

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Evaluación térmica de las piedras de canto rodado en
prototipo de vía asfaltada para la Provincia de Huánuco - 2019”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
CIVIL

AUTORA: Celestino Domínguez, Mariela

ASESOR: Jacha Rojas, Johnny Prudencio

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Transporte

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería del transporte

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71599407

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40895876

Grado/Título: Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información

Código ORCID: 0000-0001-7920-1304

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Pozo Pino, Gelacio	Maestro en ciencias de la educación con mención en docencia en educación superior e investigación	22994134	0000-0002-8425-2373
2	Davila Herrera, Percy Mello	Ingeniero civil	41050949	0000-0001-5484-6982
3	Taboada Trujillo, William Paolo	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	40847625	0000-0002-4594-1491

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 14 del mes de DICIEMBRE del año 2022, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

M.G. GELACIO POZO PINO (Presidente)
ING. PERCY TELLO DAVILA HERRERA (Secretario)
M.G. WILLIAM PAOLO TABORDA TRUJILLO (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 2577-2022-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada:

" EVALUACION TERMICA DE LAS PIEDRAS DE CANTO RODADO EN PROTOTIPO DE VIA ASFALTADA PARA LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019 "

presentado por el (la) Bachiller MARIELA CELESTINO DOMINGUEZ para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 12 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)


Siendo las 18:30 horas del día 14 del mes de DICIEMBRE del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, Johnny Prudencio JACHA ROJAS,
asesor(a) del PA Ingeniería Civil y designado(a)
mediante documento RESOLUCIÓN N° 780-2020-D-FI-UDH del (los)
estudiante(s) MARIELA CELESTINO DOMINGUEZ

de
la investigación titulada:

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LAS PIEDRAS DE CANTO RODADO EN
PROTOTIPO DE VIA ASFALTADA PARA LA PROVINCIA DE HUÁNUCO 2019

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 24 %
verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el
Software Antiplagio Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no
constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de
Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime
conveniente.

Huánuco, 20 de ABRIL de 2020



Johnny P. Jacha Rojas
INGENIERO DE SISTEMAS
CIP N° 146207

Mg. Jacha Rojas Johnny Prudencio
DNI: 40896876
ORCID. 0000-0001-7920-1304
Asesor

"EVALUACIÓN TÉRMICA DE LAS PIEDRAS DE CANTO RODADO EN PROTOTIPO DE VÍA ASFALTADA PARA LA PROVINCIA DE HUÁNUCO-2019"

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	23%	4%	17%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scribd.com Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
6	repositorio.upecen.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	portal.mtc.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	Malvaez Montesano Fernando,Oviedo Medrano Salomon. "Aspectos fundamentales	1%




Johnny P. Jacha Rojas
INGENIERO DE SISTEMAS
CIP N° 146207

Mg. Jacha Rojas Johnny Prudencio
DNI: 40895876
ORCID. 0000-0001-7920-1304
Asesor|

DEDICATORIA

A Dios por enseñarme la humildad y la paciencia para alcanzar mis sueños.

A mis padres y a Richard por su gran apoyo incondicional y sus palabras de aliento que han sido fortaleza en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Huánuco y a la Escuela Académico Profesional Ingeniería Civil, por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas y en ellas desarrollar mis habilidades.

Al Ing. Johnny Jacha Rojas, por su asesoría y dirección en la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	20
2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS O MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.2.1. MANUAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS (R.D. N° 10-2014-MTC/14).....	22
2.2.2. PAVIMENTO.....	27
2.2.3. MÉTODO GUÍA AASHTO 93.....	39

2.2.4. SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE .	52
2.2.5. BERMAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	53
2.2.6. CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA	57
2.2.7. TEMPERATURA	61
2.2.8. ROCAS SEDIMENTARIAS	63
2.2.9. PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS ROCAS	67
2.2.10. ENERGÍA TÉRMICA Y LA TEMPERATURA	72
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	74
2.4. HIPÓTESIS	77
2.5. VARIABLES	77
2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES	77
2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES	77
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	78
CAPÍTULO III	79
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	79
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN (REFERENCIAL)	79
3.1.1. ENFOQUE	79
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	79
3.1.3. DISEÑO	79
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	80
3.2.1. POBLACIÓN	80
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	80
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS DATOS	80
CAPÍTULO IV	81
RESULTADOS	81
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	81
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	84
CAPÍTULO V	87
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS.....	95

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Selección del tipo de cemento asfáltico	23
Tabla 2 Valor relativo de soporte, CBR en subbase granular	34
Tabla 3 Valor relativo de soporte, CBR en base granular (*)	34
Tabla 4 Módulo Resiliente obtenido por correlación con CBR.....	40
Tabla 5 Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico.....	42
Tabla 6 Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de tráfico	43
Tabla 7 Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico	44
Tabla 8 Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico	45
Tabla 9 Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según Rango de Tráfico.....	46
Tabla 10 Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico.....	47
Tabla 11 Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI) según Rango de Tráfico.....	48
Tabla 12 Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento ai	49
Tabla 13 Calidad del Drenaje.....	51
Tabla 14 Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular	52
Tabla 15 Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial Base Granular para Bermas	56
Tabla 16 Clasificación de rocas sedimentarias terrígenas (granulometría) .	66
Tabla 17 Identificación de las Rocas Sedimentarias.....	66
Tabla 18 Índice de calidad de la roca	68
Tabla 19 Permeabilidad de rocas	69

