



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis comparativo del costo beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

**PALADINES OLAYA CARLOS JEANPIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis comparativo del costo beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

**PALADINES OLAYA CARLOS JEANPIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

Análisis comparativo del costo beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

**PALADINES OLAYA CARLOS JEANPIER
INGENIERO CIVIL**

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

**MACHALA
2023**

TESIS CARLOS PALADINES

por Carlos Paladines

Fecha de entrega: 29-feb-2024 11:34a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2307993487

Nombre del archivo: TESIS_CARLOS_PALADINES.docx (134.31K)

Total de palabras: 11571

Total de caracteres: 58832

TESIS CARLOS PALADINES

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5000 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, PALADINES OLAYA CARLOS JEANPIER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis comparativo del costo beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



PALADINES OLAYA CARLOS JEANPIER

0502884919

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi hija, Isabela; a quien me apoyo incondicionalmente, Valeria; a mis padres, Karina y Carlos; a mi hermana, Karla; a mis suegros Blanca y Luis, a mi familia cercana y las personas que me acompañaron durante este proceso y siempre creyeron en mí y me brindaron mucho apoyo en los momentos más difíciles.

Carlos Jeanpier Paladines Olaya

AGRADECIMIENTO

Primero que nada, quiero darle gracias a Dios por ser mi guía durante toda esta travesía de mi vida, a mi madre que siempre estuvo en todo momento conmigo apoyándome, a mi compañera de vida, a mi hija, mi hermana, mi suegra, que han sido mi fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis objetivos académicos.

También a todos los profesores que fueron formándome para desarrollar habilidades, actitudes y un criterio técnico para utilizarlos en mi vida profesional. Y de manera especial a mi tutor y especialistas por su dedicación, paciencia y consejos para lograr tan anhelado objetivo.

Carlos Jeanpier Paladines Olaya

RESUMEN

El fin de este trabajo es determinar el análisis comparativo del costo-beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala, mediante ensayos de laboratorio con cilindros de hormigón cuya resistencia es de 240 kg/cm² y 280 kg/cm² además de briquetas de asfalto con un porcentaje de 5, 5.5, 6, 6.5, 7% respectivamente para determinar el porcentaje óptimo de asfalto con esto se estima un precio unitario por la elaboración de dichos pavimentos. Se toma como referencia El Plan vial integral de El Oro y el Plan Plurianual de Inversiones 2019-2023 del GAD Machala donde se denota los precios por mantenimiento rutinario (anual) y mantenimiento periódico (cada 5 años). Se comparan los pavimentos rígidos y flexibles en cuanto a su elaboración, análisis de tráfico vehicular, costos de mantenimiento y se realiza un análisis de costo-beneficio, estimando el TIR y VAN el mismo que brindará dicho análisis y con esto se podrá obtener cuál de los dos tipos de pavimentos es el más óptimo y beneficioso.

Palabras claves: Pavimento flexible, Pavimento rígido, costo-beneficio, capa de rodadura.

ABSTRACT

The purpose of this work is to determine the comparative analysis of the cost-benefit of the wearing course of the different types of pavements in the urban roads of the city of Machala, through laboratory tests with concrete cylinders whose resistance is 240 kg/cm² and 280 kg/cm², in addition to asphalt briquettes with a percentage of 5, 5.5, 6, 6.5, 6.5, 7% respectively to determine the optimum percentage of asphalt. With this, a unit price is estimated for the preparation of these pavements. The Comprehensive Road Plan of El Oro and the Multiannual Investment Plan 2019-2023 of GAD Machala, where the prices for routine maintenance (annual) and periodic maintenance (every 5 years) are denoted, are taken as a reference. Rigid and flexible pavements are compared in terms of their preparation, vehicular traffic analysis, maintenance costs and a cost-benefit analysis is performed, estimating the TIR and VAN, which will provide such analysis and with this it will be possible to obtain which of the two types of pavements is the most optimal and beneficial.

Keywords: Flexible pavement. Rigid pavement. Cost-benefit, wearing course.

INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 Antecedentes.....	14
1.1.1 Línea base del proyecto	14
1.2 Descripción de la situación problemática.....	18
1.2.1 Árbol de problemas	18
1.3 Formulación del problema	19
1.3.1 Hipótesis	19
1.3.2 Problema central	19
1.3.3 Problemas complementarios.....	19
1.4 Alcance del proyecto	19
1.5 Justificación.....	19
1.6 Objetivos	20
1.6.1 Objetivo General.....	20
1.6.2 Objetivos específicos.....	20
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes contextuales.....	21
2.2 Antecedentes históricos	28
2.3 Antecedentes conceptuales	29
2.3.1 Capa de rodadura	29
2.3.2 Características necesarias en una capa de rodadura	29
2.3.4 El pavimento.....	29
2.3.5 Estructura del pavimento	30
2.3.6 Tipos de pavimentos	31
2.3.7 Influencia de la capa de rodadura en el pavimento	34
2.3.8 Propiedades Reológicas de los materiales	35
CAPITULO III: METODOLOGÍA	36
3.1 Modalidad básica de la investigación.....	36
3.2 Tipo de investigación	36
3.3 Objeto de estudio.....	36
3.4 Descripción de la población y muestra	36
3.4.1 Tamaño de muestra.....	36

3.5 Materiales y Métodos	38
3.5.1 Proceso Metodológico para pavimento de Hormigón.....	38
3.5.1.1 Peso Volumétrico suelto y varillado para agregado fino y grueso. (ver Anexo 1.)	39
3.5.1.2 Densidades y Porcentaje de Absorción para agregado grueso. (ver Anexo 2.)	41
3.5.1.3 Densidades y Porcentaje de Absorción para agregado fino. (ver Anexo 3.)	42
3.5.1.4 Análisis granulométrico para agregado fino y grueso. (ver Anexo 4.).....	44
3.5.1.5 Desgaste de agregado grueso. (ver Anexo 5.)	45
3.5.1.6 Impurezas orgánicas en el agregado fino. (ver Anexo 6.)	46
3.5.1.7 Ensayo de densidad del cemento. (ver Anexo 7.).....	47
3.5.1.8 Método ACI para el diseño de mezclas de hormigón. (ver Anexo 8.).....	48
3.5.1.9 Relación Agua/Cemento (A/C).....	48
3.5.2 Diseño de Hormigones	50
3.5.2.1 Deposito de la Prefectura de El Oro Campamento Pedregal (Anexo 9.)	50
3.5.3 Proceso Metodológico para pavimento Asfáltico.	51
3.5.3.1 Granulometría de los áridos. (ver Anexo 10.)	51
3.5.3.2 Densidad relativa (Gravedad específica) de los áridos. (ver Anexo 11.).....	55
3.5.3.3 Densidad de materiales bituminosos. (ver Anexo 12.)	58
3.5.3.4 Extracción del cemento asfáltico. (ver Anexo 13.).....	60
3.5.3.5 Consistencia del cemento asfáltico. (ver Anexo 14.).....	62
3.5.4 Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall (Ver Anexo 15.)	64
3.5.4.1 Método Marshall.....	64
3.5.4.2 Resultados con cada porcentaje de asfalto.	70
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1 Análisis de resultados	71
4.2 Análisis del pavimento rígido vs el pavimento flexible (Elaboración).	71
4.3 Análisis del costo de la elaboración del pavimento rígido y pavimento flexible.	72
4.3 Análisis del costo de mantenimiento del pavimento rígido y pavimento flexible.	73
4.4 Análisis del costo-beneficio.	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	82

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Geomorfología de Machala	15
Tabla 2. Clasificación del suelo por su taxonomía.....	16
Tabla 3. Caracterización del suelo por textura de Machala	16
Tabla 4. Uso del suelo del Cantón Machala	17
Tabla 5. Precipitación anual del cantón Machala.....	18
Tabla 6. Estado de vías de primer orden de la provincia de El Oro	23
Tabla 7. Estado de las vías de segundo orden de la provincia de El Oro.....	24
Tabla 8. Estado de las vías de tercer orden de la provincia de El Oro	25
Tabla 9. Amenazas de movimientos en masa por nivel de riesgo con relación a cada orden jerárquico	26
Tabla 10. Estado de vías del Cantón Machala.....	27
Tabla 11. Vías Urbanas del Cantón Machala	36
Tabla 12. Valores de Z en función del nivel de confianza.....	37
Tabla 13. Ensayos para agregados gruesos.	38
Tabla 14. Ensayos para agregados finos.	39
Tabla 15. Tamices empleados para los ensayos	44
Tabla 16. Relación Agua / Cemento según la resistencia del hormigón	49
Tabla 17. Resultados Hormigón A/C 0,5	50
Tabla 18. Resultados Hormigón A/C 0,48	50
Tabla 19. Ensayos de laboratorio para pavimento asfáltico	51
Tabla 20. Tamices empleados para los ensayos	52
Tabla 21. Peso unitario del agua según su temperatura.	59
Tabla 22. Precisión y tolerancia según su temperatura.	59
Tabla 23. Relación entre valores de penetración.....	62
Tabla 24. Prueba de precisión.	63
Tabla 25. Resultados con cada porcentaje de asfalto	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Extensión territorial de Machala	14
Ilustración 2. Árbol de problemas	18
Ilustración 3. Mapa del estado de las carreteras de Ecuador.....	22
Ilustración 4. Material en vías de primer orden.....	24
Ilustración 5. Material en vías de segundo orden.....	25
Ilustración 6. Material en vías de tercer orden	26
Ilustración 7. Material de vías del Cantón Machala.....	28
Ilustración 8. Modelo estructural de referencia de pavimento	30
Ilustración 9. Estructura de referencia de un pavimento flexible.....	31
Ilustración 10. Estructura de referencia de un pavimento rígido	32
Ilustración 11. Estructura de referencia de un pavimento semirrígido.....	33
Ilustración 12. Estructura de referencia de un pavimento en adoquín	33
Ilustración 13. Escala normalizada de Gardner.....	46
Ilustración 14. Frasco de Chatelier para el ensayo de densidad.....	47
Ilustración 15. Resistencia a los 7 días relación A/C	49
Ilustración 16. Relación del costo-beneficio del pavimento flexible “sin proyecto”	73
Ilustración 16. Relación del costo-beneficio del pavimento flexible “con proyecto”	74
Ilustración 16. Relación del costo-beneficio del pavimento rígido “sin proyecto”	74
Ilustración 16. Relación del costo-beneficio del pavimento rígido “con proyecto”	75

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son el medio con mayor relevancia para el transporte terrestre de las personas, puesto que representan un factor principal para el desarrollo económico y social de un país (Shreyas, et al., 2020). Durante el tiempo de vida útil de una carretera, esta puede presentar algunos daños en la capa de rodadura, como grietas, desmoronamientos y erosión hídrica, lo que reduce exponencialmente la vida útil del pavimento (Mingjun, Lihan, & Fangxing, 2019). La elección del tipo de capa de rodadura y pavimento, es un tema de alto interés dentro de las entidades administrativas públicas, esto incluye elementos de ingeniería como materiales de buena calidad, mano de obra y el análisis de costo beneficio a largo plazo que sean factibles para el gasto público, incluyendo el proceso de construcción y mantenimiento de carreteras (Yavuz, 2020).

Machala es la ciudad capital de la provincia de El Oro, por lo que la necesidad del buen rendimiento de carreteras es fundamental para el flujo comercial y laboral. El desgaste y visible deterioro de la red vial de la ciudad de Machala, genera incomodidad entre la población. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial y de Desarrollo (POTD, 2019), el 59% de la red vial se encuentra en estado de necesidad de mantenimiento o restauración integral, debido al abandono de vías; este hecho degrada el paisaje urbano y la calidad de vida de los habitantes.

La presente investigación se encuentra estructurada por cuatro capítulos y conclusiones, en el primer capítulo se detalla toda la línea base del área de estudio, en este caso, la ciudad de Machala, así también, la descripción de la situación problemática, alcance y justificación de la investigación. El segundo capítulo representa las bases teóricas del estudio, como definiciones y conceptos relacionados, que permitirá la familiarización del objeto de estudio. En el tercer capítulo tenemos a la metodología, donde se define la modalidad de la investigación, la descripción de la población y muestra, los materiales y métodos a utilizar, así mismo, las técnicas para su ejecución. En el último capítulo y conclusiones, se analiza los resultados obtenidos de la investigación.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

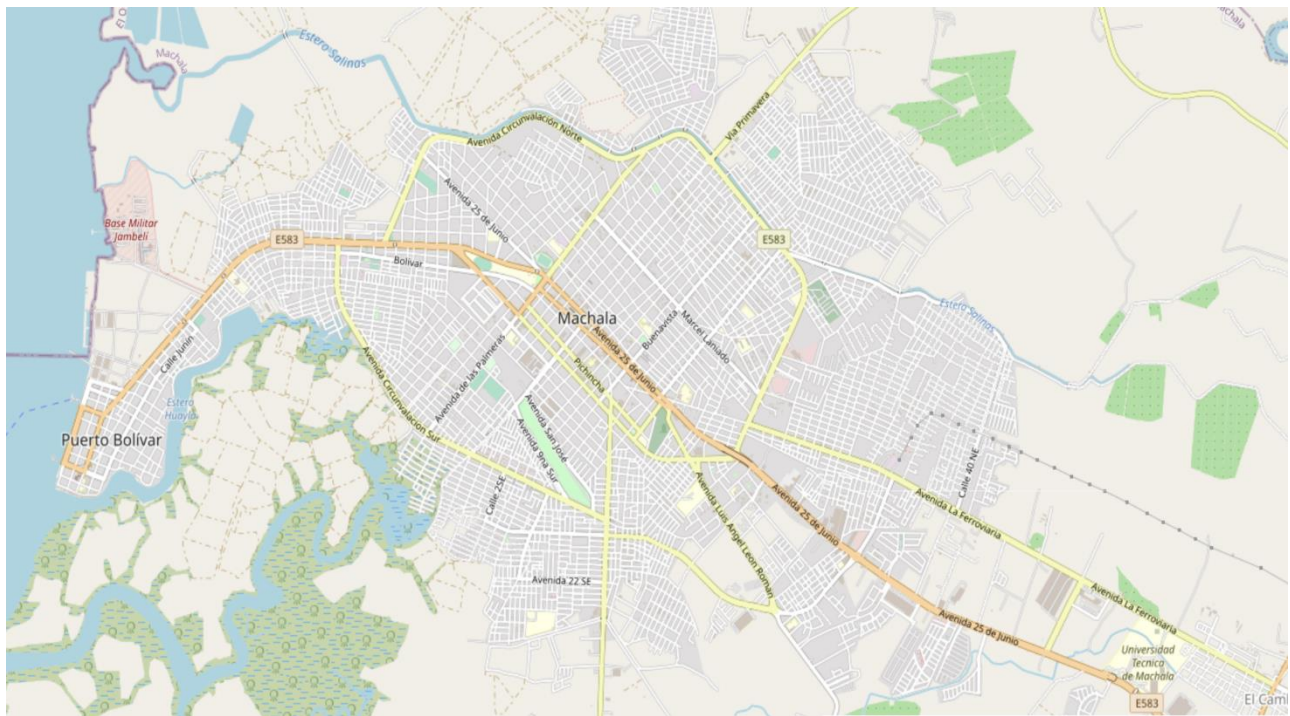
1.1 Antecedentes

1.1.1 Línea base del proyecto

Caracterización Territorial de Machala

La ciudad de Machala se ubica al sur oeste de la zona costera ecuatoriana, es la cabecera cantonal de la provincia de El Oro, su extensión territorial de 37.275.24 ha (Ilustración 1), se encuentra distribuida en 7 parroquias urbanas: Puerto Bolívar, Jambelí, Machala, Jubones, La Providencia, El Cambio y 9 de mayo, y una parroquia rural: El Retiro. Es uno de los más importantes centros administrativos, económicos, financieros y comerciales del Ecuador, según lo detalla el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (PODT, 2019).

Ilustración 1. Extensión territorial de Machala



Nota. La ilustración representa toda la extensión territorial de Machala. Tomado de *Open Street Map*, 2023.

De acuerdo con PODT (2019), la ubicación geográfica de Machala y su red vial hacen posible la conexión con otras ciudades del sur oeste del país, como Guayaquil, Cuenca, Milagro, Durán, Pasaje, y Huaquillas, asimismo, ciudades del norte de Perú.

Población

Machala es la ciudad más poblada de la provincia, según el último Censo de Población y Vivienda 2010, la población total era de 256.022 habitantes, sin embargo, de acuerdo con la proyección del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2020), la población de Machala para el año 2020 ascendió a aproximadamente 289.141 habitantes.

La zona urbana de Machala posee una población aproximada de 277.575 habitantes, lo que representa el 96% del cantón, y el área rural con el 4%.

Componente geomorfológico

Según el PODT (2019), el cantón Machala posee suelos abundantes con minerales y nutrientes, debido a su origen como llanura de depósito de materiales aluviales, transportados por redes fluviales. Otra de las características llamativas de estos tipos de suelos, es su fácil saturación por motivo de las épocas lluviosas y esto afecta de manera negativa a la población.

En la siguiente Tabla 1, se presentan las geoformas existentes en Machala, el área que ocupan y su porcentaje en relación con la superficie total del cantón.

Tabla 1. *Geomorfología de Machala*

Geomorfología	Áreas (Ha)	%
Llanuras aluviales de depositación	30.875,31ha	82,83 %
Nivel aluvial alto	442,09 ha	1,19 %
Terraza baja	60,14 ha	0,16 %
Terraza indiferenciada	424,36 ha	1,14 %
Zonas urbanas	3.694,59 ha	9,91 %
Cuerpos de agua	1.778,74 ha	4,77 %
Total	37.275,23 ha	100 %

Nota. La tabla representa la geomorfología de Machala y su porcentaje con relación a la superficie territorial del cantón. Tomado de *Instituto Geográfico Militar (IGM)/Sistema Nacional de Información (SNI) 2010.*

Con respecto al relieve, se caracteriza por ser plano, aproximadamente el 94,17 % del territorio se ubica entre 0 y 20 metros sobre el nivel del mar, este criterio favorece a la ejecución de actividades agropecuarias, debido a que la susceptibilidad a la erosión por escorrentía es baja.

Suelo

La información proporcionada por el PODT (2019), el suelo predominante en Machala es el entisol con 17.220,96 ha, el cual ocupa el 46,2% del territorio, precedido del inceptisol con 5.457,78, representando el 14,64% como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del suelo por su taxonomía

Taxonomía	Áreas (Ha)	%
Entisol	17.220,96 ha	46,2 %
Inceptisol	5.457,78 ha	14,64 %
No aplicable	12.817,75 ha	34,39 %
Cuerpos de agua	1.778,74 ha	4,77 %
Total	37.275,23 ha	100 %

Nota. La tabla representa la clasificación del suelo de Machala por su taxonomía y su porcentaje con relación a la superficie territorial del cantón. Tomado de IGM/SNI 2010.

Suelo por textura

La textura media predomina en el suelo del cantón Machala, teniendo una extensión de 8.377 ha, como se detalla en la Tabla 3, dicha característica es idónea para la producción de cultivos de suelos limo-arcillosos (PODT, 2019).

Tabla 3. Caracterización del suelo por textura de Machala

Textura	Áreas (Ha)	%
Fina	2.765,73 ha	7,42 %
Media	8.377,71 ha	22,48 %
Moderadamente gruesa	5.759,38 ha	15,45 %
Gruesa	5.776,08 ha	15,5 %
No Aplicable	12.817,59 ha	34,39 %
Cuerpos de agua	1.778,74 ha	4,77 %
Total	37.275,23 ha	100 %

Nota. La tabla representa la clasificación de la textura del suelo de Machala y su porcentaje con relación a la superficie territorial del cantón. Tomado de IGM/SNI 2010.

Uso de suelo

El uso del suelo de Machala se ve expuesto principalmente por las actividades agropecuarias con un 52.20%, seguido por las camaroneras con un 22.10%. Estas actividades y demás usos del suelo se muestran a Tabla 4.

Tabla 4. *Uso del suelo del Cantón Machala*

Cobertura y uso de suelo	2011	
	Áreas (Ha)	%
Arbórea/arbustiva	4.011,44 ha	10,8 %
Camaroneras	8.236,66 ha	22,1 %
Cuerpos de agua	1.778,74 ha	4,77 %
Otras tierras	0	0
Tierras agropecuarias	19.452,81 ha	52,2 %
Vegetación arbustiva y herbácea	0	0
Áreas urbanas	3.795,58 ha	10,2 %
Total	37.275,23 ha	100 %

Nota. La tabla representa la distribución territorial del uso de suelo de Machala y su porcentaje con relación a la superficie total del cantón. Tomado de *IGM/SNI* 2010.

Componente climático

De acuerdo con el Instituto Geográfico Militar (IGM) (2010, como se citó en PODT, 2019), la temperatura promedio al año de Machala oscila entre los 24 y 26 °C, a pesar de esto, las estadísticas climáticas de los últimos meses de 2019 y 2020, revelan que las temperaturas han incrementado los 30°C. Asimismo, la precipitación total anual, por su parte, en Machala fluctúa entre 0 a 1.250 mm como se describe en la Tabla 5.

Según detalla el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (2012, como se citó en PODT, 2019), la humedad relativa del cantón se establece que el período con menos humedad relativa se encuentra entre los meses de abril y mayo, mientras que durante el resto del año este parámetro se mantiene relativamente similar fluctuando entre el 64 y 87 %.

Tabla 5. Precipitación anual del cantón Machala

Rango de precipitaciones	Áreas (Ha)	%
250-500	30.875,31 ha	82,83 %
500-750	442,09 ha	1,19 %
7750-1000	60,14 ha	0,16 %
1000-1250	424,36 ha	1,14 %
Totales	37.275,23 ha	100 %

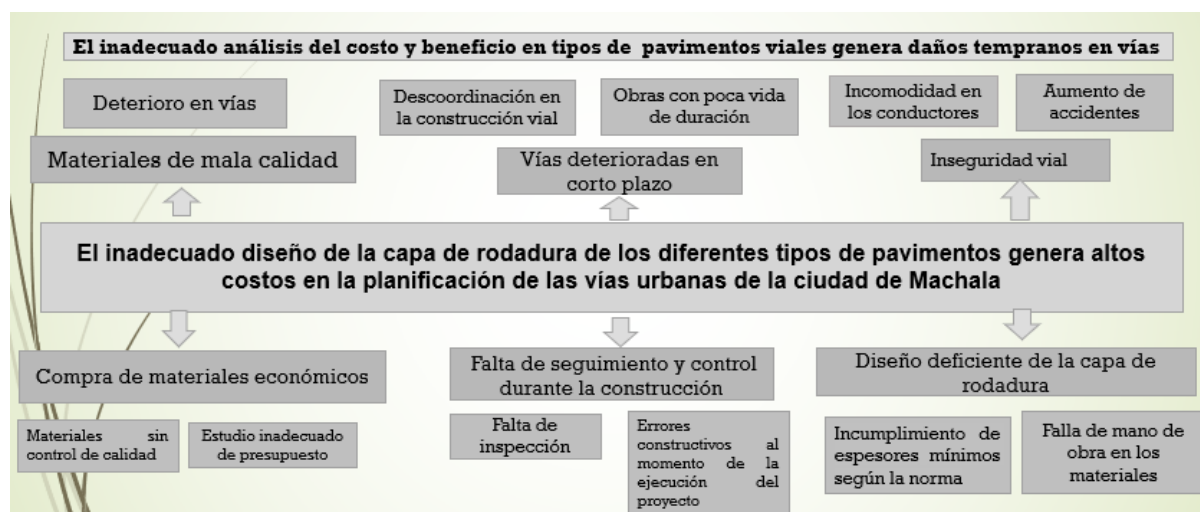
Nota. La tabla representa la precipitación anual del cantón Machala y su porcentaje con relación a la superficie total del cantón. Tomado de *Ministerio de Acuicultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) 2005, IGM/SNI 2010.*

1.2 Descripción de la situación problemática

Debido a la alta demanda de circulación vehicular, es importante tener en consideración la correcta construcción de obras de pavimentación. En Machala de acuerdo con el PODT (2019), el 59% de las carreteras se encuentran en mantenimiento debido a su rápido agrietamiento y deterioro, gracias a este hecho surge la problemática detallada en la Ilustración 2, donde se describen las causas y consecuencias de la incorrecta evaluación de obras de pavimentación e ineficiente análisis de costo beneficio de materiales y mano de obra para los trabajos viales.

