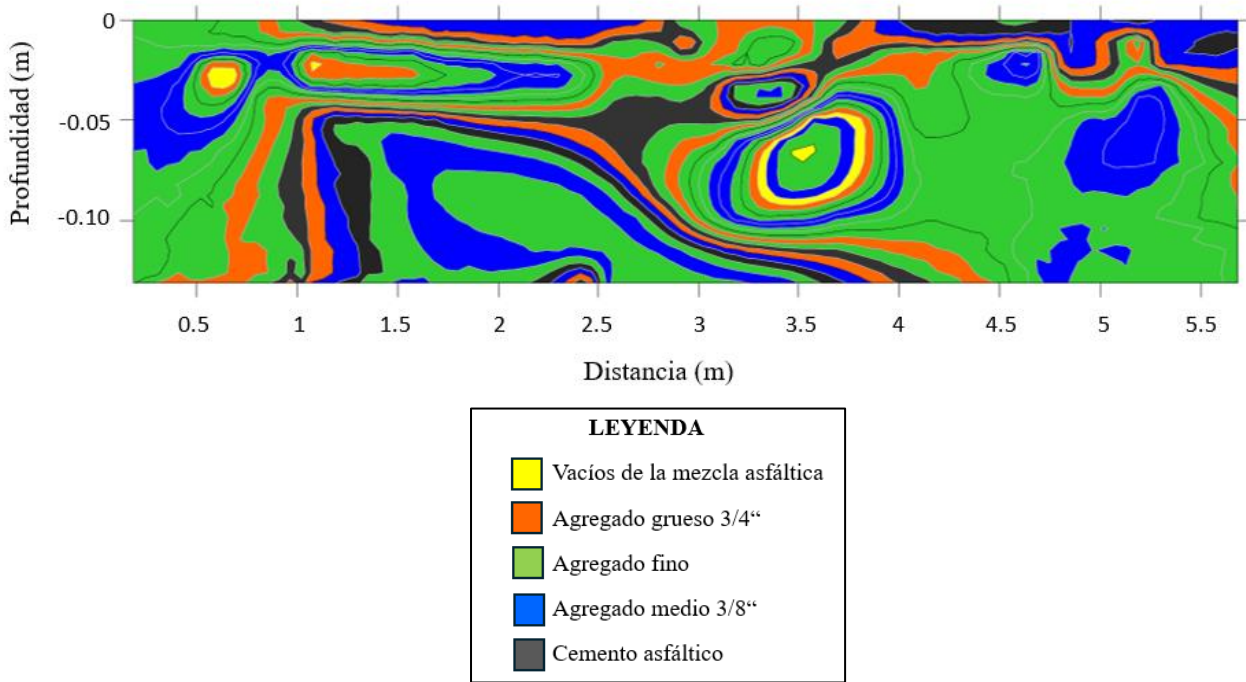


Figura 5. Tomografía línea 1 cajón A

4.2.2 Línea 2 Cajón A

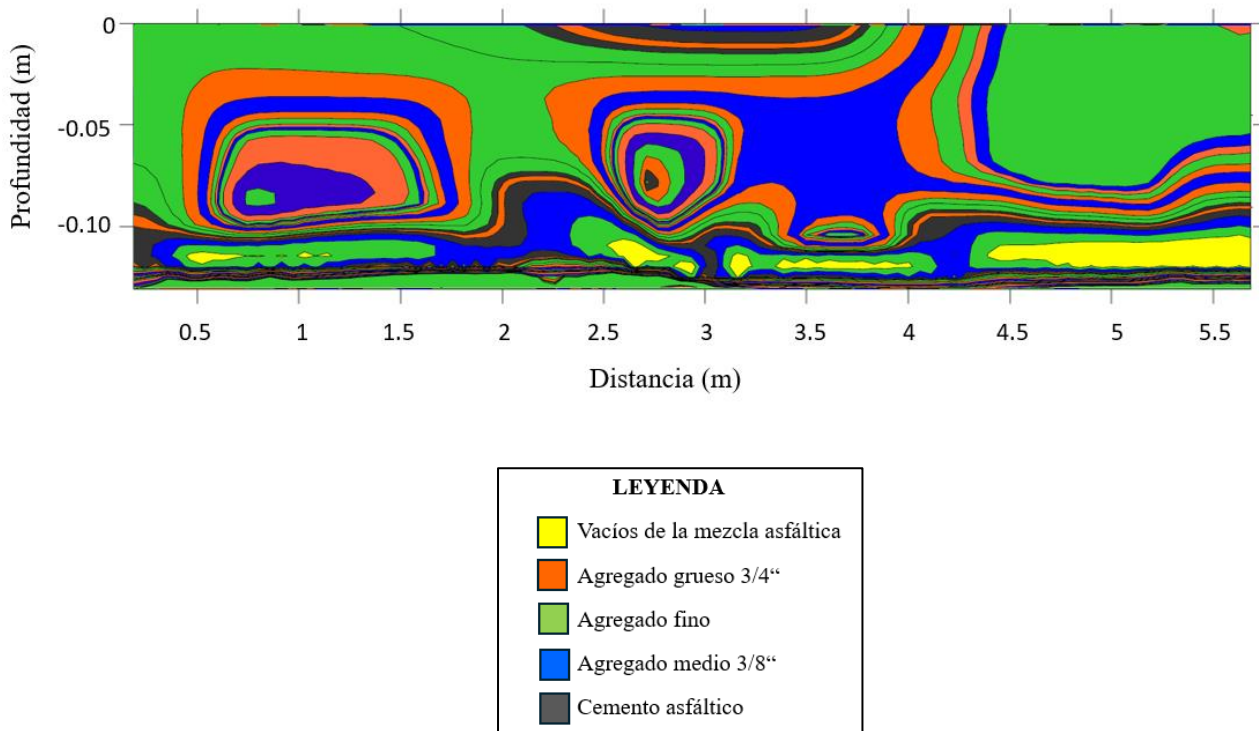


Figura 6. Tomografía línea 2 cajón A

Para la primera muestra de mezcla asfáltica en planta se realizó dos líneas de lectura con el fin de entender de mejor manera el comportamiento que tenía la mezcla asfáltica que se aplicó en el cajón, se colocó los electrodos a lo largo de la muestra, con una configuración Dipolo-Dipolo y separación entre electrodos de 10 cm cada una. En las Tomografías no se observa algún color fuera de los establecidos en la configuración, lo que asegura que los materiales cumplen con los requisitos de calidad, esto fue medido en función a la dosificación que presenta la fórmula maestra y la resistividad de cada agregado, sin embargo, en la parte inferior de la muestra se identifica un porcentaje (%) considerable de color amarillo como se observa en la figura 6, lo que significa que existe gran cantidad de vacíos, esto se debe a que el cajón absorbía la compactación, detectar estos tipos de anomalías puede ayudar a corregir problemas de manera temprana.