Tabla 20 Clasificación de Magnitud acuerdo a su resistencia a la comprensión	70
Tabla 21 Resultados de estudios petrofísicos de núcleos de rocas del campo geotérmico	72
Tabla 22 Operacionalización de variables	78
Tabla 23 Cálculo de media y desviación.....	84
Tabla 24 Prueba T para la igualdad de medias en muestras independientes	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Descripción del mapa climático de la región Huánuco	26
Figura 2 Curva de deterioro del pavimento.....	32
Figura 3 Proceso para el dimensionamiento de la estructura de pavimento y selección del pavimento adoptado.....	38
Figura 4 Bermas con un ancho $L \leq 1.20$ m	54
Figura 5 Bermas con ancho $L > 1.20$ m.....	55
Figura 6 Humedad del aire para diferentes temperaturas.....	63
Figura 7 Principales ambientes de formación de las rocas sedimentarias...	65
Figura 8 Equilibrio térmico	73
Figura 9 Máxima temperatura atmosférica por fecha de registro de cada prototipo.....	81
Figura 10 Media humedad en el ambiente por fecha de registro de cada prototipo	82
Figura 11 Media temperatura del asfalto por fecha de registro de cada prototipo	82
Figura 12 Media de la temperatura en asfalto y atmosférica para cada prototipo	83

RESUMEN

La presente investigación ha demostrado que las piedras pueden cumplir roles térmicos ajenas a sus propiedades mecánicas en un elemento estructural. Sin embargo, no todas las piedras puedan presentar ambos beneficios, encontrando entre ellos las piedras de canto rodado, recurso abundante en nuestra región.

Por tal razón, la investigación pretende determinar la influencia térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltada para la provincia de Huánuco-2019, reduciendo las altas temperaturas atmosféricas, causantes de sofocación en las personas. De igual modo, regular las bajas temperaturas atmosféricas y minimizar fallas por variación térmica en el pavimento.

La investigación es de nivel descriptivo-explicativo, analizando el proceso constructivo de las vías asfaltadas y su influencia térmica en el medio ambiente. Esto conllevó a que el diseño sea del tipo experimental; teniendo como base dos prototipos, la primera incluye una capa de piedras de canto rodado, las que se sometieron a prueba por 31 días.

Los resultados fueron que la carpeta asfáltica del segundo prototipo, sin piedras de canto rodado, no transferían la energía térmica a capas inferiores, ionizando la superficie y que los rayos solares reflejaban con mayor incidencia; por ende, la humedad ambiental disminuye y la temperatura atmosférica aumenta.

La investigación sobre la influencia térmica de las piedras de canto rodado resulta estratégica en cuanto a minimizar fallas térmicas (fisuras) en el pavimento, es decir, que recuperen su longitud inicial al bajar las temperaturas. Asimismo, evite la cristalización del agua en sus espacios intersticiales.

Espero que la presente tesis sea punto de partida para mejorar nuestras vías y ecosistemas, en proyectos desarrollados por la ingeniería civil.

Palabras claves: piedras, temperatura, asfalto, prototipo, radiación solar.

ABSTRACT

The present investigation has shown that stones can fulfill thermal roles unrelated to their mechanical properties in a structural element. However, not all stones can present both benefits, finding among them pebble stones, an abundant resource in our region.

For this reason, the research aims to determine the thermal influence of pebble stones on a prototype asphalt road for the province of Huánuco-2019, reducing high atmospheric temperatures, causing suffocation in people. Similarly, regulate low atmospheric temperatures and minimize failures due to thermal variation in the pavement.

The investigation is descriptive-explanatory level, analyzing the construction process of asphalt roads and their thermal influence on the environment. This led to the design being of the experimental type; Based on two prototypes, the first includes a layer of pebble stones, which were tested for 31 days.

The results were that the asphalt binder of the second prototype, without pebble stones, did not transfer the thermal energy to lower layers, ionizing the surface and that the solar rays reflect with greater incidence; therefore, the environmental humidity decreases and the atmospheric temperature increases.

Research into the thermal influence of pebble stones is strategic in terms of minimizing thermal failures (fissures) in the pavement, that is, recovering their initial length when temperatures drop. Also, avoid water crystallization in your interstitial spaces.

I hope that this thesis is a starting point to improve our roads and ecosystems, in projects developed by civil engineering.

Keywords: stones, temperature, asphalt, prototype, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos muy remotos la piedra ha sido empleado en edificaciones, esculturas y otros, de gran significación histórica. El material resaltó por sus propiedades físicas y mecánicas (resistente a la intemperie y fuerzas actuantes sobre ellas); pero, no se destacó la capacidad de equilibrio térmico con el medio ambiente.