1.2.1 Árbol de problemas

Ilustración 2. Árbol de problemas



Nota. La figura es una representación de causas y consecuencias de la problemática objeto de estudio. Fuente *Elaboración propia 2023.*

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Hipótesis

El GADM-Machala evalúa correctamente la obra en vías con respecto al costo-beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos.

1.3.2 Problema central

¿El inadecuado diseño de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos genera altos costos en la planificación de las vías urbanas de la ciudad de Machala?

1.3.3 Problemas complementarios

1er. Problema complementario:

¿Cuáles son los métodos teóricos adecuados para el correcto análisis de costo beneficio de la capa de rodadura de acuerdo con los distintos tipos de pavimento?

2do. Problema complementario:

¿Cuáles son las variables que inciden en el análisis del costo beneficio de la capa de rodadura en los distintos tipos de pavimentos en Machala?

3er. Problema complementario:

¿Cuáles son las alternativas indicadas para la evaluación exitosa del costo beneficio de la capa de rodadura en los distintos tipos de pavimentos en Machala?

1.4 Alcance del proyecto

Esta investigación pretende analizar el costo beneficio de la capa de rodadura en los diferentes tipos de pavimentos utilizados en la ciudad de Machala, para ello es necesario destacar los tipos pavimentos más utilizados para la construcción de carreteras en la ciudad, de acuerdo con PODT (2021), los materiales más usados son:

- Lastre (34%)
- Asfalto (54%)
- Hormigón (12,02%)
- Adoquín (0,13%)

1.5 Justificación

Machala es la ciudad más poblada de la provincia de El Oro, de acuerdo con el PODT (2019), el 59 % de la red vial en Machala se encuentra en estado de restauración y el 6,01 %, es decir,

69,81 km está en mal estado, esto implica un importante gasto público en la construcción y rehabilitación de carreteras.

Para la elección adecuada del tipo de capa de rodadura, es importante comprender el costo beneficio de una capa de rodadura, esto incluye apropiadas estrategias de construcción, mantenimiento y reparación. El análisis de este proceso es importante puesto que ayuda a determinar la equivalencia del diseño de la estructura del pavimento, el tiempo de ciclo de vida, y sobre todo elección correcta de tipo de pavimento.

Esta investigación busca proporcionar alternativas integrales para la elección y construcción de la capa de rodadura dentro de los diferentes tipos de pavimentos en Machala, mediante el análisis del costo beneficio de cada una de ellas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Elaborar un análisis comparativo mediante la evaluación del costo beneficio de la capa de rodadura en los diferentes tipos de pavimentos para determinar el óptimo a utilizar en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar los métodos y bases teóricas mediante una investigación exhaustiva para el adecuado análisis del costo beneficio de la capa de rodadura de acuerdo con los distintos tipos de pavimento.
- Realizar pruebas de laboratorio a través de la elaboración de ensayos, poniendo a prueba los distintos tipos de capa de rodadura que cumplan con la normativa establecida, para identificar la más adecuada a utilizar en Machala.
- Proporcionar alternativas y recomendaciones idóneas mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, para la correcta evaluación del costo beneficio de la capa de rodadura en los distintos tipos de pavimentos en Machala y evitar su deterioro a corto plazo.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes contextuales

Macro

Las carreteras son el principal medio conector de transporte terrestre a nivel global, cada país tiene sus preferencias en cuanto a material y tipo de construcción, estos factores varían gracias a las condiciones geográficas y climáticas que tengan, por ejemplo, los pavimentos flexibles representan cerca del 83% (57.744 millas) de toda la red vial pavimentada en EE. UU., seguido de Japón, aquel que tiene como longitud total de pavimento de concreto cerca de 34.744 millas. En el caso de Alemania, Bélgica y Suiza, el 20% de sus carreteras principales están hechas con hormigón, porcentaje el cual aumenta cada año, algo muy parecido a las carreteras de Francia, donde el pavimento de hormigón armado continuo cuenta con 600 km de carreteras (Shreyas, et al., 2020).

La infraestructura de transporte terrestre del Ecuador presenta dificultades importantes, a pesar de que, en términos de longitud de vías pavimentadas, extensión de red vial nacional, puertos y aeropuertos, el país consta con niveles promedios en comparación con otros países de la región. Las carreteras son el medio más importante dentro del transporte interno, a diferencia del transporte ferroviario y fluvial, aquellos que están limitados a pequeñas áreas del territorio nacional (Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, 2022).

De acuerdo con el MTOP (2022), la red vial nacional tiene una longitud aproximada de 42.670 km, aquella que no se ha extendido desde 1992, donde 8.654 km se encuentra bajo la responsabilidad del Gobierno Nacional y posee el 74% con pavimento; 12.477 km forma parte de la red provincial encargada de los Consejos Provinciales y aquella extensión tiene el 9,2% pavimentada; y el 22.540 km perteneciente a la red cantonal a cargo de los Consejos Municipales, tiene tan solo el 2% pavimentado.

Se puede concluir que el 36% de la red vial estatal y provincial se encuentra con pavimento, y aproximadamente el 52% de la red vial nacional está conformada por caminos terciarios y vecinales ubicados en la región Sierra con condiciones subóptimas para el tránsito vehicular como se presenta en la Ilustración 3, y las redes con mejores condiciones están en su mayoría dentro de la región Costa.

El nivel de servicio vial se encuentra estrechamente relacionada con las características de la capa de rodadura, aquella comprende del tipo de acabado de la superficie, esta es una estructura elemental de una carretera para permitir el correcto flujo vehicular. Una de las características estructurales de la capa de rodadura en las redes viales del Ecuador es el ancho de esta

superficie, aquella que cerca del 70% son caminos de hasta 5m de ancho, este factor dificulta el flujo continuo de vehículos pesados en dos carriles.

Ilustración 3. *Mapa del estado de las carreteras de Ecuador*



Nota. La ilustración representa el estado actual de las principales carreteras del Ecuador. Tomado de *Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2022*.

Meso

La red vial de la provincia de El Oro está constituida por 3.180,92 km de acuerdo con Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP (2002, como se citó en Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de El Oro, 2021), donde se incluyen vías estatales, corredores arteriales y vías colectoras.

Dentro de las vías principales se encuentran:

- E25 Troncal de la Costa
- E50 Transversal Sur

Corredores arteriales:

- E59 Cumbe – Y de Corralitos
- E583 Puerto Bolívar – Y del Cambio
- E584 Pasaje – Y del Enano
- E584A Santa Rosa – Bellamaria
- E585 Y de Pasaje – Piñas – Y de Zaracay
- E585A Atahualpa – Ayapamba-Piñas

El material predominante en la construcción de las vías principales de la provincia es el asfalto, según lo indica el (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2021). Del mismo modo, la jerarquización vial de la provincia se encuentra caracterizada según el servicio que provee a los poblados y su extensión, de esta manera, las vías con mayor prestación de servicios y conexión con centro con alto índice poblacional tienen mayor jerarquía.

Las vías de primer orden representan el 26, 63% de la red vial de la provincia, con una longitud de 842,25 km, estas conectan a las infraestructuras públicas más relevantes, en conjunto con las principales ciudades de la provincia.

De acuerdo con la Tabla 6, el 63% de las vías se encuentran en estado regular, lo que representa 842,25 km, el 28% está en buen estado, siendo esto 233,10 km, y el 9% no presentan buen estado, lo que significa 79,20 km con relación a la cobertura total de las vías de primer orden (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2021).

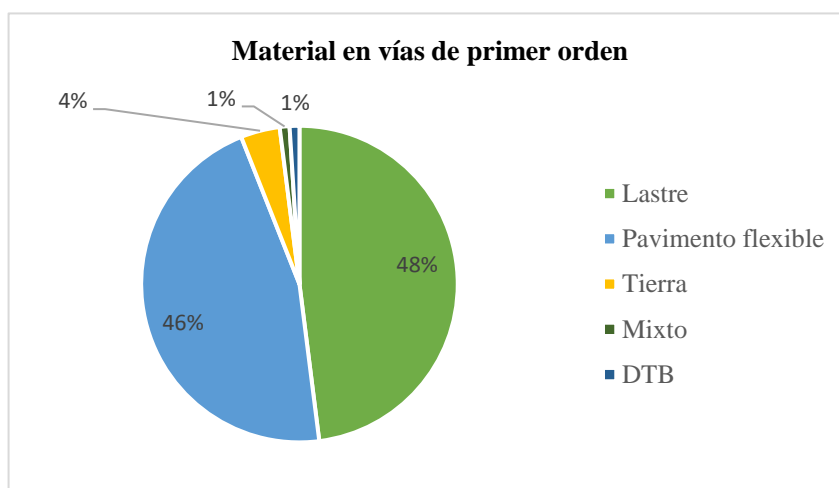
Tabla 6. Estado de vías de primer orden de la provincia de El Oro

Estado	Longitud (km)	%
Bueno	233,10 km	28 %
Malo	79,20 km	9 %
Regular	529,95 km	63 %
Total	842,25 km	100 %

Nota. La tabla representa el estado de las vías de primer orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

Respecto al material utilizado en las vías de primer orden, como se detalla en la Ilustración 3, predomina el lastre con el 48%, seguido del pavimento flexible con el 46%.

Ilustración 4. Material en vías de primer orden



Nota. La ilustración representa el material de las vías de primer orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

En relación con las vías de segundo orden, aquellas que suman el total de 517,11 km, lo que representa el 16,35%. Estas vías enlazan a territorios urbanos con rurales, además de ser vías conectoras de la red de primer y tercer orden.

De acuerdo con GAD Provincial de El Oro (2021), como se representa en la Tabla 7, el 63% de estas vías se encuentran en estado regular, lo que suma un total de 327,04 km, seguido de las vías en buen estado con 133,6 km representando el 26%, y las vías en mal estado figuran el 11%, es decir, 57,42 km de la extensión vial.

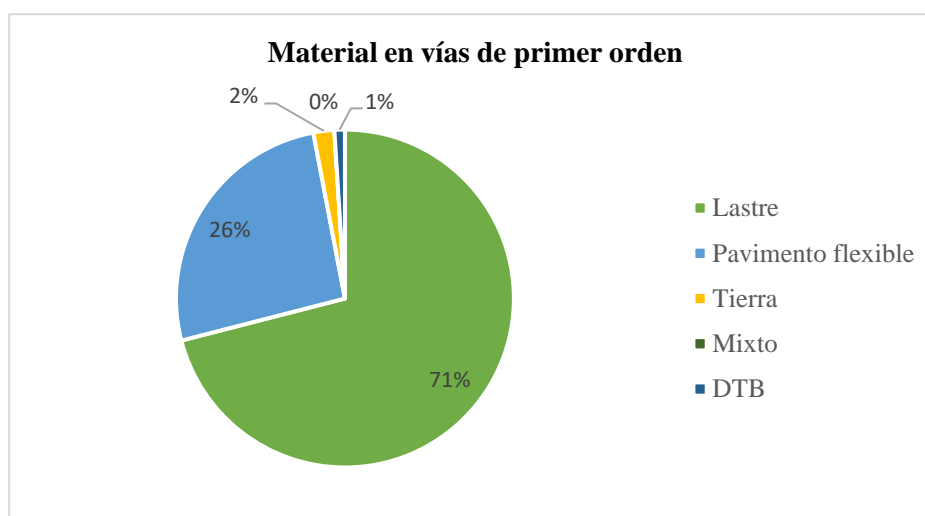
Tabla 7. Estado de las vías de segundo orden de la provincia de El Oro

Estado	Longitud (km)	%
Bueno	233,10 km	28 %
Malo	79,20 km	9 %
Regular	529,95 km	63 %
Total	842,25 km	100 %

Nota. La tabla representa el estado de las vías de segundo orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

Referente al material de las vías de segundo orden (Ilustración 5), al igual que las de primer orden, el lastre es el material predominante en su construcción, representando el 71%, seguido del pavimento flexible con el 26% de todo el territorio vial.

Ilustración 5. Material en vías de segundo orden



Nota. La ilustración representa el material de las vías de segundo orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

Las vías de tercer orden representan una longitud total de 1.821,56 km, es decir, el 57,60% de la red vial de la provincia es de tercer orden, aquellas que corresponden a zonas rurales. Como se detalla en la Tabla 8, el 71% de las vías de tercer orden se encuentran en estado regular, el 24% en mal estado y tan solo el 5% de la totalidad de las vías de tercer orden tienen buen estado.

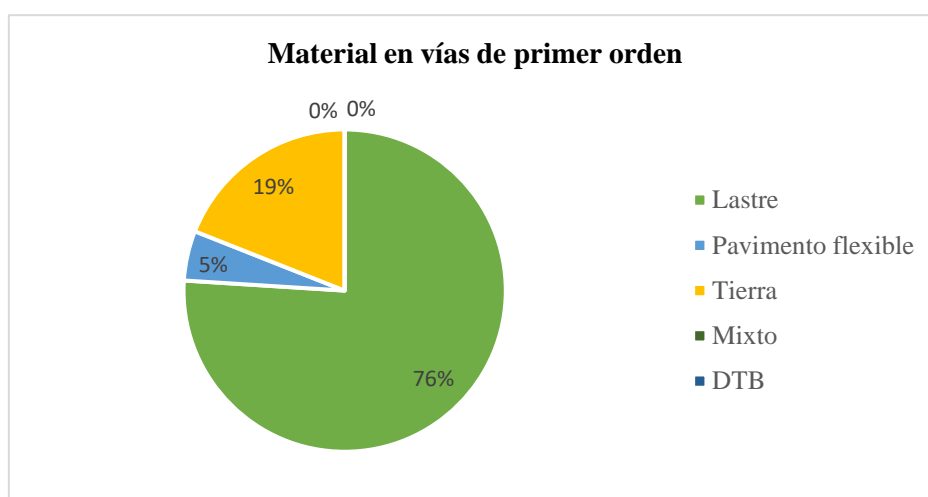
Tabla 8. Estado de las vías de tercer orden de la provincia de El Oro

Estado	Longitud (km)	%
Bueno	87,58 km	5 %
Malo	444,28 km	24 %
Regular	1289,70 km	71 %
Total	1821,56 km	100 %

Nota. La tabla representa el estado de las vías de tercer orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

La Ilustración 6 detalla los materiales que se ha utilizado para la construcción de las vías de tercer orden, el material que predomina en la red vial de tercer orden es el lastre, lo que representa el 76,1%, el segundo material mas usado para la construcción de las vías de tercer orden es la tierra ocupando el 18,8%, y el pavimento flexible representa el 5,1% de la red se tercer orden.

Ilustración 6. Material en vías de tercer orden



Nota. La ilustración representa el material de las vías de tercer orden de la provincia de El Oro. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

Es importante tener en consideración los niveles de exposición a desastres naturales de la red vial de la provincia para la previa estrategia de construcción. En este caso, en la Tabla 9 se describen los niveles de riesgo de movimientos en masa con un rango de 1 a 5, siendo 1 riesgo bajo y 5 muy alto riesgo, en relación con el nivel jerárquico de las vías.

Tabla 9. Amenazas de movimientos en masa por nivel de riesgo con relación a cada orden jerárquico

Nivel	Riesgo	Longitud Vía 1er orden	Longitud Vía 2do orden	Longitud Vía 3er orden	Total	%
1	Bajo	222.756 km	164.248 km	689.413 km	1.076.417 km	32,4%
2	Regular	221.966 km	123.907 km	464.547 km	810.420 km	24,4%
3	Medio	199.613 km	94.142 km	290.622 km	584.377 km	17,6%
4	Alto	211.674 km	92.693 km	256.739 km	561.106 km	16,9%
5	Muy Alto	126.264 km	42.120 km	120.061 km	288.445 km	8,7%
Total		982.273 km	517.110 km	1.821.382 km	3.320.765 km	100%
%		29,58 %	15,57%	54,85%	100%	

Nota. La tabla representa el nivel de riesgo de la red vial de la provincia de El Oro de acuerdo con su orden jerárquico. Tomado de *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro 2021*.

Micro

De acuerdo con el PODT (2021), la red vial cantonal de primer orden de Machala conecta con cantones como Pasaje, Santa Rosa y El Guabo, esta cuenta con carreteras pavimentadas en distancias relativamente cortas que permite la conectividad intercantonal teniendo como referencia que esta red es principalmente estatal.

Diversos estudios viales determinan que 565,53 km son vías urbanas dentro de Machala, ocupando el 57,19 % del territorio del cantón, cuyas características varían de acuerdo con la trama urbana de la ciudad, en contraste con esto, tenemos al 42,81% que corresponde a vías rurales y de camino al área urbana, estas se denominan caminos de verano, senderos o veredas, lo que suele afectar la conexión rápida interna entre sitios y los principales centros de abastecimiento.

Con relación al estado de las vías, el PODT (2021), como se detalla en la Tabla 10, el 86,03% de la extensión vial no tiene información de su estado actual; el 6,01%, lo que representa 69,81km se encuentra en malas condiciones; el 4,54%, o sea 52,78km esta en buen estado; y el 1,54% tiene esta regular.

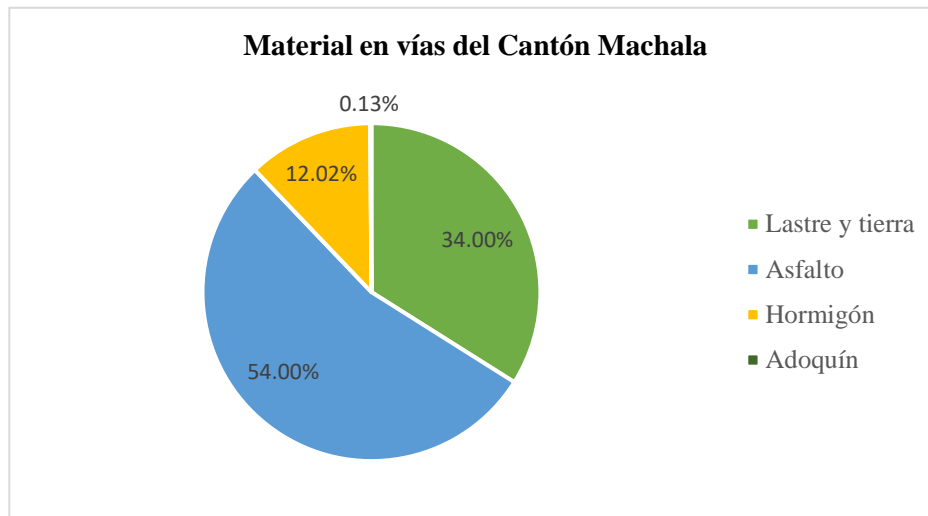
Tabla 10. Estado de vías del Cantón Machala

Estado	Longitud (km)	%
Muy Bueno	21,82 km	1,88 %
Bueno	52,78 km	4,54 %
Regular	17,83 km	1,54 %
Malo	69,81 km	6,01 %
Sin información	999,02 km	86,03 %
Total	1161,25 km	100 %

Nota. La tabla representa el estado de la red vial del cantón Machala. Tomado de *Estudio Vial Machala 2011 como se citó en GAD Municipal de Machala/PODT 2021*

El total de kilómetros que integran la red vial de Machala que se encuentran dentro del área urbana es de 565,53 km, En la Ilustración 7, se describe el tipo de material utilizado para la construcción de las carreteras, donde predomina el asfalto con 304,12 km, es decir, el 54%; seguido del lastre y la tierra con 192,69 km, lo que representa el 34 %; y el 12,02% (68km) son de hormigón.

Ilustración 7. Material de vías del Cantón Machala



Nota. La ilustración representa el material de las vías del cantón Machala. Tomado de *GAD Municipal de Machala/PODT 2021*

Referente a las vías sin información disponible, es decir, el 37,33% (433,49 km), corresponde a caminos vecinales, senderos o veredas con capas de rodadura deterioradas y en malas condiciones.

2.2 Antecedentes históricos

La red vial nacional que existe actualmente en el país es el resultado del mejoramiento progresivo de antiguos caminos precarios, propios de épocas coloniales con diferentes características dependiendo de la región; como la difícil orografía de la región sierra, la zona pantanosa sinuosa de la Costa y Oriente; aquellos que tuvieron su construcción inicial de forma manual a partir de diseños y trazados empíricos, los que en su mayoría eran caminos de herradura, que enlazaban a las principales ciudades del país.

En Ecuador el paso de fenómenos naturales ha tenido incidencia directa en la infraestructura vial nacional en las últimas décadas, uno de ellos fue el fenómeno del Niño en 1998 y el terremoto de 7.8 grados de magnitud, las carreteras fueron el segundo componente con más impacto negativo, en términos de pérdidas económicas se registró cerca de \$930 millones, lo que significó una inversión de \$244 millones para su reconstrucción (Ministerio de Transporte y Obras Públicas , 2022).

En épocas pasadas, antes de que el flujo de vehículos se convirtiera en lo más habitual, los caminos adoquinados eran con frecuencia los más utilizados para los medios de movilización con animales y tráfico peatonal.

2.3 Antecedentes conceptuales

2.3.1 Capa de rodadura

Se entiende como capa de rodadura a la capa superficial del pavimento, compuesta por diversas mezclas bituminosas, cuyo rol mantener en óptimas condiciones la estructura del pavimento ante posibles daños provocados por las condiciones climáticas, filtración de agua y carga vehicular (Shreyas, et al., 2020).

2.3.2 Características necesarias en una capa de rodadura

La estructura de la capa de rodadura es una de las características más relevantes al momento de calificar la calidad de servicio vial de una carretera, puesto que la mayoría de los impactos en la carreta suceden en la capa superficial, dicha característica forma parte de una estructura vial de nivel superior, lo que corresponde a caminos pavimentados. La capa de rodadura puede tener tratamientos simples, doble tratamiento, asfalto de menos o más de 8 cm, o de hormigón (Suyuti, et al., 2019).

De acuerdo con Kareem & Albayati (2022), un requisito fundamental para evaluar el tipo de construcción de la capa de rodadura es el tránsito vehicular, esencialmente si se trata del flujo de vehículos pesados, esto determinará el diseño de la capa de rodadura, sin embargo, las condiciones mínimas que debe tener la superficie de una capa de rodadura deben corresponder a una estructura de tierra mejorada, para el tráfico medio de 50 vehículos por día.

En el mismo contexto (Mashaan, 2022), asume que la estabilidad estructural de la carretera generalmente es proporcionada por el pavimento incorporado de piedra triturada y rocas de tamaños convenientes compactados por material aglutinante.