4.2.3 Línea 1 Muestra B

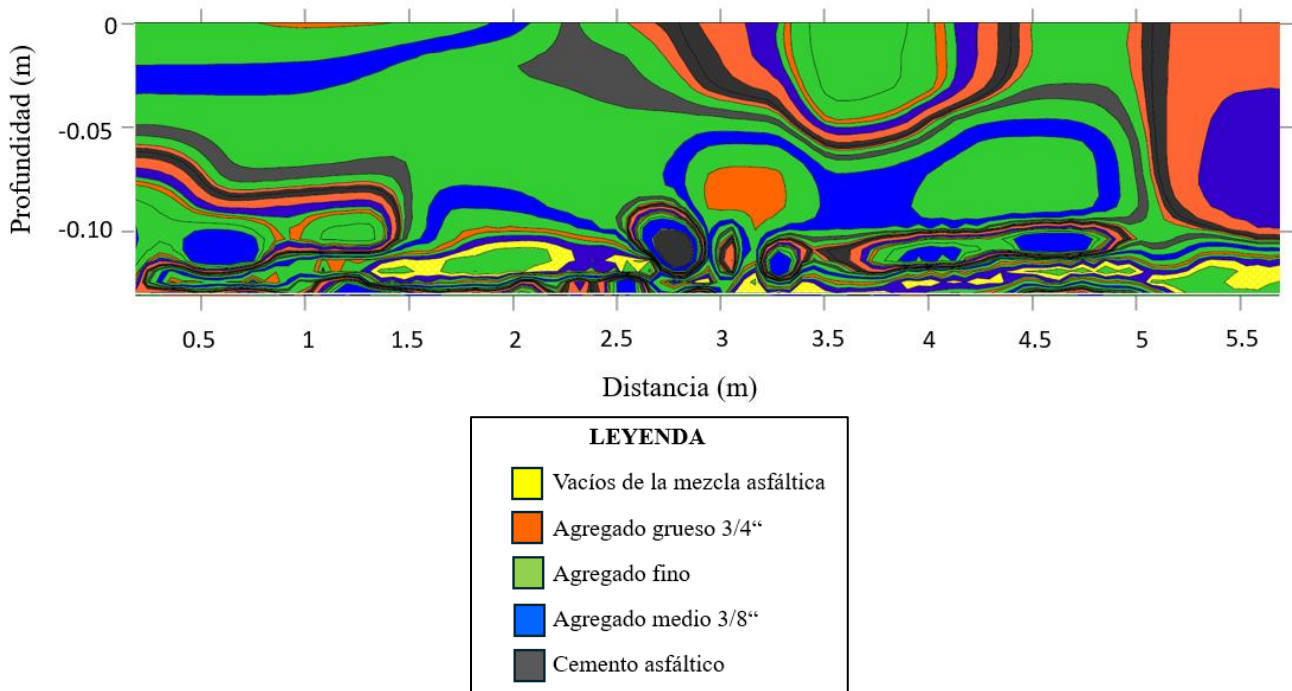


Figura 7. Tomografía línea 1 muestra B

4.2.4 Línea 2 Muestra B

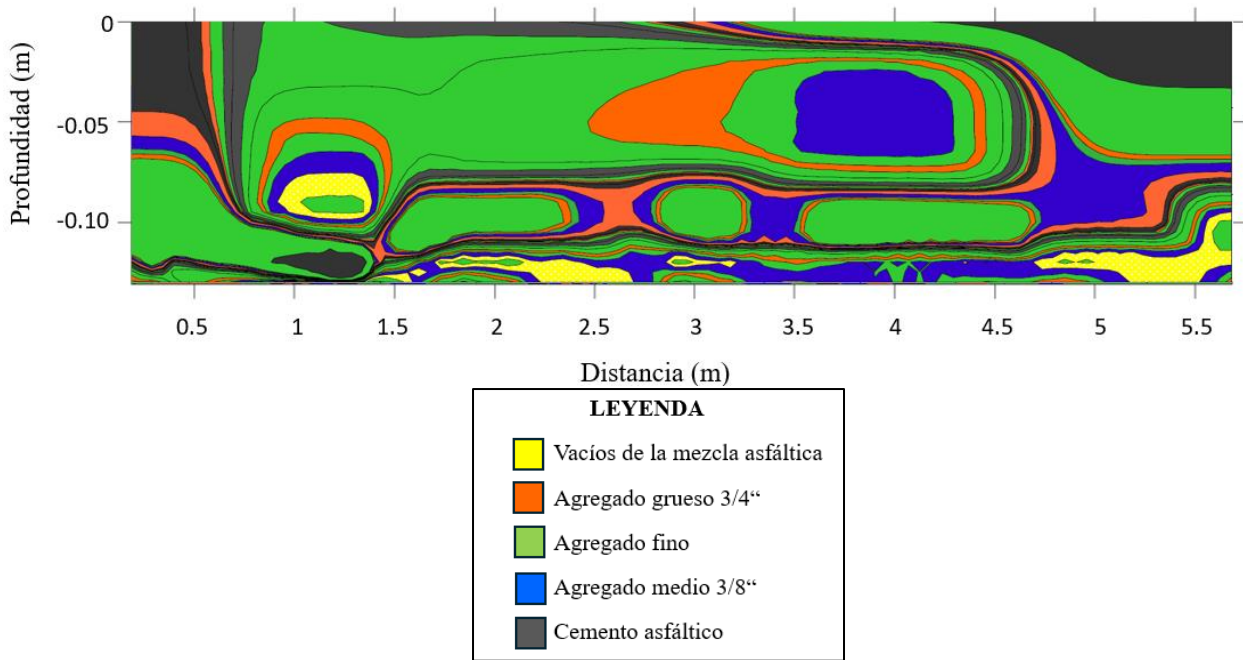


Figura 8. Tomografía línea 2 muestra B

La segunda muestra de mezcla asfáltica se aplicó sobre el suelo previamente compactado y nivelado, se colocó los electrodos a lo largo de la muestra, con una configuración Dipolo-Dipolo y separación entre electrodos de 10 cm cada una. Al analizar las tomografías realizadas se determinó que existe un mejor comportamiento en cuanto al porcentaje (%) de vacíos, mostrándose en la parte inferior, esto se debe a que las máquinas compactadoras pueden tener acceso limitado en áreas estrechas o cerca de bordes y esquinas, resultando en una compactación insuficiente. Además, se debe de tomar en cuenta que el número de pasadas de la compactadora puede ser insuficiente en ciertas áreas debido a limitaciones de espacio o a la dificultad de maniobra. Por lo que se recomienda aplicar estrategias para mejorar la compactación en áreas críticas como bordes y esquinas. En cuanto a los materiales representados por los colores verde, azul, naranja y gris no se observa algún color fuera de los mencionados, lo que asegura que los materiales cumplen con los requisitos de calidad.

4.3 Tomografías en Obra

Para la toma de datos en obra se asignó el nombre de la muestra como vía, donde se realizó 2 tomografías denominándolas línea 1 que se evidencia en la figura 9 y línea 2 en la figura 10.

4.3.1 Línea 1 Vía

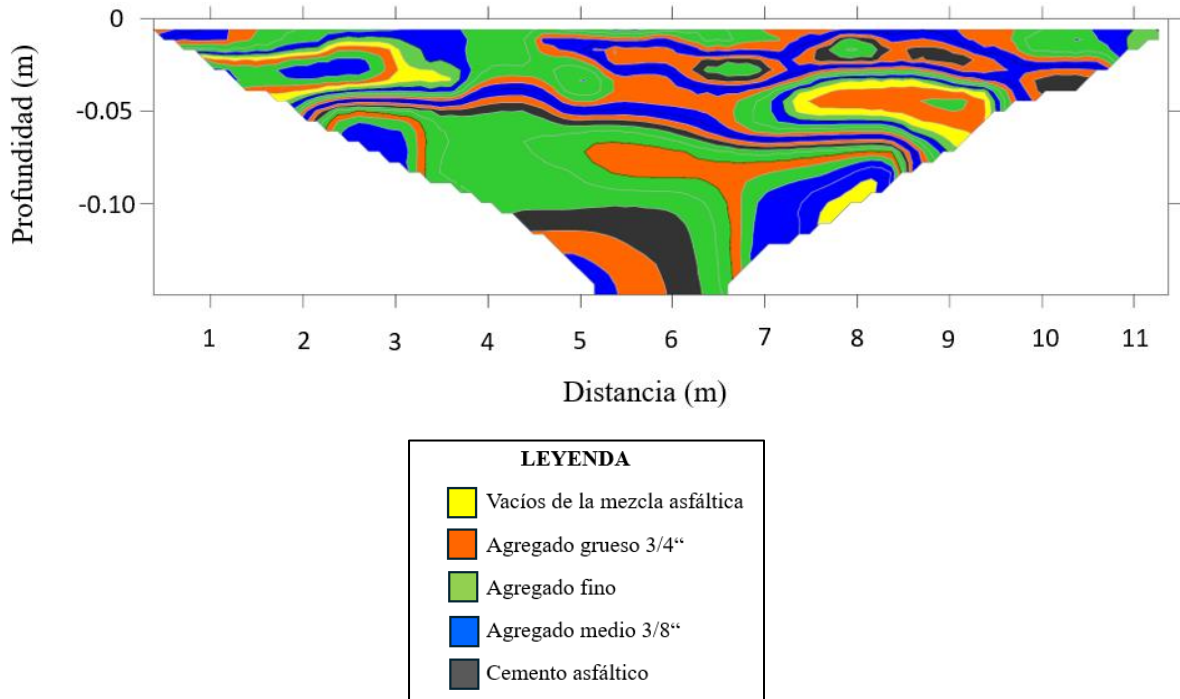


Figura 9. Tomografía línea 1 vía

4.3.2 Línea 2 Vía

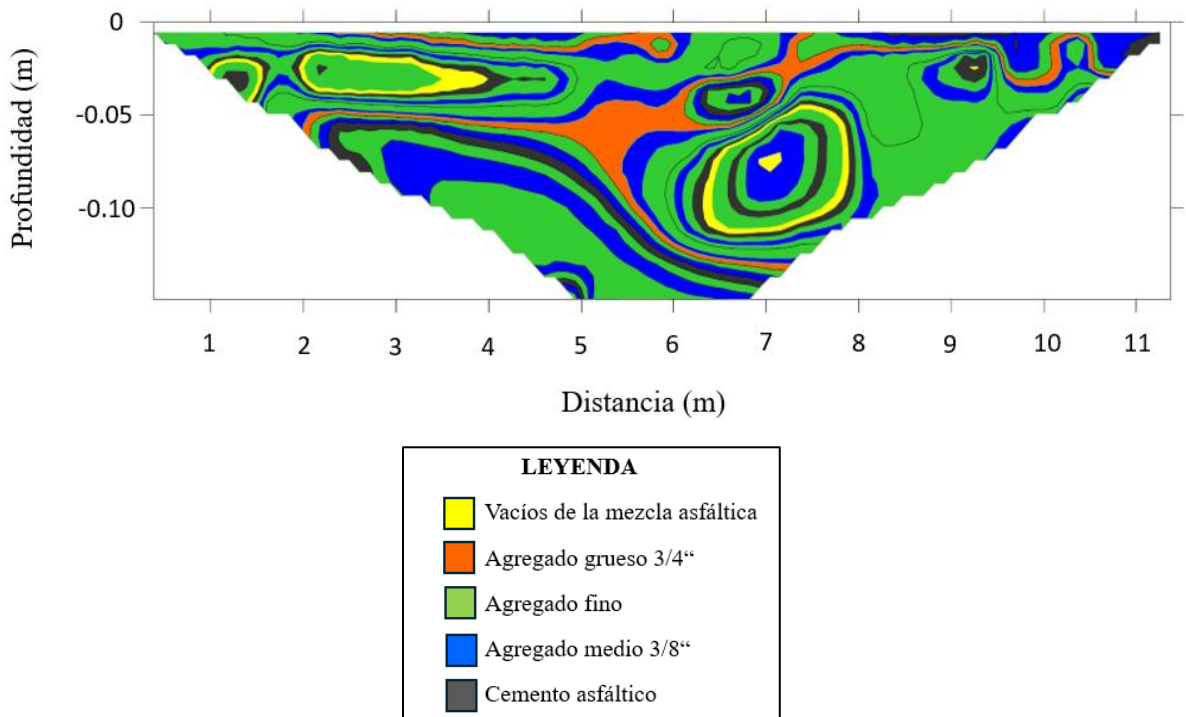


Figura 10. Tomografía línea 2 vía

Para la tomografía que se aplicó en obra, las líneas de análisis fueron de mayor longitud 11 metros (m) con la finalidad de tener un mejor análisis de la presencia de agregados. Se colocó los electrodos con una configuración Dipolo-Dipolo y separación

entre electrodos de 21 centímetros (cm) a lo largo de toda la línea. Analizando las tomografías, se puede determinar que en este caso se presenta en porcentaje (%) de vacíos (amarillo) cerca del material grueso (naranja), esto se debe al resultado de una distribución incorrecta del agregado, la falta de adherencia adecuada entre el asfalto y el agregado grueso que puede ser causado por la presencia de polvo o humedad en los agregados antes de la mezcla. Para mitigar este tipo de inconveniente se sugiere mantener la mezcla asfáltica a una temperatura adecuada durante su colocación para asegurar una buena compactación y adhesión; utilizando prácticas adecuadas de transporte y descarga, como el uso de vehículos con sistemas de transporte de mezcla que minimicen la segregación. En cuanto a los materiales representados por los colores verde, azul, y gris no se observa algún color fuera de los mencionados, lo que asegura que los materiales cumplen con los requisitos de calidad.

4.4 Correlación de la mezcla en planta y en obra

Para garantizar la calidad y durabilidad del pavimento, es fundamental que la mezcla asfáltica producida en planta y su comportamiento en obra estén correlacionados entre sí.

En el caso de estudio presentado se observa que la mezcla asfáltica en planta tiene una densidad de 2.211 gramos/cm³, un contenido de vacíos del 4.0 % y el porcentaje de asfalto colocado del 6.33% del peso total de la mezcla, y en obra la misma mezcla después del transporte y la colocación, se realiza la extracción de núcleos y se determina que tiene una densidad de 2.191 gramos/cm³ y un contenido de vacíos del 4.5 %.

La pérdida de temperatura durante el transporte o la compactación insuficiente en la obra pueden causar una ligera disminución en la densidad y un aumento en el contenido de vacíos. Mantener la calidad de la mezcla asfáltica desde la planta hasta la obra se puede lograr mejorando la temperatura de producción, mejorando el aislamiento de transporte y optimizando el proceso de compactación.

Para determinar el porcentaje de vacíos que muestra la tomografía se determina el número de píxeles color amarillo y el número de píxeles totales de la imagen.

Tabla 5. Número de píxeles por tomografía.

| Tomografía | Número de Píxeles |
|-------------------|--------------------------|
|-------------------|--------------------------|

| | Color Amarillo | Totales |
|---|----------------|----------|
| 1 | 695.00 | 15982.00 |
| 2 | 879.00 | 15982.00 |
| 3 | 895.00 | 15982.00 |
| 4 | 671.00 | 15982.00 |
| 5 | 886.00 | 18452.00 |
| 6 | 960 | 18452.00 |

En la tabla 14 se evidencia el número de pixeles calculados de color amarillo que representan el porcentaje de vacíos que se encuentran en la mezcla, para calcular dicho porcentaje se aplica una regla de tres simple.

Tabla 6. Porcentajes de vacíos y densidades en planta, obra y tomografía

| N° de Línea | Porcentaje de Vacíos (%) | | | Densidad (gr/cm ³) | | |
|-------------|--------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------|------------|
| | Campo | Planta | Tomografía | Campo | Planta | Tomografía |
| 1 | 3.50% | 4.50% | 4.20% | 2.211 | 2.193 | 2.198 |
| 2 | 4.60% | 4.30% | 5.50% | 2.191 | 2.196 | 2.171 |
| 3 | 5.50% | 3.95% | 5.60% | 2.171 | 2.201 | 2.169 |
| 4 | 4.50% | 4.52% | 4.20% | 2.194 | 2.193 | 2.198 |
| 5 | 5.10% | 4.65% | 3.50% | 2.181 | 2.190 | 2.211 |
| 6 | 4.20% | 4.10% | 4.20% | 2.198 | 2.20 | 2.198 |

En la tabla 15 se observa los diferentes porcentajes de asfalto tanto en campo, planta y tomografía, estos porcentajes serán utilizados para determinar la correlación de resultados que presenta la tomografía.