2.3.4 El pavimento

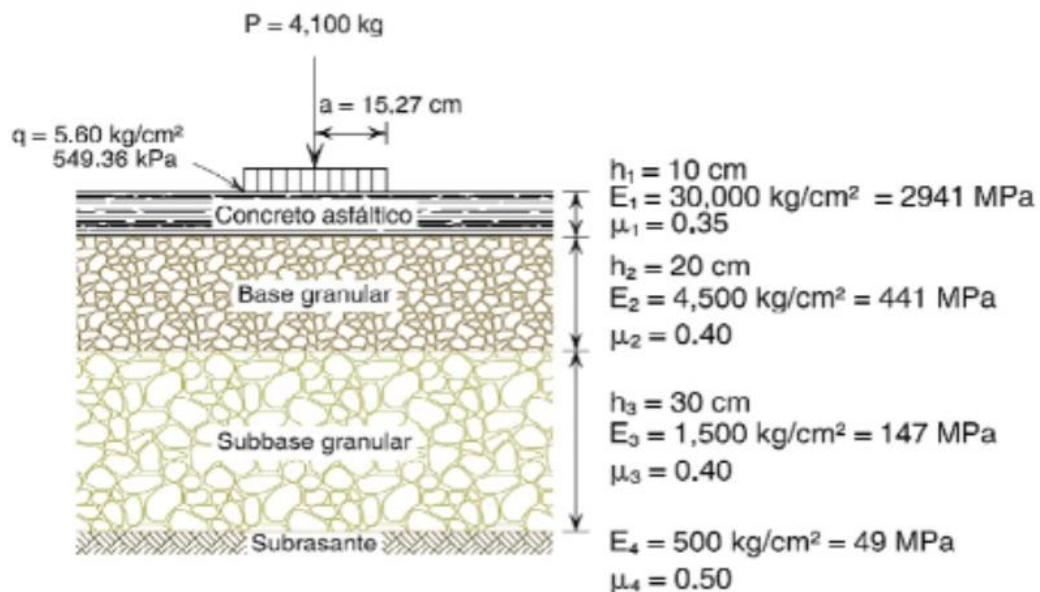
El pavimento es la superficie de viaje terrestre con una composición específica para ser duradera, proporciona fricción a los vehículos generando comodidad al conductor (Trujillo, 2023)

El pavimento de carretera es una estructura que se compone de capas superpuestas de materiales procesados colocados sobre la capa subrasante del suelo natural, donde su función principal es la distribución de la carga aplicada por el tránsito vehicular (Kumar, 2017).

2.3.5 Estructura del pavimento

Es conocido que la estructura general del pavimento este compuesto por una capa superficial conocida como capa de rodadura o de desgaste, la capa base integrada de grava y piedras trituradas, la capa subbase de material granular selecto y la subcapa compuesta del suelo natural como se detalla en la Ilustración 8 (Mashaan, 2022).

Ilustración 8. Modelo estructural de referencia de pavimento



Nota. La ilustración representa un modelo estructural de referencia de un pavimento común. Tomado de *Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials* por Yu, et al., 2020.

El pavimento esta continuamente sometido a cargas de tráfico vehicular y condiciones ambientales a lo largo de su vida útil, esto genera la necesidad de su mantenimiento (Muhammad & Arshad, 2019). La estructura del pavimento debe tener la capacidad de brindar una buena experiencia de conducción, resistencia al deslizamiento en términos adecuados, particularidades reflectivas idóneas, y baja contaminación acústica (Kartika, Hadiwardoyo, & Sumabrata, 2019).

De acuerdo con (Prayogo, Suherman, & Khairini, 2020), los ingredientes principales que componen la estructura del pavimento, es el material pétreo, como arena y adhesivos. Se estima que las carreteras de hormigón son más factibles que las carreteras bituminosas en cuestión de alta demanda de flujo vehicular (Radević, et al., 2020). En base a costos la desventaja de la

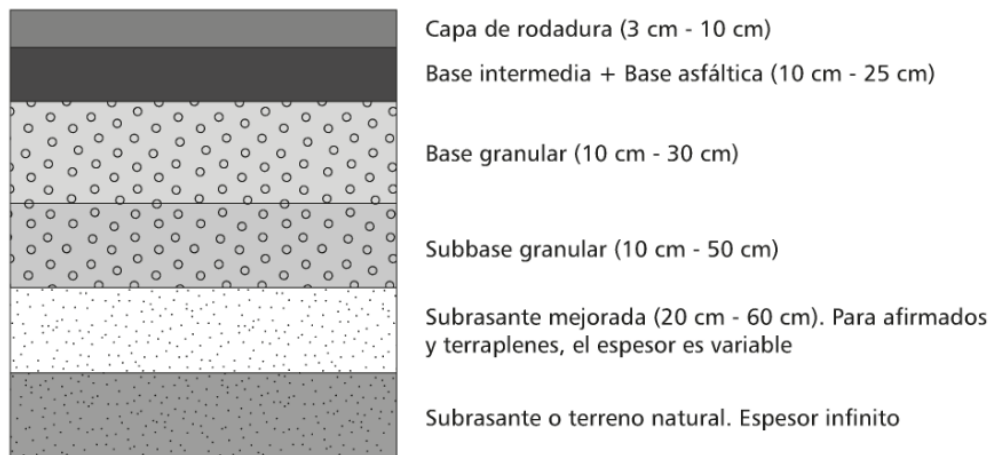
estructura de un pavimento de hormigón es que el costo inicial es mayor en un 14 a 60% en comparación con la capa flexible (Yu, et al., 2020).

2.3.6 Tipos de pavimentos

Pavimentos asfálticos o flexibles

El pavimento que tiene a la mezcla asfáltica en caliente como material principal en su composición, se lo clasifica como pavimento flexible, este también puede contener aglutinante bituminoso y huecos de aire (Ilustración 9), es necesaria esta combinación para que el pavimento sea resistente al tráfico y condiciones ambientales durante todo su ciclo de vida (Muhammad & Arshad, 2019).

Ilustración 9. Estructura de referencia de un pavimento flexible



Nota. La ilustración representa un modelo estructural de referencia de un pavimento común. Tomado de *Pavimentos: materiales, construcción y diseño* por Rondón, A 2020.

Los pavimentos flexibles presentan varios beneficios a nivel de costo-beneficio, como la alta calidad que brinda al flujo vehicular y su facilidad de construcción, sin embargo, se deben considerar factores como costos de mantenimiento, en contraste con este punto, los pavimentos de concreto pueden resultar más económicos (Hoang, et al., 2022). El asfalto tiene alta demanda para la construcción de carreteras a nivel global, esto significa un gran reto para su duración (Erman & Al-Qadi, 2022).

El deterioro temprano en la mezcla asfáltica es causado por el ahuellamiento con deformación por corte y densificación, debido a esto se produce el aumento de volumen en el hormigón asfáltico, este tipo de deformación se conoce como flujo plástico o de corte, dicha deformación genera la separación en el nexo del agregado y el aglutinante (Lantieri, et al., 2022).

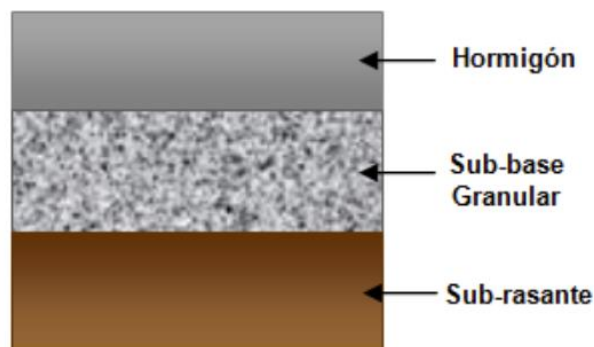
Consecuentemente, cuando se valoran estas deformaciones, es primordial tener especial atención en su desempeño de dilatación y corte, y donde la viscosidad aumenta según la tasa de deformación por corte. Esta clase de deformaciones permanentes por corte son un factor importante de pérdida de la calidad de servicio en el tránsito vial, lo que podría provocar problemas de seguridad (Muhammad & Arshad, 2019).

Pavimentos rígidos o de hormigón

El pavimento de hormigón generalmente se encuentra hecho de hormigón de cemento Portland (PCC) como se muestra en la Ilustración 10. Se utiliza este tipo de pavimento en escenarios específicos debido a su durabilidad, por ende, promueve un ciclo de vida prolongado, asimismo, proporcionan alta visibilidad durante las noches, y pueden ser construidos en suelos no tratados. Debido a estas características son de preferencia en carreteras y aeropuertos de todo el mundo, sobre todo si se trata de tráfico vehicular pesado (Tumpu, et al., 2020).

Este tipo de pavimentos también tienen sus complicaciones, como su baja resistencia a la tracción, vulnerabilidad ante la temperatura, no son biodegradables, alto costo inicial de construcción y la emisión altas concentraciones de gases de efecto invernadero, adicional a esto, se ha demostrado que ofrecen baja calidad en la conducción (Shreyas, et al., 2020).

Ilustración 10. Estructura de referencia de un pavimento rígido

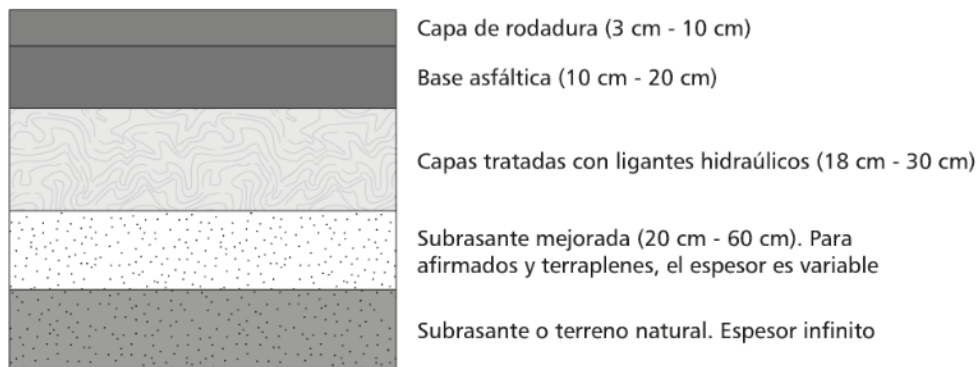


Nota. La ilustración representa un modelo estructural de referencia de un pavimento rígido. Tomado de *Pavimentos: materiales, construcción y diseño* por Rondón, A 2020.

Pavimento semirrígido

El pavimento semirrígido consiste en la superposición de una capa bituminosa sobre otra capa base químicamente preparada como se observa en la Ilustración 11 (Pérez, et al., 2021). Este tipo de pavimentos no son muy comunes, debido a su alto costo de construcción y análisis complejos que conllevan (Shreyas, et al., 2020).

Ilustración 11. Estructura de referencia de un pavimento semirrígido

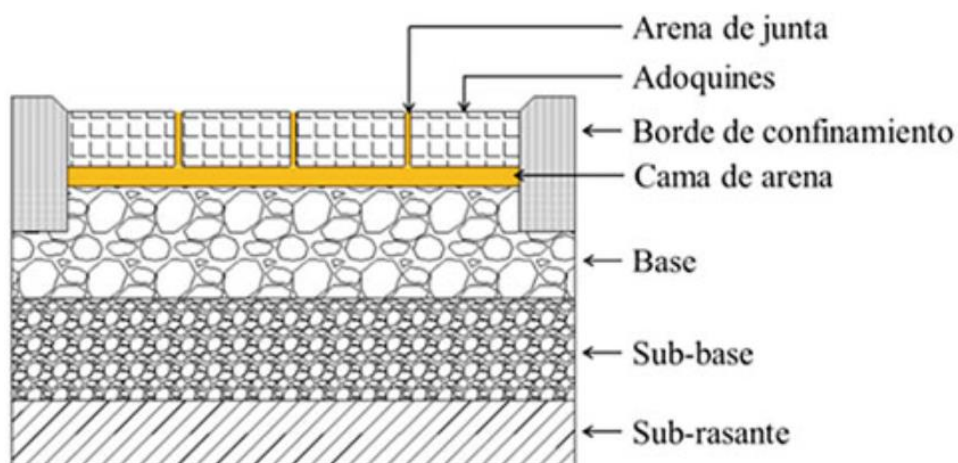


Nota. La ilustración representa un modelo estructural de referencia de un pavimento semirrígido. Tomado de *Pavimentos: materiales, construcción y diseño* por Rondón, A 2020.

Pavimentos articulados o en adoquín

Los pavimentos articulados o en adoquín están constituidos en su base superficial por piedras (Ilustración 12), obtenidas principalmente de canteras, son conocidos por su durabilidad y estética, su uso data de hace cientos de años, donde fueron ampliamente utilizados antes de la incorporación masiva de los pavimentos modernos de asfalto y hormigón. La resistencia de este tipo de pavimento varía según el tipo de piedra utilizada en su construcción, estas pueden ser de granito, basalto, piedra caliza, arenisca y adoquines (Fiorentini, Huang, Cuciniello, Leandri, & Losa, 2023).

Ilustración 12. Estructura de referencia de un pavimento en adoquín



Nota. La ilustración representa un modelo estructural de referencia de un pavimento en adoquín. Tomado de *Pavimentos: materiales, construcción y diseño* por Rondón, A 2020.

2.3.7 Influencia de la capa de rodadura en el pavimento

La mayoría de los pavimentos muestran deterioro en su capa de rodadura por agrietamiento, blandura, y deformación luego de los 3 a 5 años de uso, esto conlleva a la disminución de su vida útil, lo que disminuye de manera importante sus características de desempeño, como estabilidad a temperaturas altas y la resistencia a la humedad y deslizamiento, este deterioro también plantea graves amenazas a la comodidad y seguridad al tráfico vial (Bunga, Rachman, & Selintung, 2019).

El fallo prematuro de los pavimentos frecuentemente es generado por la presencia de agua y humedad en la capa de rodadura, puesto que provoca la separación de la base aglomerante asfáltica de la capa de rodadura, siendo la reducción en la resistencia del pavimento el impacto directo (Muhammad & Arshad, 2019). Este tipo de fallas son producto de diversos tipos de factores como la incorrecta mezcla asfáltica y agregados, conjunto a esto es importante destacar el estado de tensión y deformación causados por la carga del tráfico, puesto que este punto también afecta de forma significativa en el rendimiento del pavimento (Zhu, et al., 2022).

Este tipo de daños traen consigo el agrietamiento por fatiga, surcos, avería por humedad y agrietamiento térmico, entre estos, el ahuellamiento es un problema de interés en la capa de rodadura de pavimentos flexibles, debido al uso no lineal y viscoso de las mezclas asfálticas, esto se puede prevenir si se incorporan agregados angulares finos y gruesos, y los espacios de aire no son inferiores al 3,0% (Nouman, Maqbool, Ali, & aleem, 2022).

Hasta el momento, uno de los tratamientos preventivos de mantenimiento mayormente aplicados es la capa de rodadura ultrafina, aquella que consiste en una capa asfáltica que mejora la suavidad de la zona superficial del pavimento y su utilidad antideslizante, al mismo tiempo reduce el ruido y da mantenimiento a daños leves del pavimento, como grietas, y ligeros surcos de menos de 15mm (Cui, Cai, Tang, & Huang, 2020).

Según Yu, et al., (2022), la opción de la capa rodadura ultrafina como mantenimiento preventivo en el asfalto resulta económico gracias a su espesor que suele ser menor a 25mm, en contraste con el espesor del pavimento asfáltico usual de aproximadamente 40 a 40mm, lo que significa que la capa de rodadura ultrafina ahorra en costos de material de mantenimiento entre el 30 al 40%.

2.3.8 Propiedades Reológicas de los materiales

La reología es la ciencia que estudia la deformación de los materiales bajo tensiones aplicadas en otras palabras representa a como los materiales se comportan a fuerzas ejercidas en sí y a su vez entiende el comportamiento del mismo.(Gupta, 2022)

Debido a su impacto en la resistencia, la estabilidad y la durabilidad de las mezclas asfálticas, las propiedades reológicas de los agregados en los pavimentos están relacionadas con la calidad del pavimento. Las propiedades reológicas de los agregados y su relación con la calidad de los pavimentos están influenciadas por:

- Adhesividad del agregado grueso

Debido al rozamiento interno entre las partículas, la adhesividad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral, lo que contribuye a la resistencia del pavimento.

- Angulosidad del agregado grueso:

Esta mejora la resistencia del pavimento porque crea rozamiento entre las partículas y ayuda a que las partículas permanezcan en su lugar cuando el pavimento comienza a funcionar.

- Tamaño del agregado:

El tamaño del agregado es crucial para cumplir con las demandas de su disposición final.(Padilla Rodríguez, 2004)

- Comportamiento térmico y mecánico:

El comportamiento térmico y mecánico del pavimento está relacionado con las propiedades reológicas de los agregados y las mezclas asfálticas, lo que tiene un impacto en la resistencia a la fatiga y la propagación de grietas.(Medina et al., 2020)

- Modificación con polímeros:

Las propiedades reológicas del asfalto pueden mejorarse con la adición de polímeros a los agregados, lo que resulta en una mezcla asfáltica más resistente y duradera.(*Investigación Reológica Del Asfalto y El Betún | Anton Paar Wiki*, n.d.)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Modalidad básica de la investigación

En este trabajo se aplicará una modalidad investigativa y experimental, puesto que se analizará y se comparará de forma cuantitativa el costo-beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos.

3.2 Tipo de investigación

El presente trabajo se centra en analizar la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos, con el fin de identificar el costo-beneficio del mismo, además presenta un tipo de carácter comparativo, a través de los diferentes resultados obtenidos en ensayos de laboratorios.

3.3 Objeto de estudio

El objeto de estudio es la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

3.4 Descripción de la población y muestra

3.4.1 Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño mínimo de muestra el cual será parte del objeto de estudio de este trabajo, se considera una población o universo aproximado de 565.53 km (57.19%) de vías urbanas en la ciudad de Machala, el cual está constituido por 68 km (12.02%) de pavimento rígido y 304.12 km (53.77%) de pavimento flexible. La información fue obtenida del plan de ordenamiento territorial del cantón Machala del 2019-2030.(GAD Machala, 2022)

Tabla 11. *Vías Urbanas del Cantón Machala*

Tipo de pavimento	Longitud (km)	%
Hormigón	68 km	12,02 %
Asfalto	304,12 km	53,77 %
Adoquinado	0,73 km	0,13 %
Lastre	192,69 km	34,07 %
Total	565,53 km	100 %

Nota. La tabla representa los tipos de pavimentos del cantón Machala. Tomado de *Estudio Vial Machala 2011 como se citó en GAD Municipal de Machala/PODT 2021*

Para determinar la muestra “n”, se utilizará la siguiente ecuación 1 en la cual se indica los parámetros que se deben considerar que se muestra a continuación.

$$n = \frac{N * Za^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Za^2 * p * q} \quad (1)$$

Tabla 12. Valores de Z en función del nivel de confianza

Nivel de confianza	Z alfa
99,70%	3
99,00%	2,58
98,00%	2,33
96,00%	2,05
95,00%	1,96
90,00%	1,645
80,00%	1,28
50,00%	0,674

Nota. La tabla representa el valor de Z en función del nivel de confianza Fuente: (De et al., 2020).

Para “N” que es el universo.

Para “Za”, que es un valor que se encuentra en función al nivel de confianza se tomará 1.96, dado que nuestro nivel de confianza es del 95% tal como lo muestra en la tabla 10.

Para “e”, que es el error asumido, se tendrá en cuenta un 5%.

Para “p”, que es la probabilidad de que ocurra el evento, como no se tiene información exacta, se asume un valor del 50%.

Para “q”, que es (1-p) al ser la probabilidad de que no ocurra dicho evento, se tiene un 50% también.

Se realizará el cálculo del tamaño mínimo de muestra con los 2 tipos de pavimentos que se sitúan en las vías urbanas de la ciudad de Machala.

- Pavimento de Hormigón:

N = 68 km

$$n = \frac{68 * 1,96^2 * 50 * 50}{5^2 * (68 - 1) + 1,96^2 * 50 * 50}$$

$$n = 9,98 \text{ km}$$

- Pavimento de Asfalto:

N = 304,12 km

$$n = \frac{304,12 * 1,96^2 * 50 * 50}{5^2 * (304,12 - 1) + 1,96^2 * 50 * 50}$$

$$n = 44,62 \text{ km}$$

Se considerará un tamaño de muestra referencial sobre el casco central de la ciudad de Machala en la calle Marcel Laniado y Buenavista hasta Arizaga y Buenavista de aproximadamente 1 km la cual está conformada por pavimento rígido y flexible.

3.5 Materiales y Métodos

3.5.1 Proceso Metodológico para pavimento de Hormigón.

Ensayos en laboratorio de los materiales agregados finos y gruesos, usando la guía de prácticas según la norma INEN para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Ensayos aplicados a los agregados y cemento:

- Agregados Gruesos

Tabla 13. *Ensayos para agregados gruesos.*

Agregados Gruesos	
Ensayo	Norma
Peso volumétrico suelto y varillado de la grava	INEN – 858
Densidades y porcentajes de absorción	INEN – 857
Análisis Granulométrico	INEN - 696
Porcentaje de Desgaste	INEN - 860

Nota. La tabla es representación de los ensayos para agregados gruesos. Fuente *Elaboración propia* 2024.

- Agregados Finos

Tabla 14. *Ensayos para agregados finos.*

Agregados Finos	
Ensayo	Norma
Peso volumétrico suelto	INEN – 858
Densidades y porcentajes de absorción	INEN – 856
Análisis Granulométrico	INEN - 696
Porcentaje de Impureza	INEN - 855

Nota. La tabla es representación de los ensayos para agregados finos. Fuente *Elaboración propia* 2024.

3.5.1.1 Peso Volumétrico suelto y varillado para agregado fino y grueso. (ver Anexo 1.)

El objetivo de este ensayo es determinar Peso Unitario Suelto (PUS) y el Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado grueso y agregado fino según los parámetros que están en las Normas INEN, ASTM C-29 y AASHTO T-19, para obtener un diseño de mezcla apropiado.

- Masa del material compactado

$$M_c = B - P$$

Donde:

M_c = Masa del material compactado.

B = Masa del recipiente más el material compactado.

P = Masa del recipiente.

- Peso unitario compactado

$$P_{uc} = \frac{M_c}{V}$$

Donde:

P_{uc} = Peso unitario compactado

V = Volumen del recipiente

- Masa del material suelto

$$Ms = A - P$$

Donde:

Ms = Masa del material suelto

A = Masa del molde más el material suelto

- Peso unitario suelto

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

Donde:

Pus = Peso unitario suelto

Equipo

- Barra compactadora: Varillas de Acero de 5/8" (16 mm), aproximadamente 24" (600 mm) de longitud.
- Pala de borde recto
- Recipiente cilíndrico: Molde o recipientes cilíndricos manejable y suficientemente rígido para evitar su deformación.
- Balanza: Equipo para determinar masa, que sea sensible y legible, con una aproximación de 0,01% de la masa de la muestra.

Procedimiento para peso volumétrico suelto (arena y grava).

- Determinamos el volumen que se utilizará de arena.
- Luego se coloca arena dentro del recipiente y enrasamos.
- Después se pesa el molde con la arena, para conseguir su peso volumétrico sin compactación.
- Se repite el mismo procedimiento con la grava.

Procedimiento para peso volumétrico varillado (grava).

- Se determina el volumen de los recipientes que se utilizará.
- Colocamos la grava dentro del recipiente y por cada tercio de llenado compactamos dando 25 golpes, por último, enrasamos.
- Pesamos el recipiente con el material

3.5.1.2 Densidades y Porcentaje de Absorción para agregado grueso. (ver Anexo 2.)

Analizar el peso específico y absorción del agregado grueso, mediante un ensayo de laboratorio, con la finalidad de identificar el comportamiento mecánico del material, y sus características.

- Gravedad Especifica

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

Donde:

Ge = Gravedad Especifica

A = Masa de la muestra seca

B = Masa de la muestra saturada superficial

C = Masa de la muestra sumergida

- Gravedad especifica del material saturado con superficie seca

$$Ges = \frac{B}{(B - C)}$$

Donde:

Ges = Gravedad especifica del material saturado con superficie seca

- Gravedad especifica aparente

$$Gea = \frac{A}{(A - C)}$$

Donde:

Gea = Gravedad especifica aparente

- Porcentaje de Absorción

$$\%Ab = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

%Ab = Porcentaje de Absorción

Equipos:

- Balanza
- Canastilla
- Franela
- Horno
- Bandeja metálica

Procedimiento

- Primero se sumerge la grava en el agua durante 24 hrs en un recipiente.
- Se retira la grava del agua y con una franela secamos el material superficialmente.
- Se pesa el material superficialmente seco y obtenemos también el peso de la cesta.
- Se llena el tanque de agua y se sumerge la canastilla y se obtiene su peso.
- Posteriormente sumergimos la canastilla con el material superficialmente seco y la pesamos.
- Por último, extraemos el material para luego secarlo en el horno para así determinar su porcentaje de absorción.