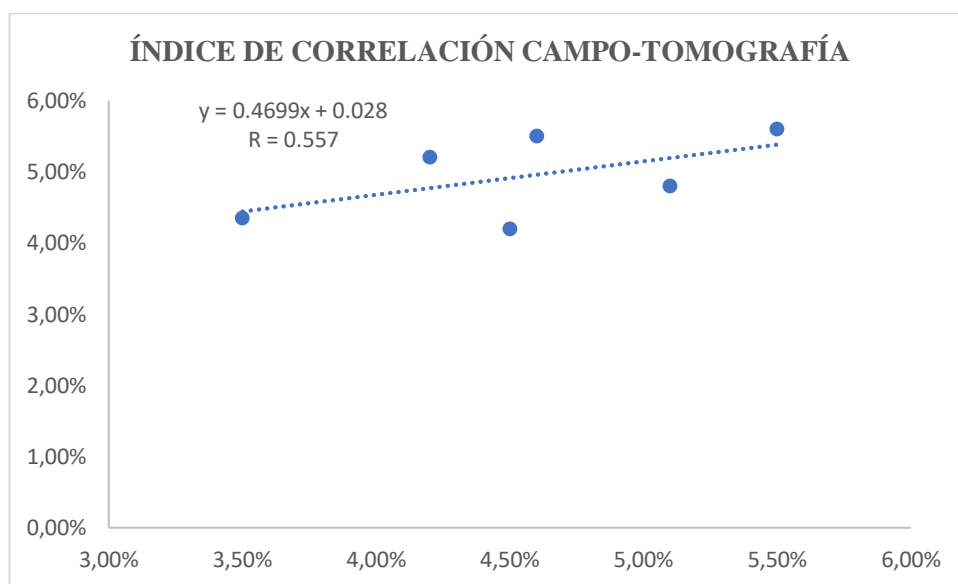


Figura 11. Índice de correlación campo-tomografía

Un R de 0.557 significa que se tiene una correlación baja entre los dos conjuntos de datos, es decir que el 55.7% de la variabilidad en los datos de campo se explica por los datos obtenidos de la tomografía. Esto implica que, aunque existe alguna relación entre los vacíos de campo y los medidos por tomografía, esta relación no es fuerte. Esta correlación baja puede deberse a que las mediciones en campo se realizan en condiciones reales y pueden estar sujetas a variaciones ambientales, condiciones de tráfico que pueden variar y afectar los vacíos de campo de manera diferente a lo que se mide en un laboratorio. Muchas de las veces el pavimento de campo no es homogéneo y puede ocasionar variaciones en la mezcla, la temperatura de compactación no es controlada al igual que el método de transporte no es el correcto que se utiliza hasta llegar al sitio de colocación.

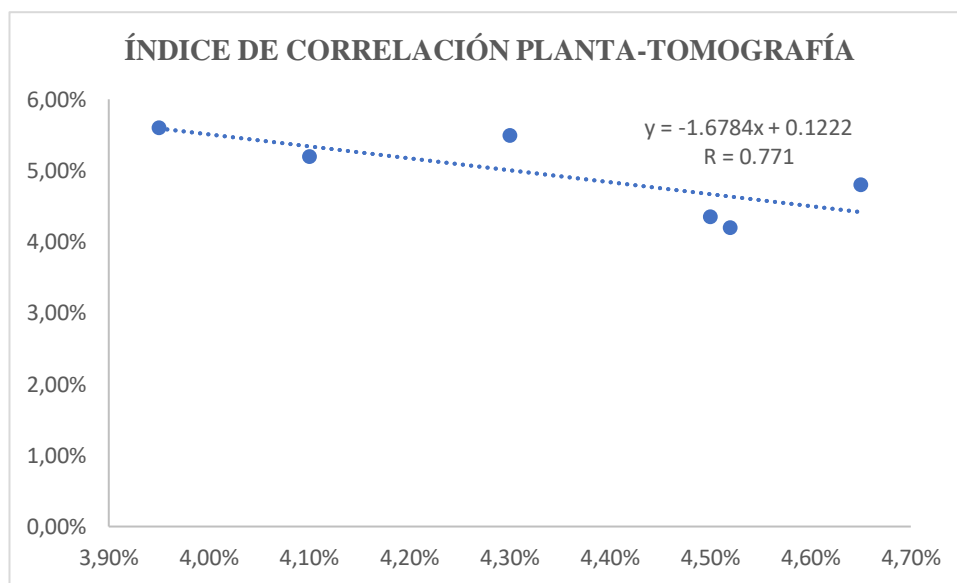


Figura 12. Índice de correlación obra-tomografía

Un valor de R de 0.771 indica que el 77.1% de la variabilidad en los porcentajes de vacíos de pavimento en planta puede ser explicada por los porcentajes de vacíos obtenidos a través de la tomografía. En términos prácticos, esto significa que hay una relación moderadamente fuerte entre los dos conjuntos de datos. Esta correlación se explica por las propiedades que tiene la mezcla asfáltica como la granulometría de los agregados, el tipo de ligante y la proporción de la mezcla son constantes en toda la producción. En la planta de producción, se implementan estrictos controles de calidad para asegurar que la mezcla asfáltica cumpla con las especificaciones requeridas.

4.5 Discusión

En la investigación de Taniguchi et al. (2014), se evalúa el impacto de diversos modos de compactación, se aplica un contenido óptimo de asfalto que es de 4.7% utilizando el método de compactación Marshall, se obtuvo una densidad aparente de 2.351 gramos/cm³, sin embargo, en nuestra investigación después de realizar los ensayos granulométricos determinamos que el porcentaje de asfalto para un tráfico pesado es de 6.33% del peso total de la mezcla. Este porcentaje se obtuvo después de fabricar cinco briquetas cada una con un porcentaje distinto de cemento asfáltico, de esta manera se comparó el porcentaje de asfalto que se debe colocar para una densidad y estabilidad máxima y un porcentaje de vacíos de 4.5% dándonos así el contenido óptimo de asfalto para la formula maestra.

Como menciona Umbach & Middendorf (2019), los avances de la tomografía computarizada han permitido obtener imágenes en las que podemos distinguir los diferentes materiales con mayor claridad, además de los diferentes algoritmos de reconstrucción que han mejorado significativamente permitiendo reconstruir imágenes de alta calidad a partir de los datos de los detectores.

En el control de la producción de pavimentos, el resistímetro Syscal Pro permite monitorear la calidad del asfalto mediante la medición de su resistividad. Con esta técnica, se pueden detectar defectos internos a tiempo para garantizar que la mezcla asfáltica cumpla con las especificaciones técnicas durante la producción y colocación. Sin embargo, los efectos de las condiciones ambientales en las mediciones y la necesidad de una calibración regular y precisa del equipo son problemas con su aplicación. Además, Álvarez, Arámbula & Caro (2008), asevera que la interpretación de los datos puede ser complicada y requiere un personal bien capacitado.

Al analizar los resultados obtenidos de esta investigación podemos afirmar que Graciano, Lammardo, Senior, & Vega-Posada (2015) indica que la tomografía computarizada nos brinda un análisis cualitativo que permite visualizar entre otros aspectos la comparación de densidades obtenidas en campo y en laboratorio.

La Tomografía Computarizada (TC) está siendo integrada en los sistemas de gestión de pavimentos para mejorar la toma de decisiones sobre mantenimiento y reparación. Este enfoque permite el monitoreo en tiempo real de la calidad del pavimento durante su producción, asegurando la conformidad con las especificaciones técnicas

como lo dice Offrell & Magnusson, (2002). Además, la TC es crucial para detectar microdaños en el asfalto, como lo demuestran los estudios de Khan & Collop (2010), que utilizaron TC para identificar partículas mayores de 5 mm y cuantificar daños en mezclas asfálticas durante pruebas de fatiga.

La investigación de Taniguchi, Ogawa, Otani & Nishizaki (2013), demuestra que la Tomografía Computarizada (TC) es efectiva para evaluar la calidad de las mezclas asfálticas, especialmente cuando se modifican el contenido de aglomerante, el tipo de aglutinante y el tipo de mezcla. Álvarez & Carvajal (2014) complementan esta visión al utilizar TC para analizar la distribución de vacíos de aire en mezclas asfálticas producidas en laboratorio y en el campo, proporcionando valiosos datos sobre la estructura interna y el rendimiento de las mezclas. Además, el control de producción de pavimentos mediante TC, como indican Claes, Van De Walle, Islahuddin & Janssen (2020), está en rápido desarrollo, mejorando en resolución, precisión y eficiencia, y promete un control de calidad más riguroso en la construcción de pavimentos, a pesar de los desafíos actuales.

Es fundamental establecer protocolos de medición claros, capacitar al personal, complementar las mediciones con otras pruebas de calidad y mantener un programa de calibración y mantenimiento del equipo para maximizar sus beneficios. El Syscal Pro puede mejorar significativamente la calidad y durabilidad de los pavimentos con estas medidas. La tomografía es un método recomendable para conocer el comportamiento de la mezcla asfáltica ya que al realizar la línea de tendencia de correlación de resultados muestra una relación consistente y predecible entre los dos métodos de medición. Un coeficiente de correlación cercano a 1 indica una fuerte relación lineal positiva, es decir, los resultados de la tomografía pueden ser validados con los resultados de campo, ajustando estos a la pendiente observada.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El resistivímetro Syscal Pro ha demostrado ser una herramienta útil para evaluar la resistividad eléctrica de los materiales, lo que permite identificar variaciones en la calidad de los agregados y el cemento asfáltico. Esto aumenta la durabilidad del pavimento al asegurar que solo se utilicen materiales de alta calidad.

En el caso práctico presentado se asignaron diferentes colores para los distintos tipos de agregados, se asignó un color verde para el agregado fino, un color azul para el agregado medio, un color naranja para el agregado grueso, un color gris para el cemento asfáltico y un color amarillo que representa donde existe un exceso de vacíos. La tomografía computarizada que diseñamos con estos colores representa las partes en donde predominan los agregados utilizados, en el caso que aparezca un nuevo color significa que existe una variación en la calidad de los materiales.

Al comparar las tomografías realizadas en planta y en obra, los materiales no han perdido su resistividad inicial, esto quiere decir que no han bajado su calidad o han sufrido cambios en sus propiedades. Esto sugiere que los procesos de mezcla, transporte y control de temperatura están bien controlados y que no hay variaciones significativas en los materiales.

La evaluación de la resistividad del pavimento ayuda a identificar defectos estructurales o de homogeneidad de manera temprana, lo que facilita la corrección inmediata y evita problemas mayores en el futuro. Esto garantiza que el pavimento permanezca de alta calidad durante toda su vida útil.