3.5.1.3 Densidades y Porcentaje de Absorción para agregado fino. (ver Anexo 3.)

Analizar el peso específico y absorción del agregado fino, mediante un ensayo de laboratorio, con la finalidad de identificar el comportamiento mecánico del material, y sus características.

- Gravedad Especifica SSS

$$G_{sss} = \frac{A}{C}$$

Donde:

G_{sss} = Gravedad Especifica SSS

A = Peso del agregado sss

C = Volumen final del agregado

- Gravedad Especifica Masa

$$G_{masa} = \frac{W}{C}$$

Donde:

G_{masa} = Gravedad Especifica Masa

W = Peso del agregado seco

- Gravedad Especifica Aparente

$$G_{ap} = \frac{W}{(C - (A - W))}$$

Donde:

Gap = Gravedad Especifica Aparente

- Porcentaje de Absorción

$$\%Ab = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

%Ab = Porcentaje de Absorción

Equipos:

- Balanza o báscula con una capacidad de 1 kg
- Probeta
- Molde y pisón para ensayo de humedad superficial
- Horno
- Pala
- Tamices numerados: 4,8,16,30,50, 100, 200
- Bandeja metálica

Procedimiento

- Previo los ensayos la arena deberá sumergirse por 24 horas.
- Se retira la arena y se seca con papeles de periódicos.
- Una vez hallamos secado superficialmente la arena utilizamos el cimacio vertemos la muestra de arena y daremos 9 golpes de compactación por cada tercio de llenado hasta su llenado, retiramos el cono y vemos que el desplazamiento de la arena sea mínimo así determinamos que este superficialmente saturada.
- De la muestra superficialmente saturada pesamos 500 gr.

- Colocamos 200 cm³ de agua en una probeta plástica y colocamos la arena obteniendo así su volumen final.
- Extraemos nuevamente el material de la probeta para luego secarlo al horno por 24 hrs.
- Por último, sacamos el material luego de las 24 hrs de secado en el horno y lo pesamos.

3.5.1.4 Análisis granulométrico para agregado fino y grueso. (ver Anexo 4.)

Este ensayo sirve para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado.

Porcentaje retenido para cada tamiz

$$\% \textit{Retenido} = \frac{\textit{Masa retenida aumulada}}{\textit{Masa de la muestra}} * 100$$

Porcentaje que pasa en cada tamiz

$$\% \textit{Pasa} = 100 - \% \textit{Retenido}$$

Equipos:

- Tamices

Tabla 15. *Tamices empleados para los ensayos*

Grava 3/4	Arena
2''	N.º 4
1 ½''	N.º 8
1''	N.º 16
¾''	N.º 30
½''	N.º 50
3/8''	Nº100
4''	N.º 200

Nota. La tabla es representación de los ensayos para agregados gruesos y finos. Tomado de la INEN-696, 2024.

- Tamizadora
- Recipiente
- Balanza
- Horno

Procedimiento

- Se realiza el cuarteo para la selección de 1/4 para el ensayo, la cantidad según la normativa ASTM C 136, para agregado fino es de 500 gr y agregados gruesos de 5000 gr.
- Se procede a pasar las muestras por los tamices en forma ascendente, en base a las normas técnicas.
- Se realiza el proceso de tamizado preferentemente en tamizadoras eléctricas para obtener mejores resultados con un intervalo de tiempo de 2 min para el agregado fino y 2 min para el grueso.
- Se realiza el pesaje del material retenido en cada uno de los tamices.
- Se realiza los cálculos mediante el uso de tablas.

3.5.1.5 Desgaste de agregado grueso. (ver Anexo 5.)

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia del agregado grueso al desgaste mediante la prueba de abrasión de Los Ángeles.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_i * P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pi = Suma de pesos iniciales

Pf = Peso final

Equipos:

- Máquina de los ángeles
- Esferas de desgaste
- Tamices
- Balanza
- Bandeja
- Agregado grueso de 3/4

Procedimiento

- Se realiza la gradación del material.
- Luego se pesa unos 5000 gr de muestra

- Se coloca el material junto con las esferas en este caso se usó 12 esferas para el ensayo; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas.
- Se retira las esferas y luego se hace pasar el material por el tamiz #12.
- Finalmente se calcula el porcentaje de desgaste

3.5.1.6 Impurezas orgánicas en el agregado fino. (ver Anexo 6.)

Según la NTE INEN 0855 este ensayo es para determinar si la muestra contiene impurezas orgánicas mediante una solución de color normalizado y observar si está dentro de los requisitos del mismo.

Ilustración 13. Escala normalizada de Gardner

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

Nota. La ilustración representa el color normalizado para determinar la impureza del agregado fino. Tomado de *NTE INEN 0855*, 2024.

Equipos:

- Botellas de vidrio
- Nivel de la solución de color normalizada
- árido fino
- Nivel de la solución de NaOH
- Comparador de colores normalizados.

Procedimiento

- Llenar el frasco de vidrio con la muestra de agregado fino a nivel aproximadamente 130 ml (4 ½ onzas fluidas).
- El vertido de metasilicato de sodio se representa en 3 partes de masa por 97 partes de agua, en este ensayo será en 75 cm³ de agua para una porción de solución, luego se llena de agua hasta alcanzar un nivel de 200 cc.

- Tapamos el frasco y agitamos vigorosamente sin dejar restantes de solución y dejamos reposar por 24 horas las diferentes muestras.
- Al finalizar el periodo de 24 horas de reposo, se procede a comparar el color del líquido por encima de la arena en el frasco de vidrio con la tarjeta de medidas de tonos.

3.5.1.7 Ensayo de densidad del cemento. (ver Anexo 7.)

Según la INEN 0156 este ensayo establece la relación entre una masa de cemento y el volumen líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Chatelier.

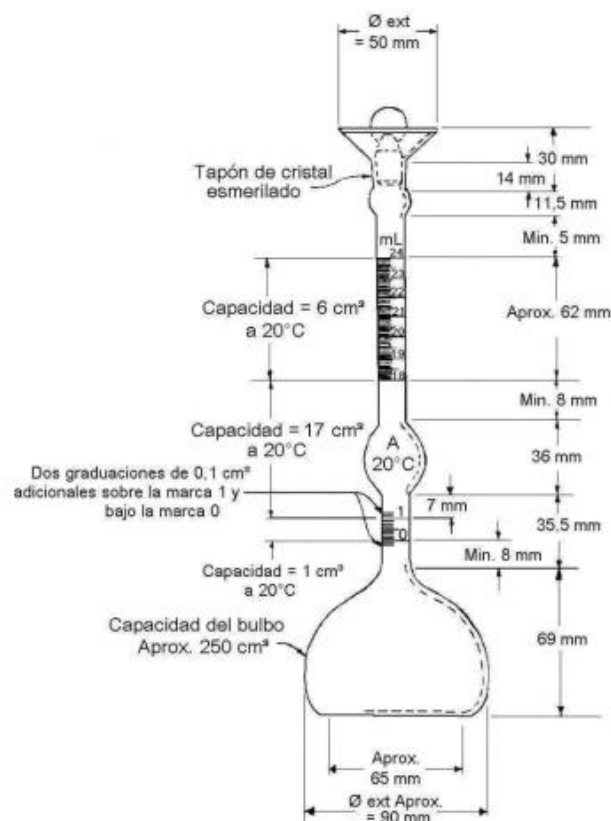
- Densidad del cemento

$$\rho = \frac{\text{Masa del cemento}}{\text{Volumen desplazado}}$$

- Gravedad específica

$$Gr\ esp = \frac{\text{Densidad del cemento}}{\text{Densidad del Agua a } 4^{\circ}c}$$

Ilustración 14. Frasco de Chatelier para el ensayo de densidad



Nota. La ilustración representa el instrumento utilizado para determinar la densidad del cemento. Tomado de NTE INEN 0156, 2024.

Equipos:

Balanza

Termómetro

Recipiente para baño de agua

Frasco Le Chatelier

Procedimiento

- Tomamos 64 gr de cemento para realizar el ensayo
- Vertemos la gasolina dentro del frasco Chatelier y pesamos
- Agregamos la muestra de cemento pesado con cuidado y lo ponemos dentro del frasco ya encerado con gasolina, y registramos su volumen final

3.5.1.8 Método ACI para el diseño de mezclas de hormigón. (ver Anexo 8.)

Con respecto a la norma del ACI 211.1 la cual describe el proceso de diseño de hormigones y mezclas de concreto, la misma se rige a la norma internacional **ASTM C33** que cuenta con lineamientos y especificaciones.

Para diseñar la mezcla primero se debe considerar el tipo de obra y los materiales con los que se va a ejecutar la misma.

3.5.1.9 Relación Agua/Cemento (A/C)

La relación agua-cemento mide la cantidad de agua y cemento utilizados en la mezcla de concreto, la importancia de esta relación radica en que influye en la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad del concreto.(Solís-Carcaño et al., 2012)

Para los ensayos realizados se usará la normativa ACI 211.1 la cual indica en la **Tabla 16** las relaciones A/C con sus respectivas resistencias, para el trabajo se considera las relaciones de 0,50 Y 0,49

Tabla 16. Relación Agua / Cemento según la resistencia del hormigón

A/C	Resistencia kg/cm^2
0,7	140
0,65	190
0,6	210
0,55	250
0,5	290
0,45	310
0,4	350
0,35	390
0,3	410

Nota. La tabla representa la relación A/C según la resistencia del hormigón Tomado *ACI 211.1*, 2024.

Ilustración 15. Resistencia a los 7 días relación A/C



Nota. La ilustración representa la resistencia a los 7 días relación A/C. Tomado de *ACI 211.1*, 2024.

3.5.2 Diseño de Hormigones

3.5.2.1 Deposito de la Prefectura de El Oro Campamento Pedregal (Anexo 9.)

3.5.2.1.1 Diseño de Hormigón a 240 kgf/cm²

Tabla 17. *Resultados Hormigón A/C 0,5*

Resultados de Resistencia		
Resistencia a los 7 días	168,09 Kg/cm ²	16,61 MPa
Resistencia a los 14 días	224,87 Kg/cm ²	22,22 MPa
Resistencia a los 28 días	248,18 Kg/cm ²	24,52 MPa

Nota. La tabla representa los resultados de la resistencia de los diferentes días de un hormigón de 240 kgf/cm² Fuente: *Autor.*

3.5.2.1.2 Diseño de Hormigón a 280 kgf/cm²

Tabla 18. *Resultados Hormigón A/C 0,48*

Resultados de Resistencia		
Resistencia a los 7 días	199,19 Kg/cm ²	19,68 MPa
Resistencia a los 14 días	240,72 Kg/cm ²	23,79 MPa
Resistencia a los 28 días	289,27 Kg/cm ²	28,58 MPa

Nota. La tabla representa los resultados de la resistencia de los diferentes días de un hormigón de 280 kgf/cm² Fuente: *Autor.*

3.5.3 Proceso Metodológico para pavimento Asfáltico.

Ensayos en laboratorio de los materiales agregados finos y gruesos, usando la guía de prácticas según la norma INEN para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Ensayos aplicados en laboratorio:

Tabla 19. *Ensayos de laboratorio para pavimento asfáltico*

Ensayo	Norma
Granulometría de los áridos	INEN – 858
Densidad relativa (Gravedad específica) de los áridos	INEN – 857
Densidad de materiales bituminosos	INEN-0923
Extracción del cemento asfáltico	AASHTO. T-164. MTOP-E305
Consistencia del cemento asfáltico	NTE INEN 0917:83
Método Marshall	ASTM D6927-15

Nota. La tabla es representación de los ensayos para pavimento asfáltico. Fuente *Elaboración propia* 2024.

3.5.3.1 Granulometría de los áridos. (ver Anexo 10.)

Granulometría

El objetivo de este ensayo es determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado. El tamaño de la muestra debe cumplir con los criterios especificados en ASTM D75.

Porcentaje retenido para cada tamiz

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Masa retenida acumulada}}{\text{Masa de la muestra}} * 100$$

Porcentaje que pasa en cada tamiz

$$\% \text{Pasa} = 100 - \% \text{Retenido}$$

Equipos:

- Tamices

Tabla 20. *Tamices empleados para los ensayos*

Grava 3/4	Gravilla 3/8	Filler (Polvo de roca)
2''	N.º 4	N.º 4
1 ½''	N.º 8	N.º 8
1''	N.º 16	N.º 16
¾''	N.º 30	N.º 30
½''	N.º 50	N.º 50
3/8''	Nº100	Nº100
4''	N.º 200	N.º 200

Nota. La tabla es representación de los ensayos para la granulometría de los áridos. Tomado de la INEN-858, 2024.

- Tamizadora
- Recipiente
- Balanza
- Horno

Procedimiento

- Se realiza el cuarteo para la selección de ¼ para el ensayo, la cantidad según la normativa ASTM C 136, para agregado fino es de 500 gr y agregados gruesos de 5000 gr.
- Se procede a pasar las muestras por los tamices en forma ascendente, en base a las normas técnicas.
- Se realiza el proceso de tamizado preferentemente en tamizadoras eléctricas para obtener mejores resultados con un intervalo de tiempo de 5 min para los agregados.
- Se realiza el pesaje del material retenido en cada uno de los tamices.
- Se realiza los cálculos mediante el uso de tablas.

Desgaste de los Áridos

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia del agregado grueso al desgaste mediante la prueba de abrasión de Los Ángeles.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_i * P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pi = Suma de pesos iniciales

Pf = Peso final

Equipos:

- Máquina de los ángeles
- Esferas de desgaste
- Tamices
- Balanza
- Bandeja
- Agregado grueso

Procedimiento

- Se realiza la gradación del material.
- Luego se pesa unos 5000 gr de muestra
- Se coloca el material junto con las esferas en este caso se usó 12 esferas para el ensayo; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas.
- Se retira las esferas y luego se hace pasar el material por el tamiz #12.
- Finalmente se calcula el porcentaje de desgaste

Pesos Unitarios de los Áridos

El objetivo de este ensayo es determinar Peso Unitario Suelto (PUS) y el Peso Unitario Compactado (PUC) de los agregados según los parámetros que están en las Normas INEN, ASTM C-29 y AASHTO T-19, para obtener un diseño de mezcla apropiado.

- Masa del material compactado

$$M_c = B - P$$

Donde:

M_c = Masa del material compactado.

B = Masa del recipiente más el material compactado.

P = Masa del recipiente.

- Peso unitario compactado

$$Puc = \frac{Mc}{V}$$

Donde:

Puc = Peso unitario compactado

V = Volumen del recipiente

- Masa del material suelto

$$Ms = A - P$$

Donde:

Ms = Masa del material suelto

A = Masa del molde más el material suelto

- Peso unitario suelto

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

Donde:

Pus = Peso unitario suelto

Equipo

- Barra compactadora: Varillas de Acero de 5/8" (16 mm), aproximadamente 24" (600 mm) de longitud.
- Pala de borde recto
- Recipiente cilíndrico: Molde o recipientes cilíndricos manejable y suficientemente rígido para evitar su deformación.
- Balanza: Equipo para determinar masa, que sea sensible y legible, con una aproximación de 0,01% de la masa de la muestra.

Procedimiento para peso volumétrico suelto (grava, gravilla y polvo de roca).

- Determinamos el volumen que se utilizará de agregado
- Luego se coloca arena dentro del recipiente y enrasamos.

- Después se pesa el molde con la arena, para conseguir su peso volumétrico sin compactación.
- Se repite el mismo procedimiento con la grava.

Procedimiento para peso volumétrico varillado (grava y gravilla).

- Se determina el volumen de los recipientes que se utilizará.
- Colocamos la grava dentro del recipiente y por cada tercio de llenado compactamos dando 25 golpes, por último, enrasamos.
- Pesamos el recipiente con el material

3.5.3.2 Densidad relativa (Gravedad específica) de los áridos. (ver Anexo 11.)

Agregado grueso

Analizar el peso específico y absorción del agregado grueso, mediante un ensayo de laboratorio, con la finalidad de identificar el comportamiento mecánico del material, y sus características.

- Gravedad Especifica Bulk

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

Donde:

Ge = Gravedad Especifica Bulk

A = Masa de la muestra seca

B = Masa de la muestra saturada superficial

C = Masa de la muestra sumergida

- Gravedad específica del material saturado con superficie seca

$$Ges = \frac{B}{(B - C)}$$

Donde:

Ges = Gravedad específica del material saturado con superficie seca

- Gravedad específica aparente

$$Gea = \frac{A}{(A - C)}$$

Donde:

Gea = Gravedad específica aparente

- Porcentaje de Absorción

$$\%Ab = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

%Ab = Porcentaje de Absorción

Equipos:

- Balanza
- Canastilla
- Franela
- Horno
- Bandeja metálica

Procedimiento

- Primero se sumerge la grava en el agua durante 24 hrs en un recipiente.
- Se retira la grava del agua y con una franela secamos el material superficialmente.
- Se pesa el material superficialmente seco y obtenemos también el peso de la cesta.
- Se llena el tanque de agua y se sumerge la canastilla y se obtiene su peso.
- Posteriormente sumergimos la canastilla con el material superficialmente seco y la pesamos.

Por último, extraemos el material para luego secarlo en el horno para así determinar su porcentaje de absorción.

Agregado fino

Analizar el peso específico y absorción del agregado fino, mediante un ensayo de laboratorio, con la finalidad de identificar el comportamiento mecánico del material, y sus características.

- Gravedad Especifica Bulk (Base seca)

$$Ge = \frac{E}{D}$$

Donde:

Ge = Gravedad Especifica Bulk (Base seca)

E = Peso del agregado seco en el horno

D = Volumen de masa + volumen de vacíos (bruto)

- Gravedad Especifica Bulk (Base saturada)

$$Ges = \frac{A}{D}$$

Donde:

Ges = Gravedad Especifica Bulk (Base saturada)

A = Peso del agregado saturado superficialmente seco

- Gravedad Especifica Aparente (Base seca)

$$Gap = \frac{E}{F}$$

Donde:

Gap = Gravedad Especifica Aparente

F = Volumen de masa neto

- Porcentaje de Absorción

$$\%Ab = \frac{(A - E)}{E} * 100$$

Donde:

%Ab = Porcentaje de Absorción

Equipos:

- Balanza o báscula con una capacidad de 1 kg
- Probeta
- Molde y pisón para ensayo de humedad superficial
- Horno
- Pala
- Tamices numerados: 4,8,16,30,50, 100, 200
- Bandeja metálica

Procedimiento

- Previo los ensayos el agregado fino deberá sumergirse por 24 horas.
- Se retira el agua y se seca con papeles de periódicos.
- Una vez hallamos secado superficialmente el agregado fino utilizamos el cimacio vertemos la muestra y daremos 9 golpes de compactación por cada tercio de llenado hasta su llenado, retiramos el cono y vemos que el desplazamiento sea mínimo así determinamos que este superficialmente saturada.
- De la muestra superficialmente saturada pesamos 500 gr.
- Colocamos 200 cm³ de agua en una probeta plástica y colocamos el agregado fino obteniendo así su volumen final.
- Extraemos nuevamente el material de la probeta para luego secarlo al horno por 24 hrs.
- Por último, sacamos el material luego de las 24 hrs de secado en el horno y lo pesamos.

3.5.3.3 Densidad de materiales bituminosos. (ver Anexo 12.)

Este ensayo sirve para determinar la densidad y la gravedad específica de los materiales bituminosos semisólidos y sólidos, mediante el uso del picnómetro, y se analizará la confiabilidad de los resultados obtenidos.

- Gravedad específica

$$Ge = \frac{m3 - m1}{(m2 - m1) - (m4 - m3)}$$

Donde:

t °C = Temperatura a la que se realizó el ensayo. Si no se especifica se entenderá que la temperatura normalizada es 25 °C.

$m1$ = Peso del picnómetro vacío (incluido tapón) a t °C en gramos.

$m2$ = Peso del picnómetro lleno de agua a t °C, en gramos.

$m3$ = Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto a t °C, en gramos.

$m4$ = Peso del picnómetro con asfalto y agua a t °C, en gramos.

- Densidad

$$D = Ge * Wt$$

Donde:

Wt = Peso unitario del agua a la temperatura del ensayo.

El valor del peso unitario del agua se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 21. *Peso unitario del agua según su temperatura.*

Temperatura del ensayo		Peso Unitario del agua	
°C	°F	gr/cm3	Lbs/gal
15.6	60	0.9990	8.337
25	77	0.9971	8.321

Nota. La tabla es representación del peso unitario de agua según su temperatura. Tomado de INEN 0923, 2024.

- Precisión y tolerancia

Tabla 22. *Precisión y tolerancia según su temperatura.*

Temperatura del ensayo		Precisión y tolerancia	
°C	°F	Desviación típica	Diferencia máxima entre 2 ensayos
15.6	60	0.0013	0.003
25	77	0.00082	0.002

Nota. La tabla es representación de la precisión y tolerancia. Tomado de INEN 0923, 2024.

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Equipos:

- Picnómetro
- Baño de agua
- Termómetro ASTM 63C
- Vaso de vidrio de forma baja, capacidad 600 ml o más
- Agua destilada
- Balanza electrónica
- Paño limpio y seco

Procedimiento

- Tomar 200 g de muestra para el ensayo, si fuese necesario calentar en la estufa hasta alcanzar fluidez para homogenizar todo el material.
- Verter el asfalto en el picnómetro limpio y seco, previamente calibrado a las tres cuartas partes de capacidad, cuidar que el material no toque las paredes para evitar burbujas. Las burbujas eliminar con llama larga de gas flameando por unos segundos. Dejar enfriar el picnómetro con su tapón y la muestra a temperatura ambiente por 40 minutos como mínimo y pesar, designándolo como m4.
- Sacar el vaso del baño de agua y completar el llenado del picnómetro con agua procedente del vaso, seguir los apartados b y c se designa la masa del picnómetro con la muestra como m5.

3.5.3.4 Extracción del cemento asfáltico. (ver Anexo 13.)

Este ensayo se realiza para cuantificar la cantidad de cemento asfáltico mediante el ensayo de extracción de mezcla para un de un pavimento flexible.

- Porcentaje de cemento asfáltico

$$\% \text{cemento asfáltico} = \frac{W1 - W2 - (W3 - W4)}{W1} * 100$$

Donde:

W1 = Peso de muestra antes del ensayo

W2 = Peso de muestra después del ensayo

W3 = Peso del papel filtro antes del ensayo

W4 = Peso del papel filtro después del ensayo

Equipos:

- Centrifugadora
- Papel filtro
- Horno
- Recipientes metálicos
- Solvente (gasolina)
- Balanza 0.001 gr
- Guantes
- Franela
- Probeta graduada
- Tamizadora
- Cuchara
- Espátula
- Briqueta o mezcla asfáltica.

Procedimiento

- La muestra representativa de la mezcla, de peso conocido (1 250 g), dentro de la taza de la centrifugadora.
- Se agrega una cantidad de gasolina suficiente para que cubra la mezcla y se permite el tiempo suficiente (no más de una hora) para que el solvente desintegre la muestra.

- Se coloca el papel filtro seco, previamente pesado, sobre el borde de la taza y se ajusta la cubierta herméticamente, colocándose un vaso de recolección bajo el desagüe de la centrifugadora.
- Se pone a rotar la máquina suavemente, incrementando la velocidad hasta un máximo de 3 600 rpm o hasta que el solvente deje de fluir por el desagüe.
- Se detiene la máquina, se agrega otra porción conocida de reactivo y se repite el procedimiento. Debe añadirse sucesivamente suficientes porciones de solvente hasta que extracto sea claro o no más oscuro que el color pajizo.
- Se quita la cubierta de la taza, se retira el filtro y se seca al aire, removiendo toda la cantidad de partículas minerales que hayan quedado adheridas a él y añadiéndolas al material contenido en la taza. Luego se lleva el filtro al horno a 110 5°C hasta secar a peso constante y se registra dicho peso.
- El contenido de la taza debe secarse también a 110 5°C hasta obtener peso constante (18 a 24h).
- Se realiza la granulometría del material seco y se determina el tamaño máximo nominal del agregado.

3.5.3.5 Consistencia del cemento asfáltico. (ver Anexo 14.)

El objetivo de este ensayo es determinar la penetración en los materiales bituminosos (betún o brea de alquitrán), medida en décimas de milímetro

Con los datos obtenidos se relaciona los valores de penetración la siguiente tabla:

Tabla 23. *Relación entre valores de penetración.*

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	Mayor a 250
Máxima diferencia entre el mayor y menos valor	2	4	6	8

Nota. La tabla es representación de la relación entre valores de penetración. Tomado de INEN 0917:83

- Promedio

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i + \bar{x})^2}{n}}$$

· Precisión y Tendencia

Depende de los operadores y temperatura se selecciona una ecuación y se reemplaza

Tabla 24. Prueba de precisión.

Single Operator Precision at 25°	if x < 60, then s = 0.8 if x > 60, then s = 0.8 + 0.03 (x-60)
Multilab Precision at 25°C	If x < 60, then s =2.5 if x > 60, then s = 2.5 + 0.05 (x-60)
Single Operator Precision at 4°C	s = 0.8 + 0.02 (x)
Multilab Precision at 4°C	s = 2.5 + 0.08 (x)

Nota. La tabla es representación de la prueba de precisión. Tomado de INEN 0917:83,2024.

Equipos:

- Penetrómetro
- Agua de penetración
- Recipiente o molde para la muestra
- Termómetro
- Cronometro
- Estufa eléctrica
- Baño de agua

Procedimiento:

- Calentar de manera uniforme la muestra del material bituminoso hasta obtener la consistencia deseada, evitando exceder los 30 minutos para prevenir la formación de burbujas de aire.
- Una vez que la muestra alcance las condiciones deseadas, verter aproximadamente $\frac{3}{4}$ de su altura en un recipiente.
- Llenar ambos recipientes y permitir que se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- Posteriormente, verter el material en un baño maría que debe estar a 25 °C, de acuerdo con las especificaciones de la normativa.

- Retirar las muestras del baño maría y llevar una de ellas al penetrómetro, asegurándonos de que el envase también esté a 25 °C.
- En el penetrómetro, acercar la aguja hasta que toque la superficie de la muestra sin penetrarla, manteniendo una distancia de aproximadamente 10 mm desde los bordes.
- Liberar rápidamente la aguja durante el tiempo establecido de 5 segundos.
- Ajustar el instrumento para medir la profundidad de penetración en décimas de milímetro.
- Realizar al menos tres penetraciones en la muestra en puntos separados por 10 mm entre sí y alejados de los bordes del recipiente. Antes de cada penetración, limpiar la aguja del penetrómetro para eliminar el exceso de material bituminoso.

3.5.4 Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall (Ver Anexo 15.)

3.5.4.1 Método Marshall.

Es el método más popular para crear mezclas asfálticas en todo el mundo. Bruce Marshall lo creó cuando trabajaba en el Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi además El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos limpió y agregó algunos elementos a las propuestas de Marshall, lo que llevó a que el ensayo se normalizara como ASTM D 1559,

Con base en estos criterios se puede obtener una mezcla satisfactoria la misma que se basa en requerimientos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos.

El objetivo de este ensayo es determinar la granulometría apropiada, la cantidad de asfalto óptima para una mezcla en caliente con esto podremos establecer la resistencia a la deformación plástica de las probetas cilíndricas de las mezclas bituminosas utilizando el método Marshall tal como lo indica la ASTM D6927-06

Granulometría de los áridos.

Este ensayo es uno de lo más importantes a considerar ya que es uno de los primeros procesos para diseñar la mezcla, puesto afecta la mayoría de las propiedades como dureza, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al rozamiento y resistencia a la humedad.

Dicha muestra se utiliza de acuerdo a las Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP 001-F2022 en el capítulo 400 Estructura del pavimento.

Densidad Relativa (Gravedad específica) Áridos.

Se determina por la relación del peso del agregado y el producto del volumen del agregado por la densidad del agua a la misma temperatura, y con esto obtener también el contenido de vacíos de la mezcla asfáltica compactada en caliente.

- Gravedad específica efectiva del agregado

$$Gse = \frac{1 - Pb}{\frac{1}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

Donde:

Gse = Gravedad específica efectiva del agregado.

Pb = Contenido de asfalto con el que se determinó la gravedad específica teórica máxima (Rice).

Gmm = Gravedad específica teórica máxima (Rice), no incluye los vacíos de aire.

Gb = Gravedad específica del cemento asfáltico.

- Porcentaje de asfalto absorbido por el agregado

$$Pba = \frac{Gse - Gsb}{Gse * Gsb} * Gb * 100$$

Donde:

Pba = Porcentaje de asfalto absorbido por el agregado.

Gravedad Especifica Seca Aparente

Contiene el volumen de las partículas de agregado más los poros internos que no han sido llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

Gravedad Especifica Bulk

Contiene el volumen total de las partículas del agregado, y a su vez el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión, tal como lo describe la norma NTE INEN 0857:2010.

- Gravedad específica bulk de la combinación de agregados en la mezcla

$$G = \frac{P1 + P2 + \dots Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots \frac{Pn}{Gn}}$$

Donde:

G = Gravedad específica promedio.

P1, P2, Pn = Porcentaje en pesos de la fracción.

G1, G2, Gn = Gravedad específica de la fracción.

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk

Se calcula con la relación entre el peso del agregado saturado superficialmente seca y el volumen del agregado más los vacíos permeables, como lo describe la norma NTE INEN 0856:2010.

Densidad Relativa (Gravedad Específica) Mezcla Compactada

Permite obtener el porcentaje de vacíos de aire en el diseño en pocas palabras determina la masa seca después haya permanecido en el aire alrededor de una hora a temperatura ambiente, seguido de esto la probeta se lleva a superficie saturada seca, se sumerge en agua y se determina la masa, tal como lo indica la ASTM D2726.

Gravedad Específica Teórica Max Rice de mezcla asfáltica.

Lleva ese nombre por su actor James Rice, la misma determina la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas en estado suelto. Tal como lo describe la norma ASTM D2041

Gravedad específica teórica máxima da la mezcla para otros contenidos de asfalto

$$G_{mm} = \frac{1}{\frac{1 - P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (Rice), no incluye los vacíos de aire.

P_b = contenido de asfalto con el que se determinó la gravedad específica teórica máxima (Rice).

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_b = Gravedad específica del cemento asfáltico.

Propiedades volumétricas de mezclas compactadas

- Vacíos en el agregado mineral (VMA): Son los espacios vacíos que se encuentran entre las partículas del árido en una muestra.

$$VMA = 100 \left[1 - \frac{Gmb(1 - Pb)}{Gsb} \right]$$

Donde:

VMA = Vacíos en el agregado mineral.

Gmb = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

Gsb = Gravedad específica bulk del agregado.

- Asfalto efectivo (Pbe): Es el valor del asfalto que efectúa su función en la mezcla de asfalto.

$$Pbe = Pb - \frac{Pba * Ps}{100}$$

Donde:

Pbe = Porcentaje de asfalto efectivo de la mezcla.

Pb = contenido de asfalto de la gravedad específica teórica máxima (Rice), porcentaje del peso total de la mezcla.

Pba = Porcentaje de asfalto absorbido por el agregado.

Ps = contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla.

- Vacíos de aire (Va): Son los vacíos que existen en la mezcla los cuales están llenos de aire en lugar de material sólido.

$$Va = VTM = \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm} \right) * 100$$

Donde:

Va = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

- Vacíos llenos con asfalto (VFA): Son los vacíos en la mezcla que están llenos de asfalto en lugar de aire.

$$VFA = \left(\frac{VMA - VTM}{VMA} \right) * 100$$

Donde:

VFA = Vacíos llenos con asfalto.

VMA = Vacíos en el agregado mineral.

Equipos:

- Conjunto de compactación, compuesto por una placa base plana, molde y collar de acero cadmiado.
- Martillo de compactación manual con base plana circular con un pistón de 4.75 kg de peso total, cuya altura de caída es 457.2 mm.
- Base de compactación de madera, cuyas dimensiones son 200 mm de lado y 450 mm de altura.
- Soporte de molde, dispositivo con resorte de tensión diseñado para fijar rígidamente y centrar sobre la base de compactación el conjunto molde, collar y placa durante la compactación.
- Mordaza, consiste en dos segmentos cilíndricos con un radio de curvatura inferior a 50.8 mm de acero enchapado para facilitar su limpieza.
- Prensa, será mecánica con una velocidad de desplazamiento de 50.8 mm/min, puede tener un motor eléctrico unido al pistón de carga.
- Medidor de estabilidad, la resistencia de la probeta se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa de 20 kN.
- Disco de papel filtro de 4l.
- Horno capaz de mantener temperaturas constantes con error de 3°C.
- Baño de agua de 150 mm de profundidad.
- Recipientes metálicos para calentar los agregados y mezclar con el asfalto, capacidad de 2 litros.
- Termómetro metálico.
- Balanza capacidad de 2 kg con sensibilidad 0.1 g para pesar probetas.
- Material general, bandejas metálicas, guantes de cuero.

Procedimiento:

- **A. Evaluación de agregados**
- Realizar el ensayo de granulometría de los agregados, para de esta manera determinar la cantidad de material a emplear para la elaboración de las probetas.

El porcentaje de los materiales se los puede determinar mediante el método de Fuller.

- Realizar los ensayos de gravedad y peso específico de los materiales
- Determinar el porcentaje de desgaste de los materiales, a través del ensayo de abrasión.
- **B. Evaluación del cemento asfáltico**
- Determinar grado de cemento asfáltico a emplear.
- Calcular la gravedad específica del cemento asfáltico.
- Determinar la temperatura de mezcla.
- **C. Preparación de las probetas para Marshall**
- Secar los agregados en el horno a 110 de temperatura, hasta obtener masa constante. Además, generalmente el número de probetas mínima a fabricar es de tres por cada porcentaje de asfalto.
- Pesar los agregados para cada espécimen por separado y calentar a temperatura de mezcla.
- Generar un espécimen de prueba medir la altura del mismo y verificar su altura
- Todas las probetas se fabrican individualmente, pesar sucesivamente en un recipiente las cantidades necesarias de cada fracción y calentar la mezcla a una temperatura de máximo 30 °C.
- Calentar el ligante
- Colocar el árido caliente en el recipiente y luego añadir la cantidad de asfalto caliente necesario.
- Verificar la temperatura de la mezcla procurando que esta no sea excedida.
- Antes de colocar la mezcla, se debe limpiar y calentar el conjunto collar, anillo en el horno y montar fijamente sobre la placa el conjunto anillo y collar. Se coloca un papel filtro en ambas caras de la probeta y se procede a aplicar los golpes requeridos en cada una de las caras de la misma.
- Una vez cumplido con el número de golpes, se espera a que la mezcla se enfríe a temperatura ambiente y se la lleva a una superficie plana entre 12 a 24 horas.
- Una vez pasado dicho tiempo, se procede a calcular la gravedad específica bulk, la cual se la determina con la siguiente expresión:

$$Gmb = \frac{WD}{W_{ssD} + W_{sum}}$$

Donde:

Gmb = Gravedad específica bulk

WssD = Masa de la probeta en aire

Wsum = Masa de la probeta al aire en condición saturada superficie seca

- **D. Densidad y vacíos de los especímenes**
- Cálculo de porcentaje de vacíos de los especímenes.
- Cálculo del porcentaje de vacíos en el agregado mineral
- Cálculo de porcentaje de vacíos llenos de asfalto
- **E. Estabilidad Marshall y ensayo de flujo**
- Antes de la rotura de las probetas, estas se preparan por medio de un baño de agua a una temperatura de 60°C alrededor de 30 a 40 minutos.
- Colocar las probetas en la máquina y encerar el deformímetro.
- Una vez concluido con la rotura, se debe registrar el valor de la estabilidad y el flujo para cada uno de los especímenes.

3.5.4.2 Resultados con cada porcentaje de asfalto.

La tabla representa un resumen de los resultados con los valores obtenidos de cada porcentaje.

Tabla 25. Resultados con cada porcentaje de asfalto

Parámetro	Rango	Muestra 5%	Muestra 5.5%	Muestra 6%	Muestra 6.5%	Muestra 7%
Va	3-5	8.16	6.02	5.77	3.11	1.67
VMA	14-16	19.12	18.26	19.75	17.81	17.63
VAF	65-75	57.54	72.11	69.98	82.57	90.80
Estabilidad	8-13	14.31	12.27	13.35	15.30	13.18
Deformación	2-4	2.4	2.4	2.8	3.6	4.2
Densidad (Gmb)		2.224	2.224	2.260	2.231	2.296
Densidad (Gmm)		2.422	2.422	2.404	2.387	2.370
Rigidez	3-5	5.9	5.0	4.8	4.2	3.1

Nota. La tabla representa los distintos resultados de cada porcentaje de asfalto. Fuente: *Autor* 2024.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Con la investigación y ensayos realizados se va adquiriendo varios resultados que permiten el mejor análisis los cuales se van a detallar en este capítulo.

4.2 Análisis del pavimento rígido vs el pavimento flexible (Elaboración).

Para la elaboración tanto del pavimento rígido como el pavimento flexible se utilizó agregado grueso de 3/4, 3/8 y agregado fino como Arena y Filler (Polvo de roca) del depósito de la Prefectura del Oro Campamento Pedregal, ubicado en Pasaje, Buena Vista vía a Paccha.

Con el agregado grueso de 3/4 se obtuvo las siguientes propiedades como:

- Peso volumétrico suelto de 1.408 g/cm³
- Peso volumétrico compactado de 1.518 g/cm³
- Densidad de 2.61 g/cm³
- Peso específico aparente de 2.68 g/cm³
- Desgaste del 15.12%
- Absorción de 1.03%

Con el agregado grueso de 3/8 se obtuvo las siguientes propiedades como:

- Peso volumétrico suelto de 1.37 g/cm³
- Peso volumétrico compactado de 1.454 g/cm³
- Densidad de 2.66 g/cm³
- Peso específico aparente de 2.75 g/cm³
- Absorción de 1.23%

Con el agregado fino de Arena se obtuvo las siguientes propiedades como:

- Peso volumétrico suelto de 1.284 g/cm³
- Densidad de 2.50 g/cm³
- Módulo de Finura de 2.00
- Absorción de 4.2%

Con el agregado fino de Filler (Polvo de Roca) se obtuvo las siguientes propiedades como:

- Peso volumétrico suelto de 1.627 g/cm³
- Densidad de 2.60 g/cm³

- Peso específico aparente de 2.67 g/cm³
- Módulo de Finura de 2.00
- Absorción de 5.84%

Para pavimento rígido se realizó 2 tipos de diseños de resistencia 240 y 280 kg/cm², según el Plan de Ordenamiento Territorial de Machala la vía tiene alto flujo vehicular y con el análisis del Tráfico Promedio Anual se toma el diseño de 280 kg/cm² ya que tiene mayor durabilidad y alta calidad. (GAD Machala, 2022). Con las propiedades mencionadas anteriormente se realizó una dosificación de dicho hormigón para 6 probetas las cuales requieren:

- Cemento: 15.79 kg
- Agua: 7.58 kg
- Arena: 19.91 kg
- Triturado: 32.73 kg

Con los ensayos realizados se obtuvo la resistencia requerida de 280 kg/cm², estos resultados se presentan en el Anexo 9.

Para la elaboración de pavimento flexible se lo realizó con 5 porcentajes diferentes de asfalto los cuales fueron con el 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% para determinar el porcentaje óptimo, el cual está dentro del 5.5% y 6%. Según el ministerio de Transporte y Obras públicas para el ensayo Marshall la estabilidad fluctúa entre 8-13kN y el resultado de los ensayos se obtuvo 12.27kN, la deformación se encuentra en un rango de 2-4mm y en los ensayos se consiguió 2.4mm y la rigidez oscila entre 3-5kN/mm el resultado en laboratorio es de 5kN/mm.

4.3 Análisis del costo de la elaboración del pavimento rígido y pavimento flexible.

Para la elaboración de los costos se realizó un análisis de precios unitarios y a su vez considero el presupuesto referencial del GAD Machala, del proyecto de Regeneración Urbana de la Avenida Ferroviaria desde Avda. Edgar Córdova (Circ. Norte) hasta E-25 (El Cambio). (ABSC 0+000 - 5+480), Ciudad de Machala (GAD Machala, 2018) y asimismo el proyecto de Regeneración Urbana de varias calles, Avenidas y Obras de Saneamiento Básico, del Casco central de la Ciudad de Machala, del Cantón Machala, Provincia de El Oro.(GAD Machala, 2020).

Como resultado se obtuvo que para la elaboración de un pavimento rígido se obtuvo un precio unitario por m³ de \$115.70 y para el pavimento flexible un precio unitario por m² de \$13.61, dichos análisis se muestran en el Anexo 16.

4.3 Análisis del costo de mantenimiento del pavimento rígido y pavimento flexible.

Según el Plan vial integral de El Oro y el Plan Plurianual de Inversiones 2019-2023 del GAD Machala los costos de mantenimiento en vías del año 2023 fueron de \$11.800.000 los cuales abarcan toda la red vial de Machala el cual consta de 565.53 km, en pavimento flexible cuenta con 304.12 km lo que equivale a \$174.000 anualmente, por otro lado, el pavimento rígido refleja 68 km lo que corresponde a \$93.000 y en tanto el mantenimiento periódico el cual es cada 5 años es de \$72.737.529.(GAD Machala, 2019)

Con respecto a mantenimiento en pavimento flexible y rígido se elaboró los respectivos análisis de precios además se tomará como referencia dichos Planes ya mencionados para realizar una estimación de dichos costos los mismos que se mostraran en el Anexo 16.(CONGOPE, 2019)

4.4 Análisis del costo-beneficio.

Para realizar el análisis se utiliza el Trafico promedio anual el mismo que hace una proyección de 20 años para poder obtener los costos anuales de operación de vehículos respectivamente con la alternativa “sin proyecto” y “con proyecto” con esto conseguiremos el beneficio por ahorro.

En pavimento flexible con alternativa “sin proyecto” resulto una Tasa de interés de retorno de -7% y un valor actual neto de -307 miles de dólares, donde el costo por mantenimiento más construcción es mayor al precio por beneficio dando una relación del costo-beneficio de 0.89 y por lo tanto no se debe considerar esta alternativa.

Ilustración 16. Relación del costo-beneficio del pavimento flexible “sin proyecto”

Tasa Comparativa de banco (%)	12%	
Tasa de Descuento Utilizada (%)	21%	
Valor Actual Neto (VAN)	-307	Miles de dola
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-6.96%	
TIR	-7%	
Beneficios	\$2,452.18	
mantenimiento	(2,545.16)	
Construcción + mantenimiento	(2,758.77)	
B/C	0.89	

Nota. La ilustración representa la relación costo-beneficio del pavimento flexible con la alternativa “sin proyecto”. Fuente: Autor.

Por otro lado, la alternativa “con proyecto” se obtuvo una Tasa de interés de retorno de 21% y un valor actual neto de 477 miles de dólares, se denota que el costo de mantenimiento más construcción es menor al costo de beneficio resultando una relación del costo-beneficio de 1.24 indicando que por ser mayor a 1 el proyecto deber ser considerado.

Ilustración 17. Relación del costo-beneficio del pavimento flexible “con proyecto”

Tasa Comparativa de banco (%)	12%	
Tasa de Descuento Utilizada (%)	21%	
Valor Actual Neto (VAN)	477	Miles de dolares
Tasa Interna de Retorno (TIR)	21.24%	
TIR	21%	
Beneficios	\$2,452.18	
mantenimiento	(1,385.20)	
Construcción + mantenimiento	(1,975.20)	
B/C	1.24	

Nota. La ilustración representa la relación costo-beneficio del pavimento flexible con la alternativa “con proyecto”. Fuente: Autor.

En pavimento rígido con alternativa “sin proyecto” resulto una Tasa de interés de retorno de -7% y un valor actual neto de -440 miles de dólares, donde el costo por mantenimiento más construcción es mayor al precio por beneficio dando una relación del costo-beneficio de 0.85 y por lo tanto no se debe considerar esta alternativa.

Ilustración 18. Relación del costo-beneficio del pavimento rígido “sin proyecto”

Tasa Comparativa de banco (%)	12%	
Tasa de Descuento Utilizada (%)	21%	
Valor Actual Neto (VAN)	-440	Miles de dolares
Tasa Interna de Retorno (TIR)	-7.38%	
TIR	-7%	
Beneficios	\$2,452.18	
mantenimiento	(2,577.08)	
Construcción + mantenimiento	(2,892.08)	
B/C	0.85	

Nota. La ilustración representa la relación costo-beneficio del pavimento rígido con la alternativa “sin proyecto”. Fuente: Autor.

Por otro lado, la alternativa “con proyecto” se obtuvo una Tasa de interés de retorno de 20% y un valor actual neto de 234 miles de dólares, se denota que el costo de mantenimiento más construcción es menor al costo de beneficio resultando una relación del costo-beneficio de 1.29 indicando que por ser mayor a 1 el proyecto deber ser considerado.

Ilustración 19. Relación del costo-beneficio del pavimento rígido “con proyecto”

Tasa Comparativa de banco (%)	12%	
Tasa de Descuento Utilizada (%)	21%	
Valor Actual Neto (VAN)	234	Miles de dolares
Tasa Interna de Retorno (TIR)	19.99%	
TIR	20%	
Beneficios	\$1,054.15	
mantenimiento	(421.65)	
Construcción + mantenimiento	(819.65)	
B/C	1.29	

Nota. La ilustración representa la relación costo-beneficio del pavimento rígido con la alternativa “con proyecto”. Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

- Con la investigación bibliográfica realizada, se logró determinar los métodos y bases teóricas para obtener un correcto análisis del costo-beneficio de la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos, para brindar mayor calidad en las vías urbanas de la ciudad de Machala.
- Con los ensayos en laboratorio elaborados se consiguió poner a prueba los dos tipos de capa de rodadura y determinar cuál es el más óptimo. Así mismo, con el análisis del precio de la capa de rodadura, precio de mantenimiento, se pudo determinar cuál de los tipos de pavimentos va a ser el más factible a utilizarlo por medio del TIR y el VAN el mismo que nos indicara el análisis del costo-beneficio del dicho pavimento
- Mediante la ayuda del Excel de Viabilidad financiera el cual cuenta con dos alternativas que son “con proyecto” y “sin proyecto”, analizando esto nos ayuda a establecer si es factible, al realizarlo con los tipos de capa de rodadura se pudo obtener que con proyecto es más factible, ya que con los resultados obtenidos del pavimento flexible nos da un TIR de (21%) y un VAN de (477 miles de dólares), con respecto al análisis del costo-beneficio esto es factible a cuanto costo de inversión por que el costo-beneficio nos da como resultado 1.24. Por otro lado, el pavimento rígido nos da un TIR de (20%) y un VAN de (234 miles de dólares), que a su vez realizando el mismo análisis del costo-beneficio es factible ya que en este caso nos da como resultado 1.29, por lo tanto, se concluye que el tipo de capa de rodadura a utilizarse más factible será el pavimento rígido porque tiene un valor de costo-beneficio de 1.29 el cual es mayor al del pavimento flexible.