El método de tomografía computarizada utilizada para controlar la producción de pavimentos es un método recomendable por su gran grado de precisión en los resultados, sin embargo, es importante considerar el índice de correlación para una correcta interpretación de resultados, ya que proporciona un ajuste para una mejor comprensión del estado de la mezcla asfáltica

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el resistímetro Syscal Pro con frecuencia para supervisar la calidad de los materiales y la mezcla asfáltica en las plantas. Esto garantiza el uso de materiales de alta calidad y la uniformidad de la mezcla asfáltica, lo que maximiza el rendimiento del pavimento.
- La capacitación del personal encargado de la producción y el control de calidad en el uso del resistímetro Syscal Pro es crucial. Esto asegurará que las mediciones se realicen correctamente y que los datos obtenidos se interpreten correctamente, lo que mejorará la toma de decisiones.
- Para garantizar una compactación uniforme, se recomienda integrar el uso del resistímetro en el proceso de compactación en obra. Esto implica realizar mediciones en la base y subbase del pavimento. Esto mejorará la durabilidad y la estabilidad del pavimento al ayudar a identificar y corregir problemas antes de la colocación.
- El resistímetro Syscal Pro debe utilizarse para monitorear continuamente el pavimento instalado. Esto ayudará a detectar rápidamente cualquier defecto estructural o de uniformidad, lo que facilitará la corrección inmediata y garantizará la calidad del pavimento a lo largo de su vida útil.
- Para una mejor conductividad eléctrica se recomienda utilizar estacas de cobre, esto permitirá una lectura más precisa, o a su vez se recomienda utilizar bentonita sódica o bicarbonato de sodio, estos materiales se deben colocar en la parte superficial de la carpeta asfáltica para no alterar los componentes de la mezcla.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, Alex., Mercado, Edith., & Caro, Silvia. (2008). *Ingeniería e Investigación*.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64328218>
- Alvarez, E., & Carvajal, J. S. (2014). Practical lessons learnt from the application of X-ray computed tomography to evaluate the internal structure of asphalt mixtures. *DYNA*, 81(188), 52–59. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.40042>
- ASTM D6927. (2022). *Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6927>
- Avery, J., Dowrick, T., Faulkner, M., Goren, N., & Holder, D. (2017). A Versatile and Reproducible Multi-Frequency Electrical Impedance Tomography System. *Sensors*, 17(2), 280. <https://doi.org/10.3390/s17020280>
- Awan, H., Hussain, A., Javed, M., Qiu, Y., Alrowais, R., Mohamed, A., Fathi, D., & Alzahrani, A. (2022). Predicting Marshall Flow and Marshall Stability of Asphalt Pavements Using Multi Expression Programming. *Buildings*, 12(3), 314. <https://doi.org/10.3390/buildings12030314>
- Bharti, A., Pal, S., Saurabh, Singh, K., Singh, P., Prakash, A., & Tiwary, R. (2019). Groundwater prospecting by the inversion of cumulative data of Wenner–Schlumberger and dipole–dipole arrays: A case study at Turamdih, Jharkhand, India. *Journal of Earth System Science*, 128(4), 107. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1137-2>
- Bobachev, A., Cousin, I., Robain, H., & Gorbunov, A. (2006). Applying Syscal-Pro Resistivity-Meter in Fast Measurement Mode to Soil Investigation. *Near Surface 2006 - 12th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402678>
- Chang, C. M. (2020). Sistemas de gestión de pavimentos: pasado, presente, y futuro 1. In *Revista Internacional de Desastres Naturales* (Vol. 19, Issue 20).
- Claes, S., Van De Walle, W., Islahuddin, M., & Janssen, H. (2020). The application of computed tomography for characterizing the pore structure of building materials. *Journal of Building Physics*, 43(4), 254–276. <https://doi.org/10.1177/1744259119880927>

- Ding, Y., Huang, B., & Shu, X. (2016). Characterizing blending efficiency of plant produced asphalt paving mixtures containing high RAP. *Construction and Building Materials*, 126, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.025>
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Giordani, C., & Leone, D. (2018). *Pavimentos*.
- Gopalakrishnan, K., Ceylan, H., & Inanc, F. (2007). Using X-ray computed tomography to study paving materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 160(1), 15–23. <https://doi.org/10.1680/coma.2007.160.1.15>
- Hellman, K., Johansson, S. J., Olsson, P. O., & Dahlin, T. D. (2016a, September 4). *Resistivity Inversion Software Comparison*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602016>
- Hellman, K., Johansson, S., Olsson, P., & Dahlin, T. (2016b). *Resistivity Inversion Software Comparison*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602016>
- Jiang, W., Yuan, D., Sha, A., Huang, Y., Shan, J., & Li, P. (2021). Design of a Novel Road Pavement Using Steel and Plastics to Enhance Performance, Durability and Construction Efficiency. *Materials*, 14(3), 482. <https://doi.org/10.3390/ma14030482>
- Kassem, E., Walubita, L., Scullion, T., Masad, E., & Wimsatt, A. (2008). Evaluation of Full-Depth Asphalt Pavement Construction Using X-Ray Computed Tomography and Ground Penetrating Radar. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 22(6), 408–416. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2008\)22:6\(408\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2008)22:6(408))
- Khan, R., & Collop, A. C. (2010). The Use of X-Ray Computed Tomography to Characterize Microdamage in Asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 11(sup1), 89–109. <https://doi.org/10.1080/14680629.2010.9690328>
- Kutay, M., Arambula, E., Gibson, N., & Youtcheff, J. (2010). Three-dimensional image processing methods to identify and characterise aggregates in compacted asphalt

- mixtures. *International Journal of Pavement Engineering*, 11(6), 511–528.
<https://doi.org/10.1080/10298431003749725>
- Li, J., Shang, M., Liu, G., Yang, T., Pan, Y., Zhou, J., & Zhao, Y. (2019). Two-step improvements of volumetric design method based on multi-point supported skeleton for asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 217, 456–472.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.076>
- Liu, B., Guo, Q., Li, S., Liu, B., Ren, Y., Pang, Y., Guo, X., Liu, L., & Jiang, P. (2020). Deep Learning Inversion of Electrical Resistivity Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(8), 5715–5728.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.2969040>
- Liu, T., Zhang, X., Li, Z., & Chen, Z. (2014). Research on the homogeneity of asphalt pavement quality using X-ray computed tomography (CT) and fractal theory. *Construction and Building Materials*, 68, 587–598.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.046>
- Mauguashca, L. (2022). *Metodología de control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías de alto tráfico, que optimice su vida útil*.
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19270>
- NEVI. (2013). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador subsecretaría de infraestructura del transporte volumen n° 3 Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Offrell, P., & Magnusson, R. (2002). Computerised Tomography as a Tool for Crack Analysis in Asphalt Layers. *Road Materials and Pavement Design*, 3(1), 49–72.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2002.9689915>
- Oldenborger, Greg., Routh, Partha., & Knoll, Michael. (2005a). Sensitivity of electrical resistivity tomography data to electrode position errors. *Geophysical Journal International*, 163(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02714.x>
- Oldenborger, Greg., Routh, Partha., & Knoll, Michael. (2005b). Sensitivity of electrical resistivity tomography data to electrode position errors. *Geophysical Journal International*, 163(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02714.x>

- Russo, F., Biancardo, S. A., Formisano, A., & Dell'Acqua, G. (2018). Predicting percent air voids content in compacted bituminous hot mixture specimens by varying the energy laboratory compaction and the bulk density assessment method. *Construction and Building Materials*, *164*, 508–524. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.174>
- Senior, V., Graciano, C., Vega-Posada, C. A., & Lammardo, A. (2015). *XX Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos Análisis y caracterización de una mezcla asfáltica, obtenida con mecanismos diferentes de compactación, a través de la técnica de tomografía computarizada CT.*
- Taniguchi, S., Otani, J., & Kumagai, M. (2014). A study on characteristics evaluation to control quality of asphalt mixture using X-ray CT. *Road Materials and Pavement Design*, *15*(4), 892–910. <https://doi.org/10.1080/14680629.2014.944204>
- Umbach, C., & Middendorf, B. (2019). 3D structural analysis of construction materials using high-resolution computed tomography. *Materials Today: Proceedings*, *15*, 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.094>
- Uzan, J. (2018). Advancing the design and construction quality control of flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, *19*(2), 164–173. <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1172711>
- Whitt, P. (2014). An Overview of GIMP 2.8. In *Beginning Photo Retouching and Restoration Using GIMP* (pp. 3–21). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0403-0_1
- Winter, J., Gosling, Samuel., & Potter, Jeff. (2016). Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data. *Psychological Methods*, *21*(3), 273–290. <https://doi.org/10.1037/met0000079>
- Wu, B., Liu, L., & Sun, L. (2018). Analysis of parameters affecting asphalt mixture performance and new perspectives on the design parameters. *Construction and Building Materials*, *174*, 625–632. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.130>
- Xing, C., Xu, H., Tan, Y., Liu, X., Zhou, C., & Scarpas, T. (2019). Gradation measurement of asphalt mixture by X-Ray CT images and digital image processing

methods. *Measurement*, 132, 377–386.

<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.066>

Zezelew, H., Paugh, C., Corrigan, M., Belagutti, S., & Ramakrishnareddy, J. (2013). Laboratory evaluation of the mechanical properties of plant-produced warm-mix asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 14(1), 49–70.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2012.735799>

Zhang, Y., Leng, Z., Dong, Z., Liu, Z., Zhang, Z., & Tan, Z. (2018). Performance verification of various bulk density measurement methods for open- and gap-graded asphalt mixtures using X-ray computed tomography. *Construction and Building Materials*, 158, 855–863.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.090>

Zhang, Y., Lun, M. C., Li, C., & Zhou, Z. (2019). Method for improving the spatial resolution of narrow x-ray beam-based x-ray luminescence computed tomography imaging. *Journal of Biomedical Optics*, 24(08), 1.
<https://doi.org/10.1117/1.JBO.24.8.086002>

Zúñiga, R. (2010). *Detección de zonas de riesgo en la ciudad de Guatemala*. Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Ingeniería.

ANEXOS

Anexo 1. Colocación de mezcla asfáltica en los cajones.



Anexo 2. Temperatura de compactación de las muestras.



Anexo 3. Aplicación de la tomografía en planta.



Anexo 4. Extracción de núcleos en planta para los ensayos de laboratorio.



Anexo 5. Aplicación de la tomografía en obra.