RECOMENDACIONES

- Para profundizar en el tema se debe desarrollar una investigación bibliográfica profunda, pues esto será de gran ayuda para dominar el tema a tratar
- Al realizar las probetas de hormigón es recomendable hacer el diseño con un porcentaje de desperdicio por que al momento de colarlo siempre existe pérdida y por lo tanto puede fallar al momento de hacer los ensayos de resistencia.
- Para la elaboración de las briquetas de asfalto se sugiere realizar la compactación aplicando un mismo intervalo de tiempo al momento de realizar los 75 golpes de una cara de la briqueta al igual que la otra cara, asegurándose que el molde este fijo en la base de compactación de madera.
- Al realizar el análisis de precios unitarios es importante tener precios de diferentes proveedores para poder estimar un precio representativo ya que con el pasar del tiempo los precios van aumentando con respecto a materiales, maquinarias y herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunga, D., Rachman, R., & Selintung, M. (2019). Efecto de la variación de la colisión sobre el índice de resistencia retenida de la capa de desgaste de hormigón asfáltico mixto. *International Journal of Scientific Engineering and Science* .
- Cui, W. W., Cai, X., Tang, H., & Huang, W. (2020). Optimizing Gradation Design for Ultra-Thin Wearing Course Asphalt. *Materials*, 189.
- Erman, O., & Al-Qadi, I. (2022). Wander 2D: a flexible pavement design framework for autonomous and connected trucks. *International Journal of Pavement Engineering*.
- Fiorentini, N., Huang, J., Cuciniello, G., Leandri, P., & Losa, M. (2023). Comparación del desempeño de estructuras de pavimento de piedra históricas y regulares en áreas urbanas con tráfico mediante el método de elementos finitos (FEM). *Infraestructuras*, 115.
- Gobierno
- CONGOPE. (2019). *El-Oro-plan-vial-integral (1)*.
- De, D., De, C., Vida, L. A., Hinojosa, C., Esther, C., Guevara, V., Elizabeth, S., Billy, I., & Espinoza, C. (2020). *Análisis del método de pesado total y el estadístico para determinar la generación PER CÁPITA de los residuos sólidos en el Cantón Loreto*. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/814>
- GAD Machala. (2018). *Regeneración Urbana de la Avenida Ferroviaria desde Avda. Edgar Córdova (Circ. Norte) hasta E-25 (El Cambio). (ABSC 0+000 - 5+480), Ciudad de Machala*.
- GAD Machala. (2019). *Plan Plurianual de Inversiones 2019-2023 - Reforma 1*.
- GAD Machala. (2020). *Regeneración Urbana de varias calles, Avenidas y Obras de Saneamiento Básico, del Casco central de la Ciudad de Machala, del Cantón Machala, Provincia de El Oro*.
- GAD Machala. (2022). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTON MACHALA 2019-2030*.

Gupta, B. R. (2022). Rheology Applied in Polymer Processing. *Rheology Applied in Polymer Processing*. <https://doi.org/10.1201/9781003344971/RHEOLOGY-APPLIED-POLYMER-PROCESSING-GUPTA>

Investigación reológica del asfalto y el betún | Anton Paar Wiki. (n.d.). Retrieved February 14, 2024, from <https://wiki.anton-paar.com/co-es/principios-basicos-de-reologia/investigacion-reologica-del-asfalto-y-el-betun/>

Medina, L., Muniz de Farias, M., Recarey, C., Medina, L., Muniz de Farias, M., & Recarey, C. (2020). Evaluación reológica y mecánica de un aglutinante asfáltico modificado por polímeros. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(2), 170–181. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000200170>

Padilla Rodríguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

Solís-Carcaño, R. G., Moreno, E. I., & Arjona-Otero, E. (2012). Evaluación del concreto con bajas relaciones agua/cemento y agregados calizos de alta absorción. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(4), 43–50. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Autónomo Descentralizado de Machala. (2019). *Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial*. Machala: Machala Alcaldía.

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de El Oro*. Machala: Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro.

Hoang, V., Nguyen, Q., Tran, A., Tran, T., & Do, T. (2022). Mechanical behavior of the asphalt wearing surface on an orthotropic steel bridge deck under cyclic loading. *Case Studies in Construction Materials*, 836.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2020). *Proyección de la población eduactoriana por años, según cantones y provincias 2010-2020*.

- Kareem, H., & Albayati, A. (2022). La posibilidad de minimizar el deterioro por rodadura en la capa de desgaste de hormigón asfáltico. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8063-8072.
- Kartika, L., Hadiwardoyo, S., & Sumabrata, R. (2019). Rutting deformation of gap-graded hot-mix asphalt with added of waste tire rubber. *AIP Conf. Proc.*, 1-8.
- Kumar, A. (2017). A Study of Design and Methods of Rigid and Flexible Highway Pavements . *JETIR*, 558-564.
- Lantieri, C., Ghasemi, N., Cotignoli, L., Vignali, V., & Simone, A. (2022). La evaluación de los efectos de los derrames peligrosos por accidentes de tráfico en el comportamiento superficial de una capa de asfalto. *International Journal of Pavement Engineering*.
- Mashaan, N. (2022). Engineering Characterisation of Wearing Course Materials Modified with Waste Plastic. *Recycling* , 61-81.
- Mingjun, H., Lihan, L., & Fangxing, P. (2019). Laboratory investigation of OGFC-5 porous asphalt ultra-thin wearing course. *Construction and Building Materials*, 101-110.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas . (Septiembre de 2022). *Programas y Servicios*. Obtenido de Mapa de la Red Vial Estatal - Ecuador:
<https://www.obraspublicas.gob.ec/mapa-estado-de-carreteras-ecuador/>
- Muhammad, K., & Arshad, H. (2019). Rutting and moisture susceptibility assessment of asphalt wearing course gradations. *The civil engineering journal*, 458-468.
- Nouman, M., Maqbool, Z., Ali, S., & aleem, A. (2022). Performance evaluation of wearing course asphalt mixes based on resilient modulus, indirect tensile strength and marshall stability. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 63–72.
- Pérez, H., Gonzalo, H., Findley, D., & Rojí, E. (2021). Modeling the international roughness index performance on semi-rigid pavements in single carriageway roads. *Construction and Building Materials*.
- Prayogo, E., Suherman, S., & Khairini, N. (2020). Características de las mezclas de hormigón asfáltico-capa de desgaste (AC-WC) utilizando residuos de hormigón como árido rugoso y adición de Wetfix-Be. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 830.

- Radević, A., Isailović, I., Wistuba, M., Zakić, D., Orešković, M., & Mladenović, G. (2020). El impacto del agregado de hormigón reciclado en la rigidez, la fatiga y el rendimiento a baja temperatura de las mezclas asfálticas para la construcción de carreteras. *Sustainability*, 3949.
- Shreyas, P., Shubham, A., En-Hua, Y., Ashoke, S., Ajit, S., & Mukund, L. (2020). Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review. *Construction and Building Materials*, 101-110.
- Suyuti, R., Sumabrata, R., Hadiwardoyo, S., & Iskandar, D. (2019). The use of reclaimed asphalt pavement by adding retona asbuton on asphalt concrete wearing course using the warm mix asphalt method. *AIP Conf. Proc*, 040002-1-040002-7.
- Trujillo, J. (2023). *Ejecución de pavimentos de hormigón impreso*. Antequera: IC Editorial.
- Tumpu, M., Tjaronge, M., Djamaluddin, A., & Amiruddin, A. (2020). Efecto de la piedra caliza y el asfalto granular (BGA) sobre la densidad de la mezcla de capa de rodadura de hormigón asfáltico (AC-WC). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Yavuz, A. (2020). Una evaluación relativa de los costos del ciclo de vida de los recubrimientos de pavimento rígido y flexible en Turquía. *European Journal of Science and Technology*, 918-926.
- Yu, J., Chen, Y., Wei, X., Dong, N., & Yu, H. (2022). Performance Evaluation of Ultra-Thin Wearing Course with Different Polymer Modified Asphalt Binders. *Polymers*, 3235.
- Yu, Liu, Peifeng, S., Miaomiao, L., Zhanping, Y., & Mohan, Z. (2020). Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials,. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 573-599.
- Zhu, S., Ji, X., Zhang, Z., Shao, D., Li, H., & Yun, C. (2022). Características de evolución de la textura superficial de la capa de rodadura sobre pavimento asfáltico en base al pulido acelerado del pavimento. *Construction and Bulding Materials*.

ANEXOS

Anexo 1.

Peso volumétrico
suelto y varillado para
agregado fino y grueso

Peso unitario compactado GRAVA 3/4.

PESO UNITARIO COMPACTADO				
Mc=B-P	MASA DEL MATERIAL COMPACTADO			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	
B	29400	29600	29450	g
P	9000	9000	9000	g
Mc	20400	20600	20450	g
PESO UNITARIO COMPACTADO				
Mc	20400	20600	20450	g
V	13491.78	13491.78	13491.78	cm ³
P _{uc}	1.512	1.527	1.516	g/cm ³
PROMEDIO	1.518			g/cm ³

Peso unitario suelto GRAVA 3/4.

PESO UNITARIO SUELTO				
Ms=A-P	MASA DEL MATERIAL SUELTO			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	
A	28000	28100	27900	g
P	9000	9000	9000	g
Ms	19000	19100	18900	g
PESO UNITARIO SUELTO				
Ms	19000	19100	18900	g
V	13491.78	13491.78	13491.78	cm ³
P _{us}	1.408	1.416	1.401	g/cm ³
PROMEDIO	1.408			g/cm ³

Molde GRAVA 3/4.

MOLDE	Longitud	Diámetro	Unidad
1	27.1	25.1	cm
2	27.5	25	cm
3	27.2	25.2	cm
Promedio	27.3	25.10	cm
Área	494.81		cm ²
Volumen	13491.78		cm ³
Volumen	0.013		m ³



Peso unitario suelto ARENA.

PESO UNITARIO SUELTO				
Ms=A-P	MASA DEL MATERIAL SUELTO			
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	
A	5972	5984	5974	g
P	2482	2482	2482	g
Ms	3490	3502	3492	g
PESO UNITARIO SUELTO				
Ms	3490	3502	3492	g
V	2722.03	2722.03	2722.03	cm ³
P _{us}	1.282	1.287	1.283	g/cm ³
PROMEDIO	1.284			g/cm ³

Molde ARENA.

MOLDE	Longitud	Diámetro	Unidad
1	15.3	15	cm
2	15.1	15.1	cm
3	15	15.3	cm
Promedio	15.1	15.13	cm
Área	179.87		cm ²
Volumen	2722.03		cm ³
Volumen	0.0027		m ³



Anexo 2. Densidades y porcentaje de absorción para agregado grueso

Gravedad específica del agregado grueso.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS			
MUESTRA:	GRAVA 3/4	REVISO:	Ing. Paul Cabrera
OPERADOR:	CP	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		FUENTE:	
CANASTILLA			
MUESTRA N°			1 (Arena)
Masa de la muestra seca	(g)	A	990.00
Masa de la muestra saturada superficial	(g)	B	1000.20
Masa de la muestra sumergida	(g)	C	620.60
Gravedad Especifica		$Ge=A / (B - C)$	2.61
Gravedad especifica del material saturado con superficie seca		$Ges=B / (B - C)$	2.63
Gravedad especifica aparente		$Gea=A/(A-C)$	2.68
Porcentaje de Absorción	%	$\% \text{ Abs} = ((B - A) / A) * 100$	1.03

Densidad

DENSIDAD		
d	2.61	g/cm3



Anexo 3. Densidades y porcentaje de absorción para agregado fino

Gravedad específica del agregado fino.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS			
MUESTRA:	Arena	REVISO:	Ing. Paul Cabrera
OPERADOR:	CP	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Finos	FUENTE:	
MÉTODO DE LA PROBETA GRADUADA			
MUESTRA N°			1 (Arena)
Peso del recipiente	(g)	P1	804.00
Rec + agregado sss	(g)	P2	1304.00
Peso del agregado sss	(g)	A = P2 - P1	500.00
Volumen inicial del frasco	(cm3)	Vo	500.00
Volumen final del frasco	(cm3)	Vf	700.00
Volumen final del agregado	(cm3)	C = Vf - Vo	200.00
Peso del agregado seco	(g)	W	480.00
Gravedad Específica SSS	(g/cm3)	G sss = A / C	2.500
Gravedad Específica MASA	(g/cm3)	G masa = W / C	2.400
Gravedad Específica APARENTE	(g/cm3)	G ap. = W / (C - (A - W))	2.667
Porcentaje de Absorción	%	% Abs = ((A - W) / W) * 100	4.167

Densidad de arena

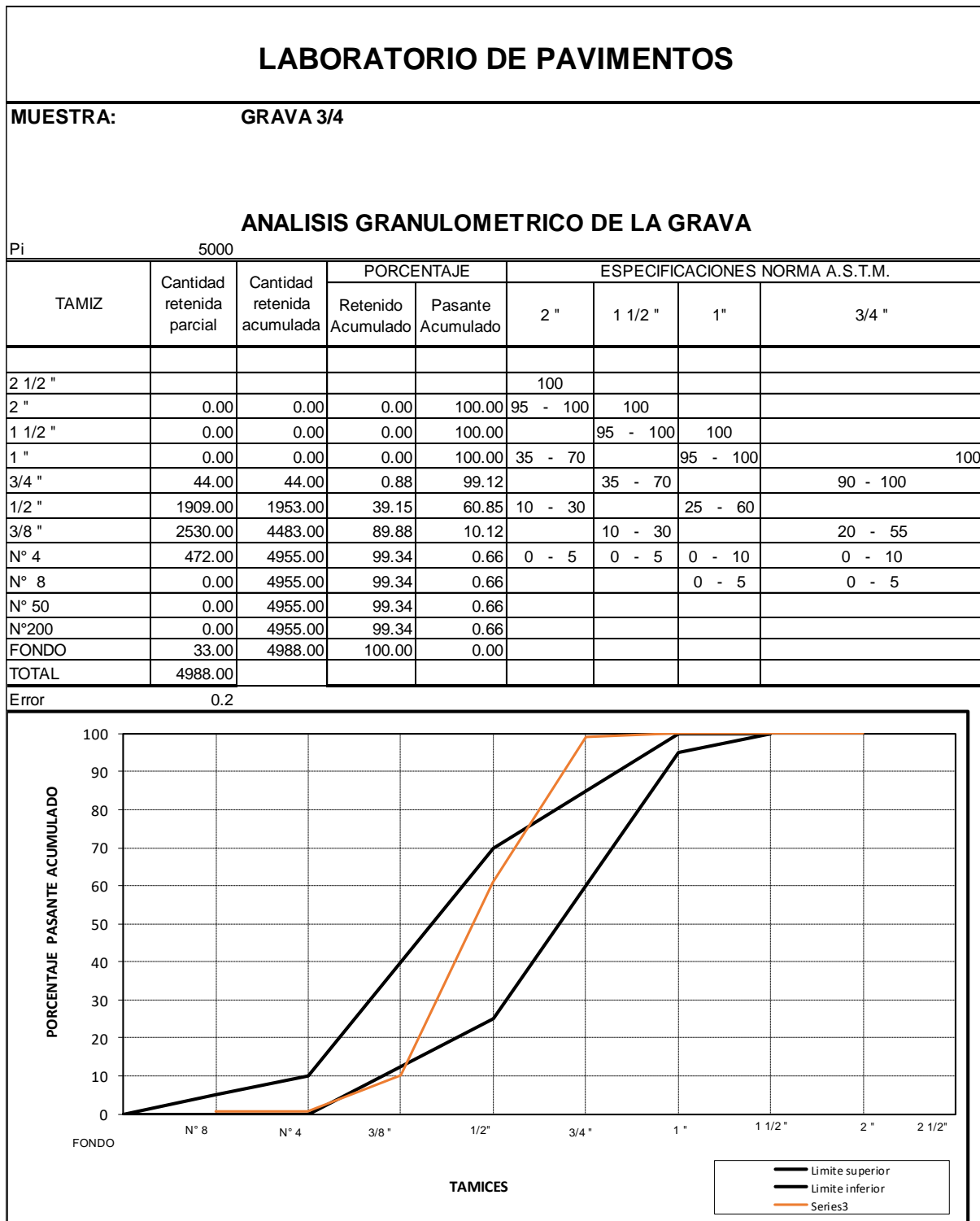
Densidad del arena		
Datos	Peso	500 gr
	V.Inicial	500 cm3
	V.Final	700 cm3
	Volumen	200 cm3
Densidad		2.500 gr/cm3
Según norma NTE INEN 152, densidad desde 2.4 hasta 3 gr/cm3		



Anexo 4.
Análisis
granulométrico para
agregado fino y grueso

Análisis granulométrico

Grava 3/4



Arena

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

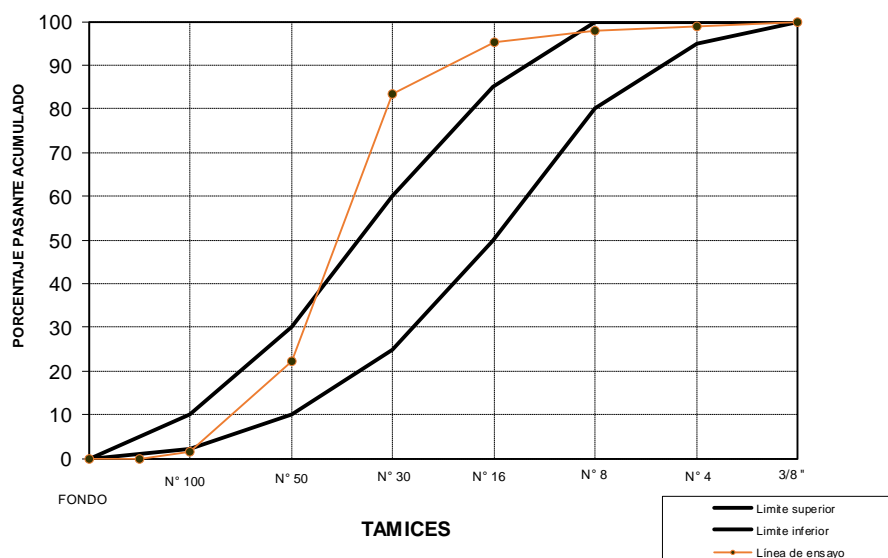
MUESTRA ARENA

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS

Pi 500

TAMIZ	Milímetros	Cantidad retenida parcial	Cantidad retenida acumulada	PORCENTAJE		ESPECIFICACIONES % QUE PASA
				Retenido Acumulado	Pasante Acumulado	
3/8 "	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
N° 4	4.75	5.00	5.00	1.01	98.99	95 - 100
N° 8	2.36	6.00	11.00	2.21	97.79	80 -100
N° 16	1.19	12.00	23.00	4.63	95.37	50 - 85
N° 30	600 micron.	59.00	82.00	16.50	83.50	25 - 60
N° 50	300 micron.	304.00	386.00	77.67	22.33	10 - 30
N° 100	150 micron.	103.00	489.00	98.39	1.61	2 - 10
N° 200		8.00	497.00	100.00	0.00	
FONDO		0.00	497.00	100.00	0.00	
TOTAL		497.00				

Error 0.60



% PASANTE N° 200 METODO LAVADO)	PESO INICIAL 500 gramos	PESO FINAL 480.00 gramos
	% PASANTE	
DENSIDAD D.S.S.S.:	2.914 Kg/m ³	
PESO VOLUM. SUELTO	1.570 Kg/m ³	
MODULO DE FINURA	2.004 ESPECIF.: entre 2.30 - 3.10	
OBSERVACIONES		



Anexo 5.
Desgaste de agregado
grueso.

DESGASTE DE LOS ÁRIDOS				
Pi	5000	g	N# VUELTAS	500
Pf	756	g	RETENIDO #12	4214.5
% Desgaste	15.12		PASANTE #12	756
				4970.5

En base a la norma AASTHO T96 cumple ya que el desgaste es menor al 40% por lo que consideramos que el material es óptimo y de buena calidad.



Anexo 6.
Impurezas orgánicas
en el agregado

Impurezas arena

Ensayo de Impurezas	
Arena pasante N°16 y 30	200 gr
Silicato de sodio	30 gr



Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.

Anexo 7.
Ensayo de densidad
del cemento

Densidad del cemento

DENSIDAD DEL CEMENTO		
γ	2.9	gr/cm ³



Anexo 8.

Método ACI para el
diseño de mezclas de
hormigón.

Diseño de 240 kg/cm²

240		
CILINDRO		
b	15	cm
h	30	cm
A	176.71	cm ²
V	5301.44	cm ³
n moldes	6.5	
volumen de hormigón	34459.34	cm ³
	0.034	m ³
	34.46	Lts

PARA 1M3		PESOS	
cemento	440	15.16	kg
agua	220	7.58	kg
arena	583.94	20.12	kg
triturado	959.86	33.08	kg
total	2203.804	75.94	kg

Diseño de 240 kg/cm²

280		
CILINDRO		
b	15	cm
h	30	cm
A	176.71	cm ²
V	5301.44	cm ³
n moldes	6.5	
volumen de hormigón	34459.34	cm ³
	0.034	m ³
	34.46	Lts

PARA 1M3		PESOS	
cemento	458.33	15.79	kg
agua	220.00	7.58	kg
arena	577.88	19.91	kg
triturado	949.88	32.73	kg
total	2206.09	76.02	kg

Anexo 9.
Depósito de la
Prefectura de El Oro
Campamento Pedregal

Resultados de Resistencia de Diseño de 24 kg/cm²

RESISTENCIA DE DISEÑO			
Días	7 días	14 días	28 días
Porcentaje de resistencia	65%-70%	80%-90%	100%
Resistencia en MPa	15.6	20.4	24

7 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 7 días: 22/DIC/2023			
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)	
1	12653	176.71	5,442.67	2.32	311.56	179.91	17.78	
2	12409	176.71	5,389.66	2.30	270.63	156.27	15.44	
				PROMEDIO	2.31	291.10	168.09	16.61

14 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 14 días: 29/DIC/2023			
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)	
1	12272	176.71	5,389.66	2.28	381.87	220.51	21.79	
2	12523	176.71	5,389.66	2.32	396.97	229.23	22.65	
				PROMEDIO	2.30	389.42	224.87	22.22

28 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 28 días: 12/ENE/2024			
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)	
1	12932	183.85	5,515.50	2.34	437.86	243.02	24.01	
2	12272	176.71	5,248.29	2.34	438.74	253.35	25.03	
				PROMEDIO	2.34	438.30	248.18	24.52

Resultados de Resistencia de Diseño de 28 kg/cm²

RESISTENCIA DE DISEÑO			
Días	7 días	14 días	28 días
Porcentaje de resistencia	65%-70%	80%-90%	100%
Resistencia en MPa	19.6	23.8	28

7 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 7 días: 22/DIC/2023		
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
1	12482	176.71	5,407.33	2.31	375.01	216.55	21.40
2	12057	172.03	5,143.70	2.34	306.56	181.84	17.97
PROMEDIO				2.33	340.79	199.19	19.68

14 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 14 días: 29/DIC/2023		
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
1	12551	181.46	5,443.75	2.31	413.35	232.44	22.97
2	12175	176.71	5,301.30	2.30	431.20	248.99	24.60
PROMEDIO				2.30	422.28	240.72	23.79

28 días

Cilindros	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Fecha a los 28 días: 12/ENE/2024		
					Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (MPa)
1	12556	174.37	5,231.10	2.40	491.33	287.52	28.41
2	12041	172.03	5,160.90	2.33	490.63	291.02	28.76
PROMEDIO				2.37	490.98	289.27	28.58