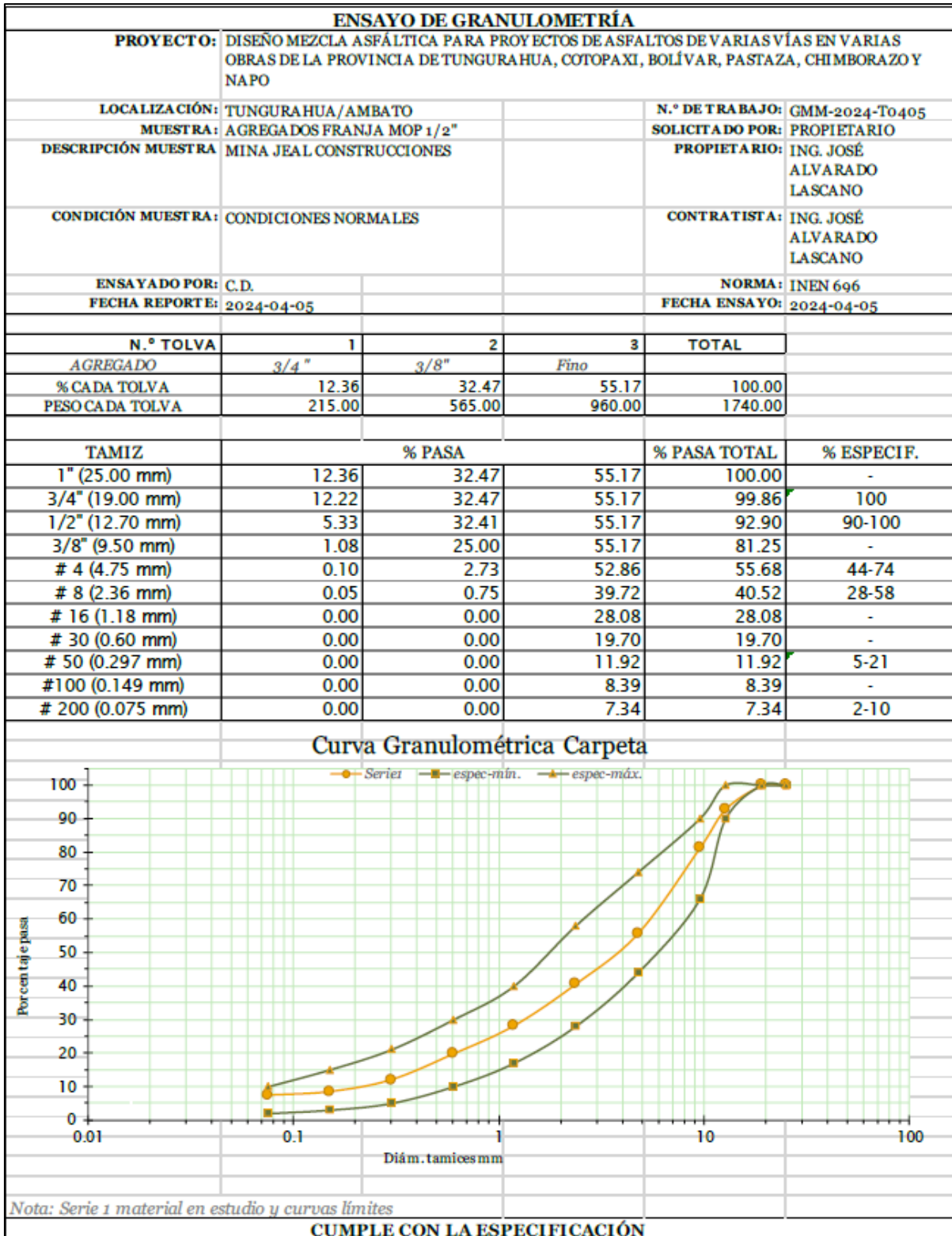
Anexo 7. Ensayo de Coeficiente de Desgaste por Abrasión.

| DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. | | | | | | |
|--|--|------------------------|----------------------------|--------------|--|--|
| ENSAYO DE ABRASIÓN | | | | | | |
| PROYECTO: | DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA PARA PROYECTOS DE ASFALTOS DE VARIAS VÍAS EN VARIAS OBRAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, COTOPAXI, BOLÍVAR, PASTAZA, CHIMBORAZO Y NAPO | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: | TUNGURAHUA/AMBATO | N.º TRABAJO: | DAB-2024-T0405 | | | |
| MINA: | JEAL CONSTRUCCIONES | SOLICITADO POR: | PROPIETARIO | | | |
| DESCRIPCIÓN MUESTRA: | MUESTRA DE CAMPO | PROPIETARIO: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | |
| CONDICIÓN MUESTRA: | CONDICIONES NORMALES | CONTRATISTA: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | |
| ENSAYADO POR: | C.D. | NORMA: | INEN 860 | | | |
| FECHA REPORTE: | 2024-04-05 | FECHA ENSAYO: | 2024-04-05 | | | |
| N.º Muestra | | | 1 | 2 | | |
| Peso muestra antes del ensayo | | g | 5000.0 | 5000.0 | | |
| Peso muestra después del ensayo, retenido tamiz # 12 (1.70 mm) | | g | 3252.2 | 3254.6 | | |
| Peso muestra pasante tamiz # 12 (1.70 mm) | | g | 1747.8 | 1745.4 | | |
| Coeficiente de desgaste | | % | 34.96 | 34.91 | | |
| Coeficiente promedio de desgaste | | % | 34.93 | | | |
| <i>Máximo desgaste de agregados para hormigón asfáltico 40% [MOP-001-F 2002§811-2.02]</i> | | | | | | |

Anexo 8. Ensayo de Gravedad Específica Máxima Teórica de la Mezcla – RICE.

| ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | | | | | | | |
|---|--|-------------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| PROYECTO: | DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA PARA PROYECTOS DE ASFALTOS DE VARIAS VÍAS EN VARIAS OBRAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, COTOPAXI, BOLÍVAR, PASTAZA, CHIMBORAZO Y NAPO | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: | TUNGURAHUA/AMBATO | N.º DE TRABAJO: | GMM-2024-T0405 | | | | |
| MUESTRA: | BRIQUETA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO | SOLICITADO POR: | PROPIETARIO | | | | |
| DESCRIPCIÓN MUESTRA: | MUESTRA DE LABORATORIO | PROPIETARIO: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | | |
| CONDICIÓN MUESTRA: | CONDICIONES NORMALES | CONTRATISTA: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | | |
| ENSAYADO POR: | C.D. | NORMA: | ASTM D2041 | | | | |
| FECHA DEL REPORTE: | 2024-04-05 | FECHA DE ENSAYO: | 2024-04-05 | | | | |
| N.º Ensayo | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Contenido de Asfalto | | % | 5.00 | 5.50 | 6.00 | 6.50 | 7.00 |
| Peso frasco | | g | 852.10 | 852.10 | 852.10 | 852.10 | 852.10 |
| D Peso frasco + agua a 25°C | | g | 4787.60 | 4787.60 | 4787.60 | 4787.60 | 4787.60 |
| Peso muestra + frasco | | g | 2016.50 | 1882.30 | 1838.70 | 1947.20 | 2000.50 |
| A Peso muestra | | g | 1164.40 | 1030.20 | 986.60 | 1095.10 | 1148.40 |
| E Peso muestra + frasco + agua a 25°C | | g | 5471.20 | 5384.80 | 5356.90 | 5415.80 | 5442.50 |
| G_{mm} Gravedad específica máxima de mezcla asfáltica: | | | | | | | |
| | | | $G_{mm} = \frac{A}{A+D-E}$ | | | | |
| | | | 2.422 | 2.379 | 2.364 | 2.345 | 2.327 |

Anexo 9. Ensayo de Granulometría.



Anexo 10. Ensayo de Peso Unitario de Agregados.

| ENSAYO PESO ESPECÍFICO DE AGREGADOS | | | | |
|---|--|-----------------|----------------------------|---------|
| PROYECTO: | DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA PARA PROYECTOS DE ASFALTOS DE VARIAS VÍAS EN VARIAS OBRAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, COTOPAXI, BOLÍVAR, PASTAZA, CHIMBORAZO Y NAPO | | | |
| LOCALIZACIÓN: | TUNGURAHUA/AMBATO | N.º DE TRABAJO: | PEA-2024-To405 | |
| MATERIAL: | AGREGADOS | SOLICITADO POR: | PROPIETARIO | |
| DESCRIPCIÓN MUESTRA: | MUESTRA DE CAMPO | PROPIETARIO: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | |
| CONDICIÓN MUESTRA: | Condicion de trabajos normales | CONTRATISTA: | ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | |
| ENSAYADO POR: | C.D. | NORMA: | ASTM D854-C127 | |
| FECHA REPORTE: | 2024-04-05 | FECHA ENSAYO: | 2024-04-05 | |
| PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO | | | | |
| Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el tamiz # 4 | | | | |
| | | | 3/4" | 3/8" |
| A | Peso en el aire de la muestra secada al horno | | g | 6158.30 |
| B | Peso en el aire de la muestra saturada superficie seca | | g | 6313.70 |
| C | Peso en el agua de la muestra saturada | | g | 3735.60 |
| γ _a | Peso específico aparente | A/(B-C) | | 2.389 |
| γ _{S.S.S} | Peso específico de S.S.S | B/(B-C) | | 2.449 |
| γ _n | Peso específico nominal | A/(A-C) | | 2.542 |
| Ab | Porcentaje de absorción | (B-A)/A | % | 2.52 |
| PESO ESPECÍFICO - AGREGADO FINO | | | | |
| Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el integral | | | | |
| | | | Arena | |
| A | Peso aire muestra seca | | g | 250.69 |
| B | Peso picnómetro aforado lleno de agua | | g | 347.80 |
| C | Peso picnómetro aforado con muestra y agua | | g | 495.70 |
| S | Peso muestra saturada con superficie seca | | g | 250.00 |
| γ _a | Peso específico aparente | A/(B+S-C) | | 2.455 |
| γ _{S.S.S} | Peso específico aparente (S.S.S) | S/(B+S-C) | | 2.449 |
| γ _n | Peso específico nominal | A/(B+A-C) | | 2.439 |
| Ab | Porcentaje de absorción | (S-A)/A | % | -0.28 |

Tabla 16. Ensayo de peso unitario agregados minerales

Anexo 11. Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas.

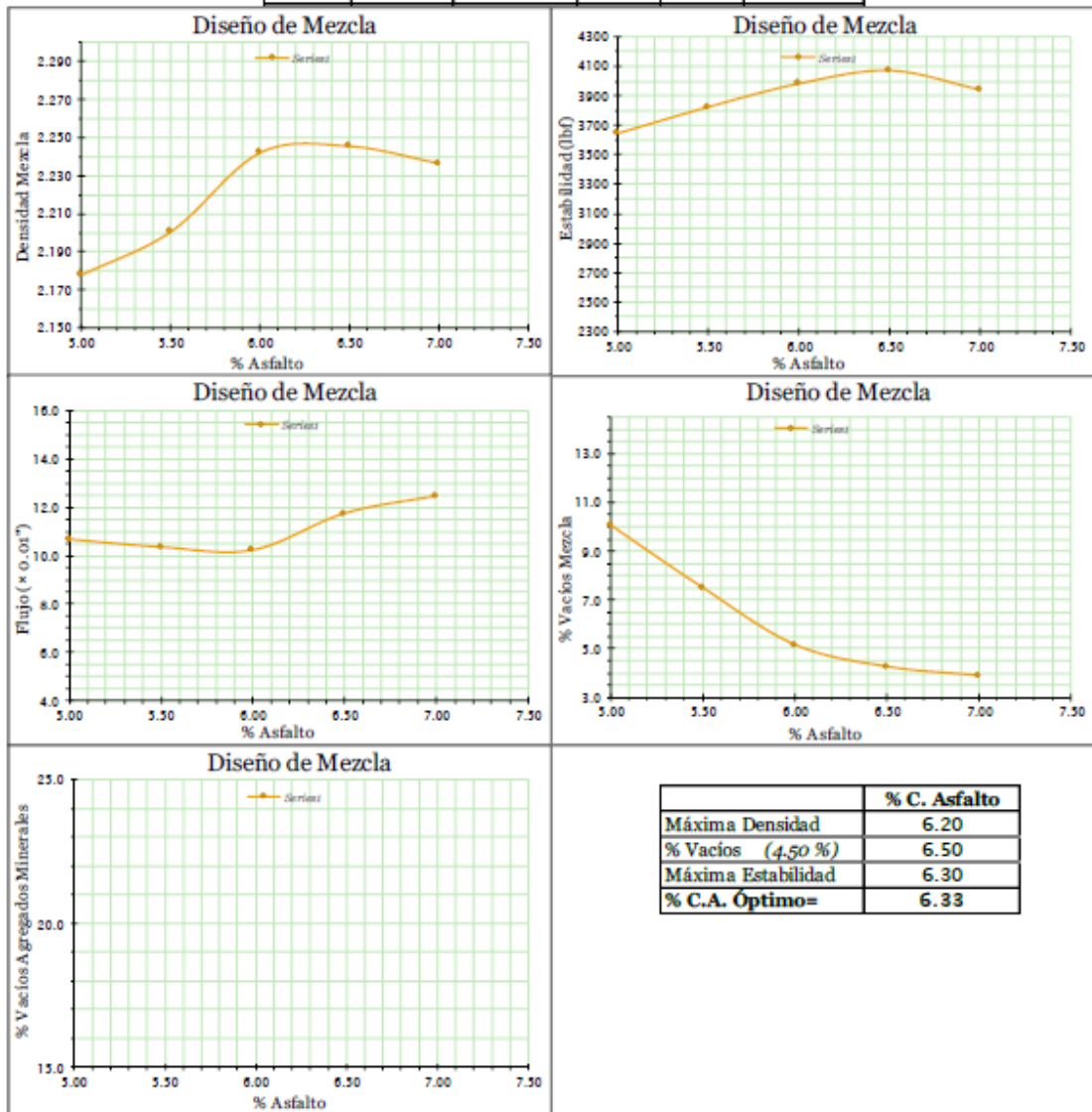
| RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|--------------|---------------|---------|---------------|-----------------|---------------|--|---|--------------------------------|--|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|-----------|------------------------|-------|---------|--|--|----------------|-----------|--|--|------|--|--|-----------------|--|--|-------------------|-----------|---------------|--|------------------|-----------|--|---------------|-------------|--|-------|--|---------|--------------------|--------------|---------------|---------|------|----------------|---------------|-----------------|---------|-----------|---------------------|-----------|--------|-----------|----|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|---------------|---------------|---------------|--|---|--------------------------------|--|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|--|--|--|--|-----------|------|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--------|--|-------|-----------|------|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--------|--|-------|-----------|------|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|------|--|--|------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--------|--|-------|-----------|------|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--------|--|-------|-----------|------|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|------|--------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|---------|------|--------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|-------|-------|-------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|--|--|--|--------|--|-------|
| PROYECTO: DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA PARA PROYECTOS DE ASFALTOS DE VARIAS VÍAS EN VARIAS OBRAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, COTOPAXI, BOLÍVAR, PASTAZA, CHIMBORAZO Y NAPO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: TUNGURAHUA/AMBATO | | | | | | | | | | | | N.º DE TRABAJO: EFM-2024-To405 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MUESTRA: BRIQUETA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO | | | | | | | | | | | | SOLICITADO POR: PROPIETARIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN MUESTRA: MUESTRAS DE LABORATORIO | | | | | | | | | | | | PROPIETARIO: ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONDICIÓN MUESTRA: CONDICIONES NORMALES | | | | | | | | | | | | CONTRATISTA: ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAYADO POR: C.D. | | | | | | | | | | | | NORMA: AASHTO T-245 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA REPORTE: 2024-04-05 | | | | | | | | | | | | FECHA ENSAYO: 2024-04-05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Fecha muestreo</th> <th colspan="3">Gregados:</th> <th colspan="3">Peso</th> <th colspan="3">Peso específico</th> <th rowspan="2">Asfalto Absorbido</th> <th rowspan="2">Agregados</th> <th colspan="2">Volumen Total</th> <th rowspan="2">Asfalto Efectivo</th> <th colspan="2">Gasfalso:</th> <th rowspan="2">Peso Unitario</th> <th colspan="2">Estabilidad</th> <th colspan="2">Flujo</th> </tr> <tr> <th>Asfalto</th> <th>Espe sor brique ta</th> <th>seco en aire</th> <th>S.S.S en aire</th> <th>en agua</th> <th>Bulk</th> <th>máximo teórico</th> <th>máximo medido</th> <th>Vacios con Aire</th> <th>Asfalto</th> <th>Agregados</th> <th>Vacios en Agregados</th> <th>Minerales</th> <th>Medida</th> <th>f. correg</th> <th>lb</th> <th>mm</th> <th>x 0.01"</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>L</th> <th>M</th> <th>N</th> <th>O</th> <th>P</th> <th>Q</th> <th>R</th> <th>S</th> <th>T</th> <th>U</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>$\frac{D}{G}$</td> <td>$\frac{H}{I}$</td> <td>$\frac{J}{K}$</td> <td>$\frac{1 - M \times 10^4}{8 \times (100 - B)}$</td> <td>$\frac{(100 - N) \times O}{\text{Grago}}$</td> <td>$\frac{L}{(1 - T) \times 100}$</td> <td>$\frac{[100 - K] \times [100 - O]}{100}$</td> <td>$\frac{[100 - N] \times [100 - O]}{100}$</td> <td>$\frac{[62.4 \times G]}{100}$</td> <td>$\frac{[224.808 \times Q]}{100}$</td> <td>$\frac{R \times S}{8 \times S}$</td> <td>$\frac{U}{0.254}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>24-mar-06</td> <td>5.00</td> <td>7.50</td> <td>131.38</td> <td>1316.9</td> <td>715.7</td> <td>2.185</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>21.770</td> <td>4894.09</td> <td>0.78</td> <td>3817.4</td> <td>2.792</td> <td>10.99</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.20</td> <td>1262.9</td> <td>1265.9</td> <td>692.8</td> <td>2.204</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>23.526</td> <td>5288.86</td> <td>0.82</td> <td>4336.9</td> <td>2.712</td> <td>10.68</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>7.10</td> <td>1209.1</td> <td>1211.2</td> <td>647.6</td> <td>2.145</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>14.747</td> <td>3315.26</td> <td>0.84</td> <td>2784.8</td> <td>2.616</td> <td>10.30</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.178</td> <td>2.272</td> <td>2.422</td> <td>2.87</td> <td>85.1</td> <td>10.06</td> <td>4.846</td> <td>14.91</td> <td>2.269</td> <td>135.91</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3646.4</td> <td></td> <td>10.66</td> </tr> <tr> <td>24-mar-06</td> <td>5.50</td> <td>6.20</td> <td>1044.4</td> <td>1050.5</td> <td>572.4</td> <td>2.184</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>16.547</td> <td>3719.91</td> <td>1.04</td> <td>3868.7</td> <td>2.456</td> <td>9.67</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.40</td> <td>1119.8</td> <td>1123.3</td> <td>616.8</td> <td>2.211</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>19.663</td> <td>4420.42</td> <td>0.99</td> <td>4376.2</td> <td>2.704</td> <td>10.65</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.20</td> <td>1080.5</td> <td>1082.9</td> <td>593.4</td> <td>2.207</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>13.835</td> <td>3110.23</td> <td>1.04</td> <td>3234.6</td> <td>2.719</td> <td>10.70</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.201</td> <td>2.257</td> <td>2.379</td> <td>2.41</td> <td>85.5</td> <td>7.49</td> <td>6.975</td> <td>14.47</td> <td>3.218</td> <td>137.34</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3826.5</td> <td></td> <td>10.34</td> </tr> <tr> <td>24-mar-06</td> <td>6.00</td> <td>6.00</td> <td>1069.6</td> <td>1070.3</td> <td>593.0</td> <td>2.241</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15.284</td> <td>3435.98</td> <td>1.10</td> <td>3779.6</td> <td>2.519</td> <td>9.92</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>5.90</td> <td>1047.5</td> <td>1049.3</td> <td>582.0</td> <td>2.242</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15.078</td> <td>3389.67</td> <td>1.13</td> <td>3830.3</td> <td>2.497</td> <td>9.83</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>5.60</td> <td>999.1</td> <td>999.4</td> <td>554.3</td> <td>2.245</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15.594</td> <td>3505.67</td> <td>1.24</td> <td>4347.0</td> <td>2.770</td> <td>10.91</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.242</td> <td>2.242</td> <td>2.364</td> <td>2.45</td> <td>86.7</td> <td>5.15</td> <td>8.165</td> <td>13.32</td> <td>3.695</td> <td>139.93</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3985.6</td> <td></td> <td>10.22</td> </tr> <tr> <td>24-mar-06</td> <td>6.50</td> <td>5.90</td> <td>1070.2</td> <td>1070.7</td> <td>592.6</td> <td>2.238</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>14.158</td> <td>3182.85</td> <td>1.13</td> <td>3596.6</td> <td>2.756</td> <td>10.85</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.00</td> <td>1096.5</td> <td>1096.9</td> <td>609.8</td> <td>2.251</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>17.487</td> <td>3931.23</td> <td>1.10</td> <td>4324.4</td> <td>2.732</td> <td>10.76</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.60</td> <td>1200.2</td> <td>1201.0</td> <td>667.0</td> <td>2.248</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>20.355</td> <td>4575.99</td> <td>0.94</td> <td>4301.4</td> <td>3.454</td> <td>13.60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.246</td> <td>2.228</td> <td>2.345</td> <td>2.41</td> <td>86.3</td> <td>4.25</td> <td>9.399</td> <td>13.65</td> <td>4.243</td> <td>140.13</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4074.1</td> <td></td> <td>11.73</td> </tr> <tr> <td>24-mar-06</td> <td>7.00</td> <td>6.40</td> <td>1158.9</td> <td>1159.2</td> <td>630.8</td> <td>2.193</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>16.332</td> <td>3671.58</td> <td>0.99</td> <td>3634.9</td> <td>3.185</td> <td>12.54</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.90</td> <td>1236.3</td> <td>1238.4</td> <td>685.2</td> <td>2.235</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>18.144</td> <td>4078.93</td> <td>0.88</td> <td>3589.5</td> <td>3.301</td> <td>13.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6.30</td> <td>1149.9</td> <td>1150.5</td> <td>646.6</td> <td>2.282</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>20.277</td> <td>4558.45</td> <td>1.01</td> <td>4604.0</td> <td>3.009</td> <td>11.85</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.237</td> <td>2.213</td> <td>2.327</td> <td>2.38</td> <td>85.5</td> <td>3.88</td> <td>10.576</td> <td>14.46</td> <td>4.791</td> <td>139.57</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3942.8</td> <td></td> <td>12.46</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Fecha muestreo | Gregados: | | | Peso | | | Peso específico | | | Asfalto Absorbido | Agregados | Volumen Total | | Asfalto Efectivo | Gasfalso: | | Peso Unitario | Estabilidad | | Flujo | | Asfalto | Espe sor brique ta | seco en aire | S.S.S en aire | en agua | Bulk | máximo teórico | máximo medido | Vacios con Aire | Asfalto | Agregados | Vacios en Agregados | Minerales | Medida | f. correg | lb | mm | x 0.01" | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | | | | | | | $\frac{D}{G}$ | $\frac{H}{I}$ | $\frac{J}{K}$ | $\frac{1 - M \times 10^4}{8 \times (100 - B)}$ | $\frac{(100 - N) \times O}{\text{Grago}}$ | $\frac{L}{(1 - T) \times 100}$ | $\frac{[100 - K] \times [100 - O]}{100}$ | $\frac{[100 - N] \times [100 - O]}{100}$ | $\frac{[62.4 \times G]}{100}$ | $\frac{[224.808 \times Q]}{100}$ | $\frac{R \times S}{8 \times S}$ | $\frac{U}{0.254}$ | | | | | 24-mar-06 | 5.00 | 7.50 | 131.38 | 1316.9 | 715.7 | 2.185 | | | | | | | | | | 21.770 | 4894.09 | 0.78 | 3817.4 | 2.792 | 10.99 | | | 7.20 | 1262.9 | 1265.9 | 692.8 | 2.204 | | | | | | | | | | 23.526 | 5288.86 | 0.82 | 4336.9 | 2.712 | 10.68 | | | 7.10 | 1209.1 | 1211.2 | 647.6 | 2.145 | | | | | | | | | | 14.747 | 3315.26 | 0.84 | 2784.8 | 2.616 | 10.30 | | | | | | | 2.178 | 2.272 | 2.422 | 2.87 | 85.1 | 10.06 | 4.846 | 14.91 | 2.269 | 135.91 | | | | 3646.4 | | 10.66 | 24-mar-06 | 5.50 | 6.20 | 1044.4 | 1050.5 | 572.4 | 2.184 | | | | | | | | | | 16.547 | 3719.91 | 1.04 | 3868.7 | 2.456 | 9.67 | | | 6.40 | 1119.8 | 1123.3 | 616.8 | 2.211 | | | | | | | | | | 19.663 | 4420.42 | 0.99 | 4376.2 | 2.704 | 10.65 | | | 6.20 | 1080.5 | 1082.9 | 593.4 | 2.207 | | | | | | | | | | 13.835 | 3110.23 | 1.04 | 3234.6 | 2.719 | 10.70 | | | | | | | 2.201 | 2.257 | 2.379 | 2.41 | 85.5 | 7.49 | 6.975 | 14.47 | 3.218 | 137.34 | | | | 3826.5 | | 10.34 | 24-mar-06 | 6.00 | 6.00 | 1069.6 | 1070.3 | 593.0 | 2.241 | | | | | | | | | | 15.284 | 3435.98 | 1.10 | 3779.6 | 2.519 | 9.92 | | | 5.90 | 1047.5 | 1049.3 | 582.0 | 2.242 | | | | | | | | | | 15.078 | 3389.67 | 1.13 | 3830.3 | 2.497 | 9.83 | | | 5.60 | 999.1 | 999.4 | 554.3 | 2.245 | | | | | | | | | | 15.594 | 3505.67 | 1.24 | 4347.0 | 2.770 | 10.91 | | | | | | | 2.242 | 2.242 | 2.364 | 2.45 | 86.7 | 5.15 | 8.165 | 13.32 | 3.695 | 139.93 | | | | 3985.6 | | 10.22 | 24-mar-06 | 6.50 | 5.90 | 1070.2 | 1070.7 | 592.6 | 2.238 | | | | | | | | | | 14.158 | 3182.85 | 1.13 | 3596.6 | 2.756 | 10.85 | | | 6.00 | 1096.5 | 1096.9 | 609.8 | 2.251 | | | | | | | | | | 17.487 | 3931.23 | 1.10 | 4324.4 | 2.732 | 10.76 | | | 6.60 | 1200.2 | 1201.0 | 667.0 | 2.248 | | | | | | | | | | 20.355 | 4575.99 | 0.94 | 4301.4 | 3.454 | 13.60 | | | | | | | 2.246 | 2.228 | 2.345 | 2.41 | 86.3 | 4.25 | 9.399 | 13.65 | 4.243 | 140.13 | | | | 4074.1 | | 11.73 | 24-mar-06 | 7.00 | 6.40 | 1158.9 | 1159.2 | 630.8 | 2.193 | | | | | | | | | | 16.332 | 3671.58 | 0.99 | 3634.9 | 3.185 | 12.54 | | | 6.90 | 1236.3 | 1238.4 | 685.2 | 2.235 | | | | | | | | | | 18.144 | 4078.93 | 0.88 | 3589.5 | 3.301 | 13.00 | | | 6.30 | 1149.9 | 1150.5 | 646.6 | 2.282 | | | | | | | | | | 20.277 | 4558.45 | 1.01 | 4604.0 | 3.009 | 11.85 | | | | | | | 2.237 | 2.213 | 2.327 | 2.38 | 85.5 | 3.88 | 10.576 | 14.46 | 4.791 | 139.57 | | | | 3942.8 | | 12.46 |
| Fecha muestreo | Gregados: | | | Peso | | | Peso específico | | | Asfalto Absorbido | Agregados | Volumen Total | | Asfalto Efectivo | Gasfalso: | | Peso Unitario | Estabilidad | | Flujo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Asfalto | Espe sor brique ta | seco en aire | S.S.S en aire | en agua | Bulk | máximo teórico | máximo medido | Vacios con Aire | | | Asfalto | Agregados | | Vacios en Agregados | Minerales | | Medida | f. correg | lb | mm | x 0.01" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | $\frac{D}{G}$ | $\frac{H}{I}$ | $\frac{J}{K}$ | $\frac{1 - M \times 10^4}{8 \times (100 - B)}$ | $\frac{(100 - N) \times O}{\text{Grago}}$ | $\frac{L}{(1 - T) \times 100}$ | $\frac{[100 - K] \times [100 - O]}{100}$ | $\frac{[100 - N] \times [100 - O]}{100}$ | $\frac{[62.4 \times G]}{100}$ | $\frac{[224.808 \times Q]}{100}$ | $\frac{R \times S}{8 \times S}$ | $\frac{U}{0.254}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-mar-06 | 5.00 | 7.50 | 131.38 | 1316.9 | 715.7 | 2.185 | | | | | | | | | | 21.770 | 4894.09 | 0.78 | 3817.4 | 2.792 | 10.99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 7.20 | 1262.9 | 1265.9 | 692.8 | 2.204 | | | | | | | | | | 23.526 | 5288.86 | 0.82 | 4336.9 | 2.712 | 10.68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 7.10 | 1209.1 | 1211.2 | 647.6 | 2.145 | | | | | | | | | | 14.747 | 3315.26 | 0.84 | 2784.8 | 2.616 | 10.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2.178 | 2.272 | 2.422 | 2.87 | 85.1 | 10.06 | 4.846 | 14.91 | 2.269 | 135.91 | | | | 3646.4 | | 10.66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-mar-06 | 5.50 | 6.20 | 1044.4 | 1050.5 | 572.4 | 2.184 | | | | | | | | | | 16.547 | 3719.91 | 1.04 | 3868.7 | 2.456 | 9.67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.40 | 1119.8 | 1123.3 | 616.8 | 2.211 | | | | | | | | | | 19.663 | 4420.42 | 0.99 | 4376.2 | 2.704 | 10.65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.20 | 1080.5 | 1082.9 | 593.4 | 2.207 | | | | | | | | | | 13.835 | 3110.23 | 1.04 | 3234.6 | 2.719 | 10.70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2.201 | 2.257 | 2.379 | 2.41 | 85.5 | 7.49 | 6.975 | 14.47 | 3.218 | 137.34 | | | | 3826.5 | | 10.34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-mar-06 | 6.00 | 6.00 | 1069.6 | 1070.3 | 593.0 | 2.241 | | | | | | | | | | 15.284 | 3435.98 | 1.10 | 3779.6 | 2.519 | 9.92 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5.90 | 1047.5 | 1049.3 | 582.0 | 2.242 | | | | | | | | | | 15.078 | 3389.67 | 1.13 | 3830.3 | 2.497 | 9.83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5.60 | 999.1 | 999.4 | 554.3 | 2.245 | | | | | | | | | | 15.594 | 3505.67 | 1.24 | 4347.0 | 2.770 | 10.91 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2.242 | 2.242 | 2.364 | 2.45 | 86.7 | 5.15 | 8.165 | 13.32 | 3.695 | 139.93 | | | | 3985.6 | | 10.22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-mar-06 | 6.50 | 5.90 | 1070.2 | 1070.7 | 592.6 | 2.238 | | | | | | | | | | 14.158 | 3182.85 | 1.13 | 3596.6 | 2.756 | 10.85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.00 | 1096.5 | 1096.9 | 609.8 | 2.251 | | | | | | | | | | 17.487 | 3931.23 | 1.10 | 4324.4 | 2.732 | 10.76 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.60 | 1200.2 | 1201.0 | 667.0 | 2.248 | | | | | | | | | | 20.355 | 4575.99 | 0.94 | 4301.4 | 3.454 | 13.60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2.246 | 2.228 | 2.345 | 2.41 | 86.3 | 4.25 | 9.399 | 13.65 | 4.243 | 140.13 | | | | 4074.1 | | 11.73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-mar-06 | 7.00 | 6.40 | 1158.9 | 1159.2 | 630.8 | 2.193 | | | | | | | | | | 16.332 | 3671.58 | 0.99 | 3634.9 | 3.185 | 12.54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.90 | 1236.3 | 1238.4 | 685.2 | 2.235 | | | | | | | | | | 18.144 | 4078.93 | 0.88 | 3589.5 | 3.301 | 13.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6.30 | 1149.9 | 1150.5 | 646.6 | 2.282 | | | | | | | | | | 20.277 | 4558.45 | 1.01 | 4604.0 | 3.009 | 11.85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 2.237 | 2.213 | 2.327 | 2.38 | 85.5 | 3.88 | 10.576 | 14.46 | 4.791 | 139.57 | | | | 3942.8 | | 12.46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESPECIFICACIONES [MOP-001-F 2023 TABLA 405.5.4] | | | | | | | | | | % vacíos = 3-5 | | | | | Estabilidad mínima = 1 800 lb | | | | | Flujo (0.01 in) = 8-14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 18 Estabilidad y Flujo - Marshall