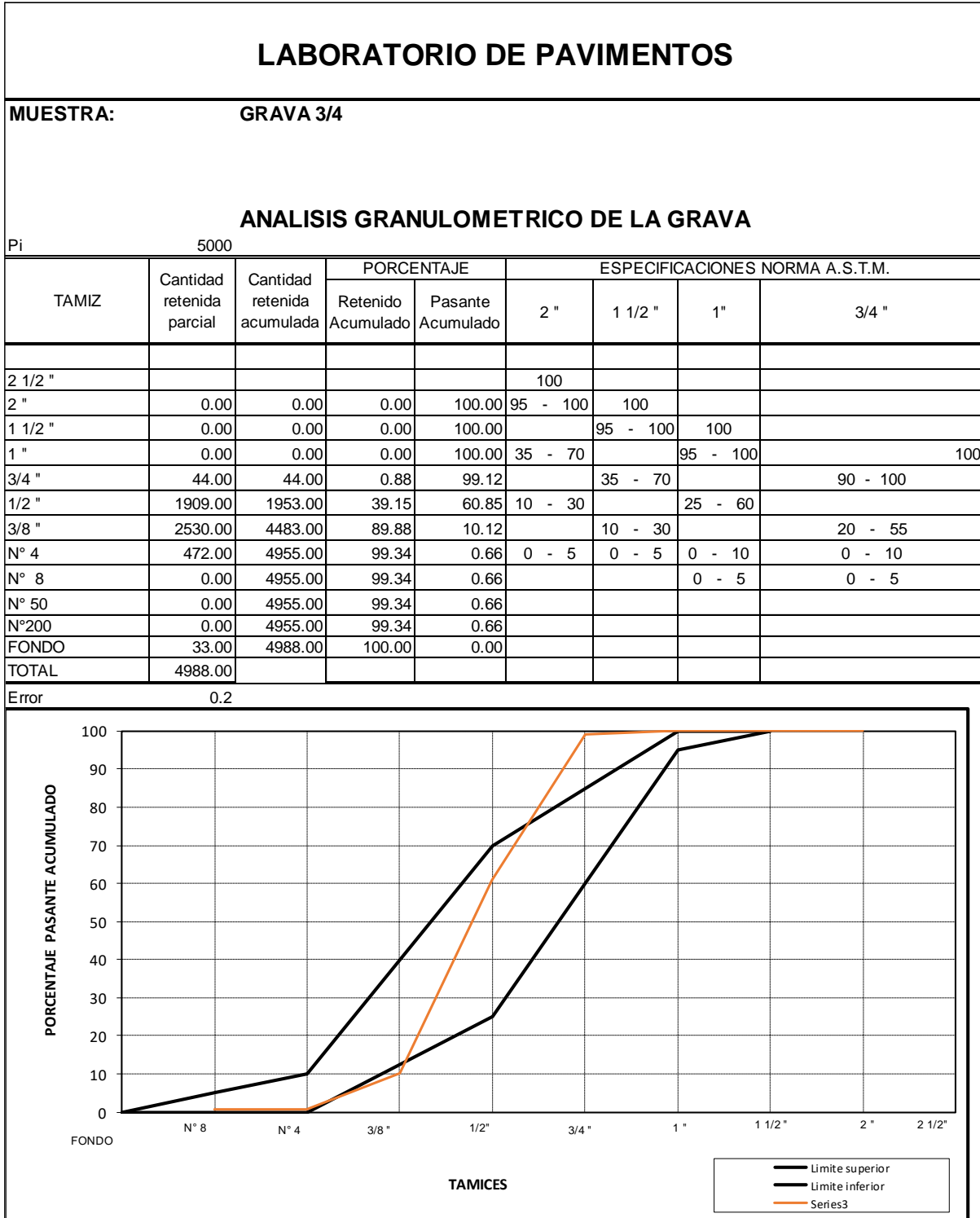


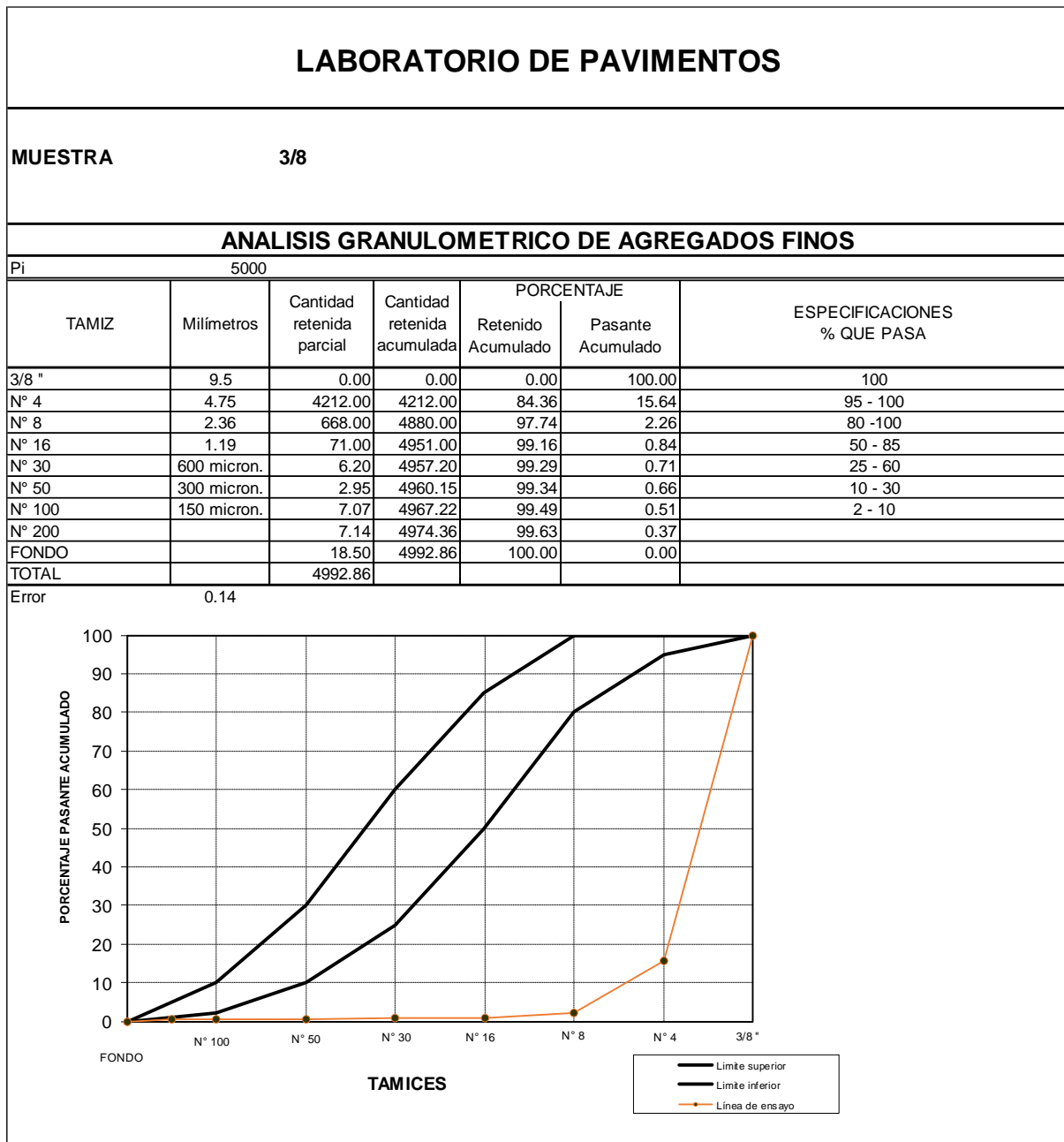


Anexo 10.
Granulometría de los
áridos.

Análisis granulométrico

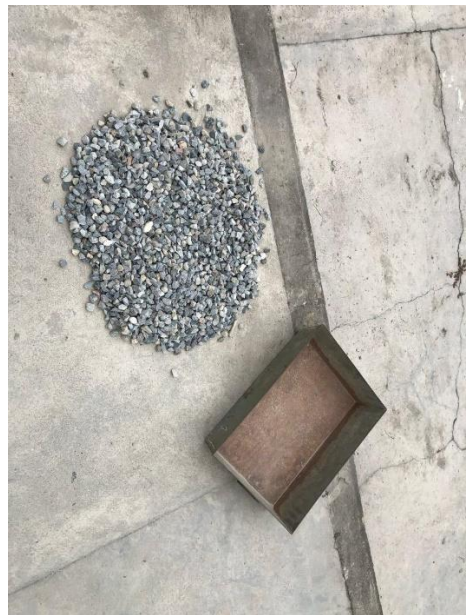
Grava 3/4





Filler (Polvo de Roca)

LABORATORIO DE PAVIMENTOS						
MUESTRA:		FILLER				
ANALISIS GRANULOMETRICO DE POLVO DE PIEDRA						
PI		1000				
TAMIZ	Milímetros	Cantidad retenida parcial	Cantidad retenida acumulada	PORCENTAJE		ESPECIFICACIONES % QUE PASA
				Retenido Acumulado	Pasante Acumulado	
3/8 "	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100
N° 4	4.75	1.82	1.82	0.18	99.82	95 - 100
N° 8	2.36	209.74	211.56	21.23	78.77	80 - 100
N° 16	1.19	287.00	498.56	50.03	49.97	50 - 85
N° 30	600 micron.	205.00	703.56	70.60	29.40	25 - 60
N° 50	300 micron.	150.00	853.56	85.65	14.35	10 - 30
N° 100	150 micron.	69.00	922.56	92.57	7.43	2 - 10
N° 200		37.00	959.56	96.29	3.71	
FONDO		37.00	996.56	100.00	0.00	
TOTAL		996.56				
ERROR		0.344				
% PASANTE N° 200 METODO LAVADO)		PESO INICIAL	1000	gramos		
		PESO FINAL	0.00	gramos		
		% PASANTE				
DENSIDAD D.S.S.S.:		0.000 Kg/m ³				
PESO VOLUM. SUELTO		0.000 Kg/m ³				
MODULO DE FINURA		4.166 ESPECIF.: entre 2.30 - 3.10				
OBSERVACIONES						



Anexo 11.
Densidad relativa
(Gravedad específica)
de los áridos.

Gravedad específica del agregado grueso 3/4.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS			
MUESTRA:	GRAVA 3/4	REVISO:	Ing. Paul Cabrera
OPERADOR:	CP	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		FUENTE:	
CANASTILLA			
MUESTRA N°			1 (Arena)
Masa de la muestra seca	(g)	A	990.00
Masa de la muestra saturada superficial	(g)	B	1000.20
Masa de la muestra sumergida	(g)	C	620.60
Gravedad Especifica		$Ge=A / (B - C)$	2.61
Gravedad específica del material saturado con superficie seca		$Ges=B / (B - C)$	2.63
Gravedad específica aparente		$Gea=A/(A-C)$	2.68
Porcentaje de Absorción	%	$\% \text{ Abs} = ((B - A) / A) * 100$	1.03

Densidad

DENSIDAD		
d	2.61	g/cm3

Gravedad específica del agregado grueso 3/8.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS			
MUESTRA:	GRAVA 3/8	REVISO:	Ing. Paul Cabrera
OPERADOR:	CP	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:		FUENTE:	
CANASTILLA			
MUESTRA N°			1 (Arena)
Masa de la muestra seca	(g)	A	978.00
Masa de la muestra saturada superficial	(g)	B	990.00
Masa de la muestra sumergida	(g)	C	622.36
Gravedad Especifica		$Ge=A / (B - C)$	2.66
Gravedad específica del material saturado con superficie seca		$Ges=B / (B - C)$	2.69
Gravedad específica aparente		$Gea=A/(A-C)$	2.75
Porcentaje de Absorción	%	$\% \text{ Abs} = ((B - A) / A) * 100$	1.23

Densidad

DENSIDAD		
d	2.66	g/cm3

Gravedad específica del agregado fino Filler.

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS			
MUESTRA:	Polvo de Roca	REVISO:	Ing. Paul Cabrera
OPERADOR:	CP	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Finos	FUENTE:	
METODO DE LA PROBETA GRADUADA			
MUESTRA N°			1 (Arena)
Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	(g)	A	500.00
Peso fiola + agua	(g)	B	696.00
Peso fiola + muestra SSS + agua	(g)	C	991.51
Volumen de masa + volumen de vacíos (BRUTO)	(cm3)	$D=(A+B)-C$	204.49
Peso de material seco en el horno	(cm3)	E	472.41
Volumen de masa (NETO)	(cm3)	$F=D-(A-E)$	176.90
Promedio	(g)		
P.e. Bulk (Base Seca)	(g/cm3)	E/D	2.600
P.e. Bulk (Base Saturada)	(g/cm3)	A/D	2.445
P.e. Aparente (Base Seca)	(g/cm3)	E/F	2.670
Porcentaje de Absorción	%	$\% \text{ Abs} = ((A - E) / E) * 100$	5.840

Densidad



Anexo 12.
Densidad de materiales
bituminosos.

Densidad de material bituminoso

ENSAYO	M1	M2	M3	M4	Ge
1	34.7	59.5	45	59.5	1
2	30.5	57	39.2	56.4	0.935
3	34.77	59.56	39.57	59.59	1.006
4	34.8	59.5	41.4	59.5	1
5	30.51	56.57	37.56	56.42	0.979
6	34.9	59.7	40.6	59.6	0.983
7	30.6	57.2	41.6	56.7	0.957
8	30.6	56.6	39.9	56.1	0.949
9	30.6	57.2	41.6	56.7	0.957
10	34.8	59.6	43	59.6	1
					0.977

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica} \times W_c$$

W_c = peso unitario del agua a la temperatura del ensayo

Temperatura del ensayo		Peso unitario del agua	
°C	°F	gr/cm ³	Lbs/gal
15.6	60	0.9990	8.337
25.0	77	0.9971	8.321

Densidad 0,974 gr/cm³

PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Los valores encontrados para la precisión, de los ensayos realizados por un mismo operador y equipo sobre una misma muestra.

Temperatura del ensayo		Precisión y tolerancias	
°C	°F	Desviación típica	Diferencia máxima entre 2 ensayos
15.6	60	0.0013	0.003
25.0	77	0.00082	0.002

Desviación típica muestral:

0.025

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Desviación típica poblacional:

0.024

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

ENSAYO	M1	M2	M3	M4	Ge
5	30.51	56.57	37.56	56.42	0.979
6	34.9	59.7	40.6	59.6	0.983

Desviación típica muestral:

0.003

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \frac{(-0.002)^2 + (0.002)^2}{1} = 0.003$$

Desviación típica poblacional:

0.002

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\sigma = \frac{(-0.002)^2 + (0.002)^2}{2} = 0.002$$



Anexo 13.
Extracción del
cemento asfáltico.

Extracción de cemento asfáltico

MUESTRA			
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	W1	584	gr
PESO DE LA MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO	W2	536	gr

PAPEL FILTRO			
PESO DEL PAPEL FILTRO ANTES DEL ENSAYO	W3	21	gr
PESO DEL PAPEL FILTRO DESPUÉS DEL ENSAYO	W4	24	gr





Anexo 14.

Consistencia del
cemento asfáltico.

Consistencia del cemento asfáltico

ENSAYO	DIAL (MM)	DIVISIONES
1	20.6	206
2	16.15	162
3	13.5	135
4	9.8	98
5	9.15	92
6	8.7	87
7	9.7	97
8	7.5	75

Tabla Nro.5 Relación entre valores de penetración (NTE INEN 0917:83)

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	Mayor a 250
Máxima diferencia entre el mayor y menor valor	2	4	6	8

50 a 149	DIFERENCIA	4
----------	-------------------	---

ENSAYO	DIVISIONES	MEDIA	Xi-X	(Xi-X) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
4	98	96	2	4	2.65
5	92		-4	16	
7	97		1	1	

PRECISIÓN Y TENDENCIA					
$\sigma=0.8+0.03(X-60)$				1.88	
$\sigma=2.5+0.05(X-60)$				4.30	
1.88	<	2.65	>	4.30	OK

Symbols:

x = penetration test result (units)

s = standard deviation of penetration test result (units)

Single Operator Precision at 25°C	if x < 60, then s = 0.8
	if x > 60, then s = 0.8 + 0.03 (x-60)
Multilab Precision at 25°C	if x < 60, then s =2.5
	if x > 60, then s = 2.5 + 0.05 (x-60)
Single Operator Precision at 4°C	s = 0.8 + 0.02 (x)
Multilab Precision at 4°C	s = 2.5 + 0.08 (x)

Anexo 15.

Diseño de Mezcla
Asfáltica por el
Método Marshall

Cálculo de materiales para conformar las probetas

Combinación obtenida	1 probeta 3 probetas			
	% Pasado	% Retenido	1200	3600
1 1 / 2	100	0	0	0
1	100	0	0	0
3/4	99	1	12	36
1/2	87	12	144	432
3/8	71	16	192	576
#4	54	17	204	612
#8	41	13	156	468
#16	26	15	180	540
#30	15	11	132	396
#50	8	7	84	252
#100	4	4	48	144
#200	2	2	24	72
filler		2	24	72
		100	1200	3600

	fracciones de áridos			Total
	19-10 mm (%)	10-5 mm (%)	0-5 mm (%)	
% fracción	32	16	52	100
1 probeta	384	192	624	1200
3 probetas	1152	576	1872	3600

1 probeta

% ligante/ sobre mezcla	% áridos/ mezcla	g áridos	g mezcla	g ligante/ mezcla	% ligante/ sobre árido
5.0	95.0	1200	1263.16	63.16	4.8
5.5	94.5	1200	1269.84	69.84	5.2
6.0	94.0	1200	1276.60	76.60	5.6
6.5	93.5	1200	1283.42	83.42	6.1
7.0	93.0	1200	1290.32	90.32	6.5

	fracciones de áridos		
g ligante/ mezcla	19-10 mm (%)	10-5 mm (%)	0-5 mm (%)
		32	16
63.2	384.00	192.0	624.0
69.8	384.00	192.0	624.0
76.6	384.00	192.0	624.0
83.4	384.00	192.0	624.0
90.3	384.00	192.0	624.0

3 probetas

% ligante/ sobre mezcla	% áridos/ mezcla	g áridos	g mezcla	g ligante/ mezcla	% ligante/ sobre árido
5.0	95.0	3600	3789.47	189.47	4.8
5.5	94.5	3600	3809.52	209.52	5.2
6.0	94.0	3600	3829.79	229.79	5.6
6.5	93.5	3600	3850.27	250.27	6.1
7.0	93.0	3600	3870.97	270.97	6.5

	fracciones de áridos		
g ligante/ mezcla	19-10 mm (%)	10-5 mm (%)	0-5 mm (%)
		32	16
189.5	1152.0	576.0	1872.0
209.5	1152.0	576.0	1872.0
229.8	1152.0	576.0	1872.0
250.3	1152.0	576.0	1872.0
271.0	1152.0	576.0	1872.0

% asfalto	fracciones de áridos			gramos para 1 probeta (g)	1200				gramos para 3 probeta (g)	3600		
	19-10 mm (%)	10-5 mm (%)	0-5 mm (%)	asfalto (g)	19-10 mm (g)	10-5 mm (g)	0-5 mm (g)	asfalto (g)	19-10 mm (g)	10-5 mm (g)	0-5 mm (g)	
	32	16	52									
5.0	30.4	15.2	49.4	60	364.8	182.4	592.8	180	1094.4	547.2	1778.4	
5.5	30.2	15.1	49.1	66	362.9	181.4	589.7	198	1088.64	544.32	1769.04	
6.0	30.1	15.0	48.9	72	361.0	180.5	586.6	216	1082.88	541.44	1759.68	
6.5	29.9	15.0	48.6	78	359.0	179.5	583.4	234	1077.12	538.56	1750.32	
7.0	29.8	14.9	48.4	84	357.1	178.6	580.3	252	1071.36	535.68	1740.96	

1 probeta		1200			
% ligante/ sobre mezcla	% áridos/ mezcla	g áridos	g mezcla	g ligante/ mezcla	% ligante/ sobre árido
5.0	95.0	1200	1263.15789	63.16	4.8
5.5	94.5	1200	1269.8	69.8	5.2
6.0	94.0	1200	1276.6	76.6	5.6
6.5	93.5	1200	1283.4	83.4	6.1
7.0	93.0	1200	1290.3	90.3	6.5
				Cantidad de asfalto a añadir	

3 probetas					
% ligante/ sobre mezcla	% áridos/ mezcla	g áridos	g mezcla	g ligante/ mezcla	% ligante/ sobre árido
4.5	95.5	3600	3769.6	169.6	4.3
5.5	94.5	3600	3809.5	209.5	5.2
6.5	93.5	3600	3850.3	250.3	6.1
7.5	92.5	3600	3891.9	291.9	6.9
8.5	91.5	3600	3934.4	334.4	7.8

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MÉTODO MARSHALL

Pesos específicos de los agregados:

ÁRIDOS GRUESOS: 19 - 10 mm EL PEDREGAL	Peso Específico corriente:	2.610	g/cm ³
	Peso Específico Aparente:	2.680	g/cm ³
ÁRIDOS GRUESOS: 10 - 5 mm EL PEDREGAL	Peso Específico corriente:	2.660	g/cm ³
	Peso Específico Aparente:	2.750	g/cm ³
ÁRIDOS FINOS: 5- 0 mm Remolido Cantera EL PEDREGAL	Peso Específico corriente:	2.600	g/cm ³
	Peso Específico Aparente:	2.670	g/cm ³

Asfalto Absorbido	
2.215	%
PESO ESPECÍFICO COMBINADO CORRIENTE:	2.613 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO COMBINADO APARENTE:	2.686 g/cm ³
Peso Específico Corriente combinado (Gsb):	2.613 g/cm ³
Peso Específico Efectivo combinado (Gse):	2.769 g/cm ³
Peso Específico del ligante asfáltico (Gb):	1.023 g/cm ³

Dosificación:	% de la gravilla 19 - 10 mm. Cantera EL PEDREGAL:	32
con tres	% del Granito 10 - 5 mm. Cantera EL PEDREGAL:	16
Materiales	% del Polvo Remoliendo Grava de EL PEDREGAL:	52

% áridos sin asfalto

5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
30.4	30.2	30.1	29.9	29.8
15.2	15.1	15.0	15.0	14.9
49.4	49.1	48.9	48.6	48.4
95.0	94.5	94.0	93.5	93.0

Método Marshall

Obra:		
Tipo de mezcla:	Densa TM 12,5 mm	
Peso específico de áridos combinados (Gsb) (g/cm³):		2.613
Fecha:	Cte anillo Marshall=	0.1705
Tipo de asfalto:	AC 20	Peb: 1.015

Probetas	% de asfalto	Altura	Corrección por altura	A	C	B	(B-C)
				Peso seco (aire) (g)	Peso sumergido (g)	Peso saturado seco (SSS) (g)	Volumen (cm³)
1	5	6.5	0.96	1150	622	1149	527
2		6.5	0.96	1188	660	1187	527
3		6.2	1.04	1124	619.4	1122	502.6
4	5.5	6.2	1.04	1215	666.4	1169	502.6
5		6.8	0.89	1195	612.7	1164	551.3
6		6.7	0.93	1192	617.8	1161	543.2
7	6	6.3	1	1168	636.3	1147	510.7
8		6.5	0.96	1182	641	1168	527
9		6.5	0.96	1169	630	1157	527
10	6.5	6.1	1.09	1139	654.5	1149	494.5
11		6.2	1.04	1151	653.4	1156	502.6
12		6.2	1.04	1154	655.4	1158	502.6
13	7	6	1.09	1140	648.6	1135	486.4
14		6.1	1.09	1144	651.5	1146	494.5
15		6.1	1.09	1130	655.5	1150	494.5

Densidad			Huecos					
A/(B-C)								
Gmb (g/cm ³)	Gmb prom (g/cm ³)	Gmm (g/cm ³)	Va (%)	Va prom (%)	VMA (%)	VMA prom (%)	VFA (%)	VFA prom (%)
2.182	2.224	2.422	9.90	8.16	20.65	19.12	52.05	57.54
2.254			6.93		18.03		61.59	
2.236			7.66		18.68		58.97	
2.417	2.260	2.404	-0.54	6.02	12.56	18.26	104.29	72.11
2.168			9.85		21.60		54.39	
2.194			8.74		20.63		57.65	
2.287	2.231	2.387	4.19	5.77	17.71	19.75	76.32	69.98
2.243			6.04		19.30		68.69	
2.218			7.08		20.19		64.94	
2.303	2.296	2.370	2.82	3.11	17.57	17.81	83.96	82.57
2.290			3.38		18.04		81.28	
2.296			3.13		17.83		82.47	
2.344	2.314	2.353	0.41	1.67	16.57	17.63	97.54	90.80
2.313			1.70		17.65		90.40	
2.285			2.90		18.66		84.47	

Lectura Marshall	Estabilidad (kN)	Estabilidad promedio (kN)	Lectura Estabilidad tras inmersión	Estabilidad tras inmersión (kN)	Estabilidad promedio (kN)	Estabilidad Retenida (%)	Deformación (mm)	Def prom (mm)	Rigidez (kN/mm)
118.55	19.41	14.31	65	10.64	10.76	75.2	1.926	2.4	5.9
83.10	13.60		65	10.64			2.42		
55.89	9.91		62	10.99			2.91		
89.16	15.81	12.27	68	12.06	10.70	87.2	2.33	2.4	5.0
74.80	11.35		62	9.41			2.17		
60.80	9.64		67	10.62			2.8		
86.04	14.67	13.35	63	10.74	10.67	79.9	3.089	2.8	4.8
82.59	13.52		65	10.64			2.626		
72.52	11.87		65	10.64			2.567		
87.38	16.24	15.30	61	11.34	11.11	72.6	3.908	3.6	4.2
92.30	16.37		62	10.99			3.584		
74.97	13.29		62	10.99			3.324		
78.01	14.50	13.18	60	11.15	11.27	85.5	3.718	4.2	3.1
73.76	13.71		61	11.34			4.532		
61.01	11.34		61	11.34			4.476		

CONTENIDO ASFALTO %	Gmb prom (g/cm ³)	Gmm (g/cm ³)	% de Vacíos	% de V.A.M.	% de V.F.A	Estabilidad (kN)
5.0	2.224	2.422	8.2	19.1	57.5	14.3
5.5	2.260	2.404	6.0	18.3	72.1	12.3
6.0	2.231	2.387	5.8	19.7	70.0	13.4
6.5	2.296	2.370	3.1	17.8	82.6	15.3
7.0	2.314	2.353	1.7	17.6	90.8	13.2

VALORES ESPECIFICADOS	3 - 5	> 14	65 - 75	8 - 13
------------------------------	--------------	----------------	----------------	---------------

Estabilidad en Inmersión (kN)	% Estab. Retenida	Deformación (mm)	Rigidez (kN/mm)	Relación F/B
10.8	75.2	2.4	5.9	1.0
10.7	87.2	2.4	5.0	0.9
10.7	79.9	2.8	4.8	0.8
11.1	72.6	3.6	4.2	0.8
11.3	85.5	4.2	3.1	0.7

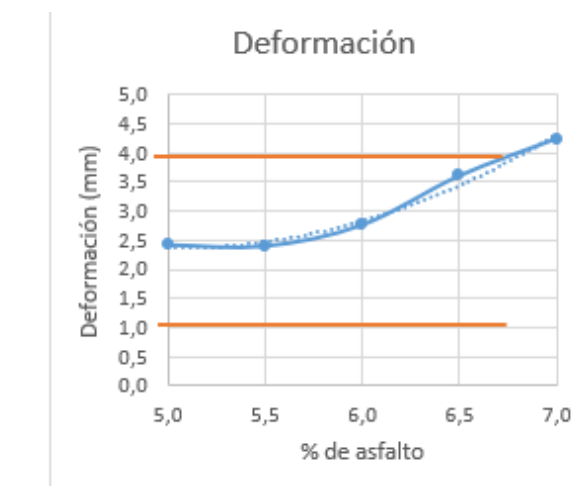
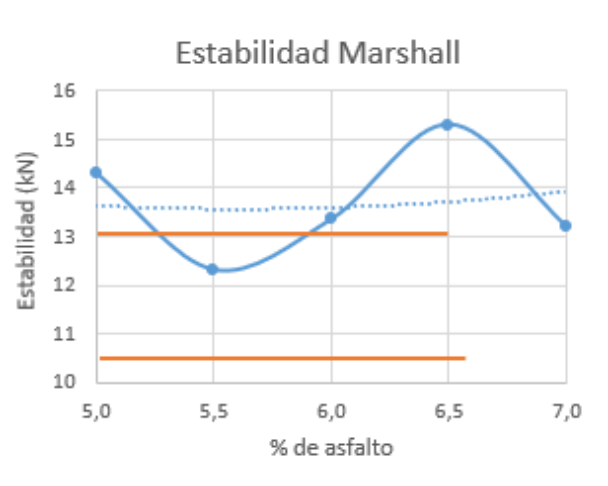
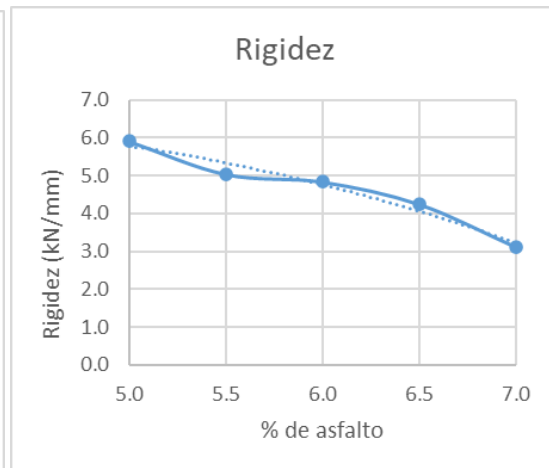
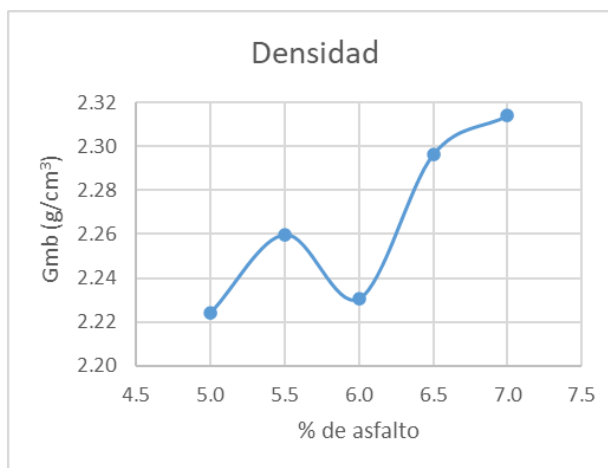
> 80 %	2 - 4	3 - 5	0.6 - 1.6
------------------	--------------	--------------	------------------

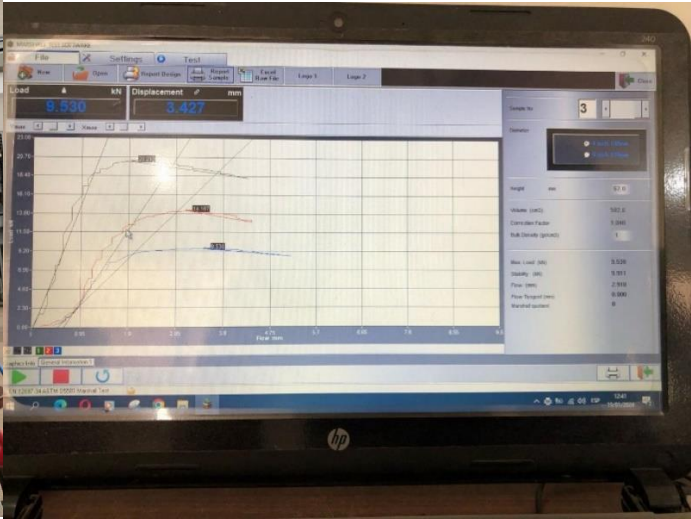
Contenido Optimo de Asfalto

Parámetros	especificaciones	rango	rango óptimo	COA	parámetros para COA
Va	3,0-5,0	4,5-5,0	4,5-5,0	4.7	4
VMA	> 14 (hasta 16)	4,5-5,2			14.5
VAF	65-75	4,5-4,75			78
Estabilidad	8,0-13	4,0-6			13.5
Deformación	2,0-4,0	4,5-5,7			3.5
Densidad (Gmb)					2.38
Densidad (Gmm)					2.435
Estab retenida	> 80 %				85.7
Rigidez	3 - 5				3.8

Resultados obtenidos

Parámetros	Especificaciones	Muestra 5%	Muestra 5,5%	Muestra 6%	Muestra 6,5%	Muestra 7%
Va	3,0-5,0	8.16	6.02	5.77	3.11	1.67
VMA	> 14 (hasta 16)	19.12	18.26	19.75	17.81	17.63
VAF	65-75	57.54	72.11	69.98	82.57	90.80
Estabilidad	8,0-13	14.31	12.27	13.35	15.30	13.18
Deformación	2,0-4,0	2.4	2.4	2.8	3.6	4.2
Densidad (Gmb)		2.224	2.260	2.231	2.296	2.314
Densidad (Gmm)		2.422	2.404	2.387	2.370	2.353
Estab retenida	> 80 %	75.2	87.2	79.9	72.6	85.5
Rigidez	3 - 5	5.9	5.0	4.8	4.2	3.1







Anexo 16.

Análisis de Precios
Unitarios de
Elaboración y
Mantenimiento del
Pavimento Rígido y
Flexible

Pavimento Rígido

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO	HORMIGON ESTRUCTURAL $f_c=280$ Kg/cm ²			UNIDAD:	m ³
DETALLE					
A. EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MANUAL (5% MO)					0.01
CONCRETERA	1.00	4.00	4.00	0.0060	0.02
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	0.0060	0.02
SUBTOTAL	1.00				0.05
B. MANO DE OBRA					
	1.00				
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
ALBAÑIL	1.00	3.65	3.65	0.0060	0.02
PEON	8.00	3.60	28.80	0.0060	0.17
CARPINTERO	1.00	3.65	3.65	0.0060	0.02
SUBTOTAL					0.21
C. MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	UNITARIO B	COSTO C=A*B	
CEMENTO	SACO	9.17	8.50	77.95	
ARENA	M3	0.24	19.00	4.56	
TRITURADO 3/4	M3	0.36	12.00	4.32	
AGUA	M3	0.22	1.50	0.33	
ENCOFRADO	M2	1.00	9.00	9.00	
SUBTOTAL					96.16
D. TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL					0.00
TOTAL COSTO DI RECTO (A+B+C+D)					96.42
OTROS I NDI RECTOS 20%					19. 28
COSTO TOTAL DEL RUBRO					115.70
VALOR OFERTADO					115.70

Pavimento Flexible

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO	CAPA DE RODADURA ESPESOR 2.5			UNIDAD:	m2
DETALLE					
A. EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MANUAL (5% MO)					0.02
PLANTA DE ASFALTO (INCLUYEN GENERADOR)	1.00	190.00	190.00	0.0060	1.14
RODILLO LISO VIBRATORIO 185 HP	1.00	30.00	30.00	0.0060	0.18
TERMINADORA DE ASFALTO 191 HP	1.00	100.00	100.00	0.0060	0.60
RODILLO NEUMATICO 95 HP	1.00	35.00	35.00	0.0060	0.21
CARGADORA FRONTAL 105 HP	1.00	45.00	45.00	0.0060	0.27
SUBTOTAL	1.00				2.42
B. MANO DE OBRA					
	1.00				
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
PEON	10.00	3.60	36.00	0.0060	0.22
OPERADOR RESPONSABLE DE PLANTA	1.00	4.04	4.04	0.0060	0.02
OPERADOR DE RODILLO AUTOPROPULSADO	2.00	3.85	7.70	0.0060	0.05
ENGRASADOR O ABASTECEDOR	1.00	3.65	3.65	0.0060	0.02
OPERADOR CARGADORA FRONTAL	1.00	4.04	4.04	0.0060	0.02
OPERADOR DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1.00	3.85	3.85	0.0060	0.02
SUBTOTAL					0.35
C. MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	UNITARIO B	COSTO C=A*B
ASFALTO AC-20		Lt	13.61	0.42	5.72
TRITURADO 3/4"		M3	0.03	12.00	0.36
TRITURADO 3/8"		M3	0.06	15.00	0.90
POLVO DE PIEDRA		M3	0.06	9.00	0.54
ARENA FINA		M3	0.02	9.00	0.18
DIESEL		Lt	1.45	0.60	0.87
SUBTOTAL					8.57
D. TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL					0.00
TOTAL COSTO DI RECTO (A+B+C+D)					11.34
OTROS I NDI RECTOS 20%					2. 27
COSTO TOTAL DEL RUBRO					13.61
VALOR OFERTADO					13.61

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO				UNIDAD:	m2
DETALLE	BACHEO ASFALTICO (INCLUYE REMOCION CAPA EXISTENTE AREA AFECTADA Y REPOSICION CARPETA ASFALTICA E=3''				
A. EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MANUAL (5% MO)					0.15
VOLQUETA	1.00	30.00	30.00	0.0500	1.50
RETROEXCAVADORA	1.00	35.00	35.00	0.0500	1.75
PLANTA DE ASFALTO (INCLUYEN GENERADOR)	1.00	190.00	190.00	0.0500	9.50
RODILLO LISO VIBRATORIO 185 HP	1.00	30.00	30.00	0.0500	1.50
TERMINADORA DE ASFALTO 191 HP	1.00	100.00	100.00	0.0500	5.00
RODILLO NEUMATICO 95 HP	1.00	35.00	35.00	0.0500	1.75
SUBTOTAL	1.00				21.15
B. MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
PEON	9.00	3.60	32.40	0.0500	1.62
OPERADOR RESPONSABLE DE PLANTA	1.00	4.04	4.04	0.0500	0.20
OPERADOR RETROEXCAVADORA	1.00	3.38	3.38	0.0500	0.17
CHOFER VOLQUETAS	1.00	5.95	5.95	0.0500	0.30
OPERADOR DE ASFALTO/RODILLO AUTOPROPUL	3.00	3.85	11.55	0.0500	0.58
ENGRASADOR O ABASTECEDOR	1.00	3.65	3.65	0.0500	0.18
SUBTOTAL					3.05
C. MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	UNITARIO B	COSTO C=A*B
ASFALTO AC-20		Lt	13.61	0.42	5.72
TRITURADO 3/4"		M3	0.03	12.00	0.36
TRITURADO 3/8"		M3	0.06	15.00	0.90
POLVO DE PIEDRA		M3	0.06	9.00	0.54
ARENA FINA		M3	0.02	9.00	0.18
DIESEL		Lt	1.45	0.60	0.87
SUBTOTAL					8.57
D. TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL					0.00
	TOTAL COSTO DI RECTO (A+B+C+D)				32.77
	OTROS INDIRECTOS 20%				6.55
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				39.32
	VALOR OFERTADO				39.32

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO	REPARACION DE JUNTAS			UNIDAD:	m2
DETALLE					
A. EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MANUAL (5% MO)					0.00
Compresor de aire	1.00	4.00	4.00	0.0060	0.02
Martillo neumático	1.00	3.00	3.00	0.0060	0.02
Sierra circular	1.00	5.00	5.00	0.0060	0.03
Pistola de sellado	1.00	3.00	3.00	0.0060	0.02
Raspador	1.00	2.00	2.00	0.0060	0.01
SUBTOTAL	1.00				0.10
B. MANO DE OBRA					
	1.00				
DESCRIPCION (CATEG)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C= A*B	RENDIMIENTO	COSTO D=C*R
PEON	1.00	3.60	3.60	0.0060	0.02
ALBAÑIL	1.00	3.65	3.65	0.0060	0.02
SUBTOTAL					0.04
C. MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	UNITARIO B	COSTO C=A*B
SELLADOR		1.00	17.50	4.00	70.00
SUBTOTAL					70.00
D. TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL					0.00
	TOTAL COSTO DI RECTO (A+B+C+D)				70.14
	OTROS I NDI RECTOS 20%				14. 03
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				84.17
	VALOR OFERTADO				84.17

Anexo 16.
Análisis del costo-
beneficio

TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRAFICO VEHICULAR			
PERIODO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2015 - 2020	3.5	2	4
2020 - 2030	2.8	1.5	3.2

COSTOS DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS Y TIEMPO DE VIAJE (Dólares / veh-Km)		
DESCRIPCIÓN	SIN PROYECTO	CON PROYECTO
LIVIANO	0.25855	0.18192
BUS	0.56551	0.46075
CAMIONES LIVIANOS	0.53803	0.29922
CAMIONES PESADOS	1.11436	0.59247

AÑO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN 2DA	CAMIÓN 2DB	TOTAL
2023	8417	3	356	2	8778
2024	8653	3	367	2	9025
2025	8895	3	379	2	9279
2026	9144	3	391	2	9540
2027	9400	3	404	2	9809
2028	9663	3	417	2	10085
2029	9934	3	430	2	10369
2030	10212	3	444	2	10661
2031	10498	3	458	2	10961
2032	10792	3	473	2	11270
2033	11094	3	488	2	11587
2034	11405	3	504	2	11914
2035	11724	3	520	2	12249
2036	12052	3	537	2	12594
2037	12389	3	554	2	12948
2038	12736	3	572	2	13313
2039	13093	3	590	2	13688
2040	13460	3	609	2	14074
2041	13837	3	628	2	14470
2042	14224	3	648	2	14877
2043	14622	3	669	2	15296

COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS

Miles de dólares

(SIN PROYECTO)

Longitud	1 Km				
AÑO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN 2DA	CAMIÓN 2DB	TOTAL
2023	794.32	0.62	69.91	0.39	865.24
2024	816.59	0.62	72.07	0.39	889.67
2025	839.43	0.62	74.43	0.39	914.87
2026	862.93	0.62	76.78	0.39	940.72
2027	887.09	0.62	79.34	0.39	967.44
2028	911.90	0.62	81.89	0.39	994.80
2029	937.48	0.62	84.44	0.39	1022.93
2030	963.71	0.62	87.19	0.39	1051.91
2031	990.70	0.62	89.94	0.39	1081.65
2032	1018.45	0.62	92.89	0.39	1112.35
2033	1046.95	0.62	95.83	0.39	1143.79
2034	1076.30	0.62	98.98	0.39	1176.29
2035	1106.40	0.62	102.12	0.39	1209.53
2036	1137.36	0.62	105.46	0.39	1243.83
2037	1169.16	0.62	108.80	0.39	1278.97
2038	1201.91	0.62	112.33	0.39	1315.25
2039	1235.60	0.62	115.86	0.39	1352.47
2040	1270.23	0.62	119.60	0.39	1390.84
2041	1305.81	0.62	123.33	0.39	1430.15
2042	1342.33	0.62	127.25	0.39	1470.59
2043	1379.89	0.62	131.38	0.39	1512.28

COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN DE VEHÍCULOS

Miles de dólares

(CON PROYECTO)

Longitud	1 Km				
AÑO	LIVIANO	BUS	CAMIÓN 2DA-2DB	CAMIONES PESADOS	TOTAL
2023	558.90	0.50	38.88	0.22	598.50
2024	574.57	0.50	40.08	0.22	615.37
2025	590.64	0.50	41.39	0.22	632.75
2026	607.17	0.50	42.70	0.22	650.59
2027	624.17	0.50	44.12	0.22	669.01
2028	641.63	0.50	45.54	0.22	687.89
2029	659.63	0.50	46.96	0.22	707.31
2030	678.08	0.50	48.49	0.22	727.29
2031	697.08	0.50	50.02	0.22	747.82
2032	716.60	0.50	51.66	0.22	768.98
2033	736.65	0.50	53.30	0.22	790.67
2034	757.30	0.50	55.04	0.22	813.06
2035	778.48	0.50	56.79	0.22	835.99
2036	800.26	0.50	58.65	0.22	859.63
2037	822.64	0.50	60.51	0.22	883.87
2038	845.68	0.50	62.47	0.22	908.87
2039	869.39	0.50	64.44	0.22	934.55
2040	893.75	0.50	66.51	0.22	960.98
2041	918.79	0.50	68.59	0.22	988.10
2042	944.48	0.50	70.77	0.22	1015.97
2043	970.91	0.50	73.07	0.22	1044.70

BENEFICIOS POR AHORRO

Miles de dólares

AÑO	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	BENEFICIO
2023	865.24	598.50	266.74
2024	889.67	615.37	274.30
2025	914.87	632.75	282.12
2026	940.72	650.59	290.13
2027	967.44	669.01	298.43
2028	994.80	687.89	306.91
2029	1022.93	707.31	315.62
2030	1051.91	727.29	324.62
2031	1081.65	747.82	333.83
2032	1112.35	768.98	343.37
2033	1143.79	790.67	353.12
2034	1176.29	813.06	363.23
2035	1209.53	835.99	373.54
2036	1243.83	859.63	384.20
2037	1278.97	883.87	395.10
2038	1315.25	908.87	406.38
2039	1352.47	934.55	417.92
2040	1390.84	960.98	429.86
2041	1430.15	988.10	442.05
2042	1470.59	1015.97	454.62
2043	1512.28	1044.70	467.58

ALTERNATIVA: SIN PROYECTO

costo en miles de dólares

Pavimento flexible	50
Limpieza de cunetas	13.61
Señalización	150

213.61

Mantenimiento rutinario (anual)	374
Mantenimiento periódico (cada 5 años)	446.74

ALTERNATIVA: CON PROYECTO

costo en miles de dólares

Bacheo	390
Sellado de grietas	50
Señalización	150

590

Mantenimiento rutinario (anual)	174
Mantenimiento periódico (cada 5 años)	246.74

Pavimento rígido

ALTERNATIVA: SIN PROYECTO

costo en miles de dólares

Pavimento Rígido	115.7
Limpieza de cunetas	50
Señalización	150

315.7

Mantenimiento rutinario (anual)	380
Mantenimiento periódico (cada 5 años)	452.74

ALTERNATIVA: CON PROYECTO

costo en miles de dólares

Reparación de juntas	84
Sellado de grietas	164
Señalización	150

398

Mantenimiento rutinario (anual)	93
Mantenimiento periódico (cada 5 años)	117.74

Alternativa “Sin proyecto” Pavimento Rígido

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO DE CARRETERAS																					
CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Beneficios:																					
Tráfico		274.30	282.12	290.13	298.43	306.91	315.62	324.62	333.83	343.37	353.12	363.23	373.54	384.20	395.10	406.38	417.92	429.86	442.05	454.62	467.58
Subtotal	0.00	274.30	282.12	290.13	298.43	306.91	315.62	324.62	333.83	343.37	353.12	363.23	373.54	384.20	395.10	406.38	417.92	429.86	442.05	454.62	467.58
Costos:																					
Pavimento Rígido	(115.00)																				
Limpieza de cunetas	(50.00)																				
Señalización	(150.00)																				
Mantenimiento			(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)
Subtotal	(315.00)	0.00	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(452.74)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)	(380.00)
FLUJO NETO	(315.00)	274.30	(97.88)	(89.87)	(81.57)	(145.83)	(64.38)	(55.38)	(46.17)	(36.63)	(99.62)	(16.77)	(6.46)	4.20	15.10	(46.36)	37.92	49.86	62.05	74.62	87.58

Tasa Comparativa de banco (%)	12%																				
Tasa de Descuento Utilizada (%)	21%																				
		Análisis de la TIR																			
		TIR > i => realizar el proyecto																			
Valor Actual Neto (VAN)	▼ -440	Miles de dolares		TIR < i => no realizar el proyecto																	
Tasa Interna de Retorno (TIR)	▼ -7.38%	TIR = i => el inversionista es indiferente entre realizar el proyecto o no.																			
		Análisis Beneficio/costo																			
TIR	-7%	El costo-beneficio es 1, los beneficios son iguales a los costos																			
Beneficios	\$2,452.18	El costo-beneficio es mayor que 1, los beneficios superan a los costos, por consiguiente el proyecto debe ser considerado																			
mantenimiento	(2,577.08)	El costo-beneficio es menor a 1, los costos son mayores que los beneficios, no se de debe considerar el proyecto																			
Construcción + mantenimiento	(2,892.08)																				
B/C	0.85																				