Anexo 12. Curvas Marshall.

| CURVAS MARSHALL: DISEÑO DE HORMIGÓN ASFÁLTICO | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| PROYECTO: DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA PARA PROYECTOS DE ASFALTOS DE VARIAS VÍAS EN VARIAS OBRAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, COTOPAXI, BOLÍVAR, PASTAZA, CHIMBORAZO Y NAPO | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: TUNGURAHUA/AMBATO | | | N.º TRABAJO: DPAM-2024-T0405 | | |
| MUESTRA: BRIQUETA DE HORMIGÓN ASFÁLTICO | | | SOLICITADO POR: PROPIETARIO | | |
| DESCRIPCIÓN: MUESTRAS DE LABORATORIO | | | PROPIETARIO: ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | |
| MUESTRA: | | | CONTRATISTA: ING. JOSÉ ALVARADO LASCANO | | |
| CONDICIÓN: Condición de trabajos normales | | | NORMA: | | |
| MUESTRA: | | | FECHA ENSAYO: 2024-04-05 | | |
| ENSAYADO POR: C.D. | | | NORMA: | | |
| FECHA REPORTE: 2024-04-05 | | | FECHA ENSAYO: 2024-04-05 | | |



| ASFALTO | DENSIDAD BULK | ESTABILIDAD | FLUJO | VACÍOS | VACÍOS AGREGADOS |
|---------|---------------|-------------|---------|--------|------------------|
| % | | lbf | × 0.01" | % | % |
| 5.00 | 2.178 | 3646.36 | 10.66 | 10.06 | 14.91 |
| 5.50 | 2.201 | 3826.52 | 10.34 | 7.49 | 14.47 |
| 6.00 | 2.242 | 3985.65 | 10.22 | 5.15 | 13.32 |
| 6.50 | 2.246 | 4074.13 | 11.73 | 4.25 | 13.65 |
| 7.00 | 2.237 | 3942.79 | 12.46 | 3.88 | 14.46 |



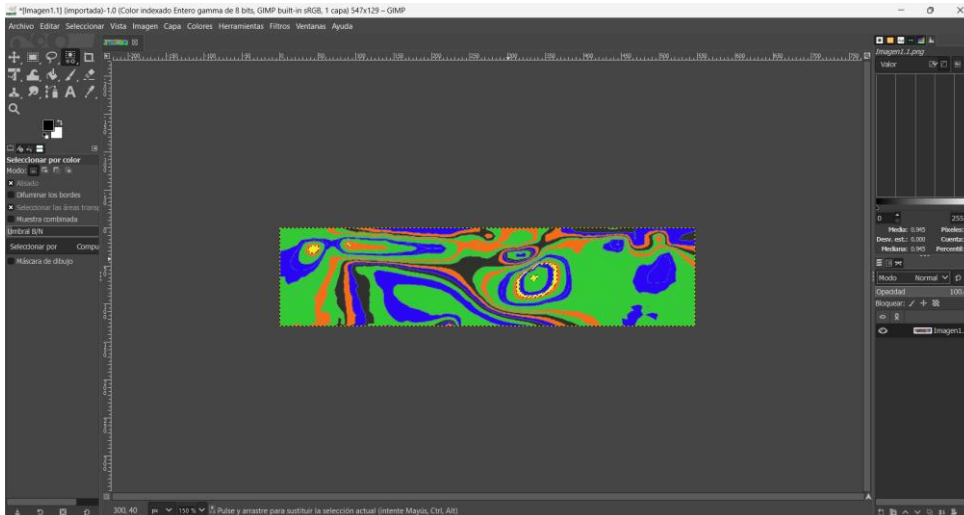
Anexos 13. Extracción de núcleos de las muestras en planta.

|  | | PROYECTO: TESIS UNACH FECHA DE COMPACTACION: 17-Jul FECHA TOMA DE NUCLEOS: 22-Jul | | | | | |
|---|--------------|--|-------------------------------|--|------------------------|-----------------|---------------------------------|
| EXTRACCION DE NUCLEOS DE CARPETA ASFALTICA | | | | | | | |
| ABSCISA | LOCALIZACION | ESPOSOR mm | PESO NUCLEO EN EL AIRE gramos | PESO NUCLEO+PARAFINA EN EL AIRE gramos | PESO EN EL AGUA gramos | VOLUMEN cc | DENSIDAD gramos/cm ³ |
| 1A | | | 236,0 | 239,7 | 126,4 | 109,1 | 2,162 |
| 2A | | | 185,7 | 188,4 | 99,3 | 86,1 | 2,158 |
| 3A | | | 183,9 | 186,4 | 99,8 | 83,8 | 2,195 |
| 4A | | | 266,0 | 277,8 | 139,4 | 125,1 | 2,126 |
| 5A | | | 250,2 | 259,7 | 134,2 | 114,8 | 2,179 |
| 6A | | | 143,4 | 147,4 | 76,9 | 66,0 | 2,173 |
| | | | | | | PROMEDIO | 2,165 |
| 1B | | | 274,1 | 280,6 | 146,9 | 126,4 | 2,169 |
| 2B | | | 222,6 | 225,8 | 119,5 | 102,7 | 2,167 |
| 3B | | | 192,0 | 193,9 | 103,0 | 88,8 | 2,163 |
| 4B | | | 159,7 | 161,6 | 86,4 | 73,1 | 2,186 |
| | | | | | | PROMEDIO | 2,171 |

Anexos 14. Extracción de núcleos de las muestras en obra.

|  | | PROYECTO: SAMANA - UTC LATACUNGA | | | | | | | |
|---|--------------|---|-------------------------------|--|------------------------|------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| EXTRACCION DE NUCLEOS DE CARPETA ASFALTICA | | | | | | | | | |
| ABSCISA | LOCALIZACION | ESPOSOR mm | PESO NUCLEO EN EL AIRE gramos | PESO NUCLEO+PARAFINA EN EL AIRE gramos | PESO EN EL AGUA gramos | VOLUMEN cc | DENSIDAD gramos/cm ³ | DENSIDAD BULK DE LA MEZCLA | % DE COMPACTACION |
| 2+200 | 1 | 93,0 | 307,0 | 309,0 | 167,9 | 138,9 | 2,211 | 2,290 | 96,5 |
| 2+280 | D | 90,0 | 283,9 | 287,4 | 153,9 | 129,6 | 2,191 | 2,296 | 95,4 |
| 2+150 | D | 90,0 | 274,5 | 277,2 | 147,7 | 126,5 | 2,171 | 2,296 | 94,5 |
|  HÉCTOR AGUILAR LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES | | | | | | | | | |

Anexo 15. Uso de software GIMP 2.10.38.



Anexo 16. Ensayos de laboratorio

| Ensayo: | Agregado fino | Agregado grueso | |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------|-------|
| | | 3/4" | 3/8" |
| Peso específico | | | |
| Aparente | 2.609 | 2.389 | 2.409 |
| S.s.s | 2.602 | 2.449 | 2.502 |
| Nominal | 2.59 | 2.542 | 2.657 |
| Porcentaje de absorción (%) | -0.28 | 2.52 | 3.88 |
| Coefficiente desgaste (%) | - | 34.96 | 34.91 |
| Resistencia peladura (adherencia) (%) | - | >95 | >95 |
| Peso unitario (g/cm ³) | 1.492 | 1.48 | 1.5 |

Anexo 17. Cantidades y porcentajes para la fabricación de briquetas de mezcla asfáltica.

| Materiales | | % | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
|--------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|--------------|
| Agregado fino | g | 55.17 | 2620.7 | 2606.9 | 2593.1 | 2579.3 | 2565.5 | 12965.5 |
| Agregado grueso | | | | | | | | |
| 3/4" | g | 12.36 | 586.9 | 583.8 | 580.7 | 577.77 | 574.6 | 2903.7 |
| Agregado 3/8" | g | 32.47 | 1542.4 | 1542.4 | 1526.1 | 1518 | 1509.9 | 7630.7 |
| Cemento asfáltico | % | | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | |
| Cemento asfáltico | g | | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 | 1500 |
| Total agregados | g | 100 | 4750 | 4725 | 4700 | 4675 | 4650 | 23500 |
| Suma agregados+ca | g | | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 25000 |

Anexo 18. Gravedad específica de la mezcla asfáltica-RICE

| N.º de grupo | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Gravedad Específica | | | | | | |
| -RICE | G _{mm} | 2.422 | 2.379 | 2.364 | 2.345 | 2.327 |
| Contenido de Cemento Asfáltico | % | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 |

Anexo 19. Propiedades del cemento asfáltico AC-20

| Cemento asfáltico - Grado de viscosidad Ac-20 | | | | |
|--|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| Procedencia: Refinería Esmeraldas | | | | |
| Descripción | U | Valor | Tolerancia | |
| | | | Mín | Máx |
| Viscosidad Cinemática 135 °C | mm ² /s | 367 | 300 | - |
| Viscosidad Absoluta 60 °C | Pa*s | 201 | 160 | 240 |
| Punto de Inflamación | °C | 294 | 232 | - |

| | | | | |
|---------------------------------|---------|--------|------|-----|
| Penetración 25 °C | x0.1 mm | 66 | 60 | - |
| W. Solubilidad en Tricloroetino | % | 99.92 | 99 | - |
| Ductilidad 25 °C | cm | 62 | 50 | - |
| Viscosidad Absoluta 60 °C | Pa*s | 618 | - | 800 |
| Gravedad API 15.6 °C | - | 7.1 | - | - |
| Gravedad Relativa 15.6/15.6 °C | - | 1.0209 | - | - |
| Peso Específico | - | 1.009 | | |
| Punto de Ablandamiento | cm | 47 | - | - |
| Índice de Penetración | - | -1.2 | -1.5 | 1 |
| Cambio de Masa | %P | -0.269 | - | 1 |

Anexo 20. Granulometría de la mezcla asfáltica

| Mezcla asfáltica granulometría MTOP-405-5.1 | | | | | |
|--|-------------------|---|-----------------------|-------------|-------------|
| Tamices | | % en peso que pasa a través de los tamices | | | |
| Pulgadas | Milímetros | N.º4 | Tamaño nominal | | |
| | | | 3/8" | 1/2" | 3/4" |
| 1 | 25.4 | - | - | - | 100 |
| 3/4 | 19 | - | - | 100 | 90-100 |
| 1/2 | 12.7 | - | 100 | 90-100 | - |
| 3/8 | 9.5 | 100 | 90-100 | - | 56-80 |
| N.º4 | 4.75 | 80-100 | 55-85 | 44-74 | 35-65 |
| N.º8 | 2.36 | 65-100 | 32-67 | 28-58 | 23-49 |
| N.º16 | 1.18 | 40-80 | - | - | - |
| N.º30 | 0.6 | 25-65 | - | - | - |
| N.º50 | 0.3 | 7-40 | 7-23 | 5-21 | 5-19 |
| N.º100 | 0.15 | 3-20 | - | - | - |
| N.º200 | 0.075 | 2-10 | 2-10 | 2-10 | 2-8 |

Anexo 21. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico

| Requisitos de cemento asfáltico | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--|
| Penetración | | 60-70 | | |
| Ensayos: | Unidad | Máximo | Mínimo | |
| Punto de ablandamiento Ay B | °C | 57 | 48 | |
| Penetración (25°C, 100g, 5s) | x0.1mm | 75 | 60 | |
| Ductilidad (25°C, 5cm/min) | cm | - | 100 | |
| Índice de penetración | * | +1.5 | -1.5 | |
| Solubilidad en Tricloroetileno | % | - | 99 | |
| Contenido de agua (en volumen) | % | 0.2 | - | |
| Punto de inflamación | °C | - | 232 | |
| Copa Cleveland | | | | |
| Densidad relativa | - | - | 1.00 | |

| | | | |
|------------------------|----|----------|---|
| 25°C/25°C | | | |
| De la mancha | ** | Negativo | |
| Contenido de parafinas | % | 2.2 | - |

Anexo 22. Especificaciones técnicas de la mezcla asfáltica

| Especificaciones de la Mezcla Asfáltica | | | |
|--|----------|---------------|--------|
| Tipo de tráfico | | Pesado | |
| Criterios Marshall | | Máximo | Mínimo |
| Flujo | [in/100] | 14 | 8 |
| Estabilidad | [libras] | - | 1800 |
| N.º de golpes/Cara | | | 75 |
| Vacíos Agregados | % | | 15 |
| Relación Filler/Betún | | 1.2 | 0.8 |
| Vacíos en mezcla | % | | |
| Capa de Rodadura | % | 5 | 3 |

Anexo 23. Temperaturas de la mezcla asfáltica

| Descripción: | Temperatura (°C) | |
|----------------------------------|-------------------------|---------------|
| | Mínima | Máxima |
| Cemento Asfáltico | - | 160 |
| Agregados minerales | - | 160 |
| Cemento asfáltico para la mezcla | 135 | 160 |
| Agregados al recibir el asfalto | 120 | 160 |
| Mezcla para colocar en sitio | 120 | 150 |
| Mezcla para compactación | 110 | - |
| Mezcla para el rodillado | 110 | 120 |

Anexo 24. Contenido de asfalto para la fórmula maestra

| Descripción | % C. Asfalto |
|--------------------|---------------------|
| Máxima Estabilidad | 6.30 |
| Máxima Densidad | 6.20 |
| % Vacíos (4.50%) | 6.50 |
| % C.A. Óptimo= | 6.33 |