Hoy en día, los proyectos de ingeniería afrontan grandes retos con la naturaleza, debido al constante cambio climático. Entre una de las alternativas de contraste se han planteado diseños armónicos con la naturaleza, es decir, aprovechar la energía de los recursos naturales y estos a su vez generen vida.

En el Perú, se realizaron estudios de confort térmico en viviendas alto andinas, mas no en obras viales. Las vías regionales de la provincia de Huánuco desprenden altas temperaturas durante la temporada de estiaje, determinando el inicio de la investigación. Ante tal situación hallé una posible solución en las propiedades térmicas de las piedras de canto rodado, cuyo material abunda en nuestra región.

La capacidad térmica conductiva de las piedras de canto rodado, regulan la temperatura durante el día y la noche en las vías, y, asimismo, fortalecen el desarrollo de plantas.

La tesis se redactó de acuerdo a la estructura del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, desarrollado en capítulos:

El capítulo I, considera la descripción y formulación del problema en las vías asfaltadas por variaciones térmicas, los objetivos a alcanzar, la justificación, limitaciones y la viabilidad de la investigación.

El capítulo II, recopila antecedentes relacionadas a la tesis, fundamenta las bases teóricas, define conceptos, formula hipótesis, determina variables a ser considerados en la operacionalización.

El capítulo III, ajunta el tipo de investigación, el prototipo de vía asfaltada como muestra de estudio, las técnicas de investigación e instrumentos usados

en la medición térmica.

El capítulo IV, procesa las mediciones térmicas para la interpretación y contrastación de hipótesis.

El capítulo V, compara los resultados con otras investigaciones similares, determinando la relevancia de la investigación.

Posteriormente, se definió las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A causa de la degradación de la capa de ozono, se registran casos de melanomas en los seres humanos; deterioro en las construcciones, ocasionados por fenómenos naturales; y retardo en el crecimiento de vegetales. Todas estas consecuencias, dadas por su exposición a la radiación ultravioleta.

Según la cadena de noticias BBC, la ola de calor incrementó afectando a distintas zonas de Europa, registrando temperaturas mínimas de 25 °c en la noches y 40 °c durante el día. Algunos ríos y lagos se secaron en Alemania y cientos de cerdos fallecieron en una granja de Holanda.

La temperatura atmosférica es mayor a años anteriores, durante el día la temperatura atmosférica es alta y durante la noche es fría, con presencia de vientos.

En el Perú, las infraestructuras viales quedan olvidadas tras ser construidas. La calidad del pavimento asfáltico se ve degradada porque los perfiles transversales y longitudinales presentan irregularidades, ocurridos usualmente por artificios generadores de deformacion constante en la carpeta asfáltica y las distintas capas estructurales del pavimento como en las diferentes capas estructurales del pavimento, e incluso en la subrasante. Entre estos mecanismo, el excesivo numero de vehiculos pesados que circulan dentro del país agravan la congestión y el embotellamiento vial, dificultando el transporte público y particular del transito de vehiculos.

Además, al sistema de drenaje no se le brinda un mantenimiento adecuado, biendose afectado debido a causa de las lluvias el sistema de agua y desagüe.

Las pistas sufren deformaciones y daños al colapsarse o romperse el sistema de tuberías debido a que el sistema de alcantarillado pasa por debajo

del pavimento, biendose afectado por la infiltracion del agua a la base y subbase del pavimento, causando deformaciones , fisuras y debilitamiento, y posteriormente su deterioro y hundimiento del pavimeto.

De los problemas climáticos que se vive, temperaturas elevadas en las vías regionales de Huánuco, se deduce lo siguiente:

- a) Las vías asfaltadas no tienen la capacidad de absorber los rayos solares durante el día, reflejando los rayos solares hacia las viviendas o personas cercanas a la zona.
- b) Los conductores sienten cansancio y dificultad de visión por las altas temperaturas atmosféricas en las vías.
- c) Mayor desgaste de los neumáticos por fricción del pavimento.
- d) Agrietamiento de las vías por contracción térmica, cuando figuran las temperaturas muy bajas en la superficie del pavimento se provocan esfuerzos de tensión y deformación en el pavimento. Los ciclos térmicos originan o propagan las grietas en el asfalto.

Éstos son algunos contratiempos observables en las vías asfaltadas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la influencia térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltado para la provincia de Huánuco-2019?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ✓ ¿Cuál es la incidencia térmica de los rayos solares en las vías asfaltadas de la provincia de Huánuco?
- ✓ ¿Cuáles son las temperaturas de la carpeta asfaltica en los prototipo de vía asfaltada?
- ✓ ¿Cuáles son las temperaturas atmosféricas de los prototipos de vía asfaltada?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la influencia térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltada para la provincia de Huánuco-2019.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la incidencia térmica de los rayos solares en las vías asfaltadas de la provincia de Huánuco.
- ✓ Registrar las temperaturas del asfalto en los prototipos de vía asfaltada.
- ✓ Registrar las temperaturas atmosféricas en los prototipos de vía asfaltada.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las vías regionales de pavimento flexible, reflejan los rayos solares durante el día, generando altas temperaturas a ser percibidas por transeúntes o conductores.

Se concluye, ante esta situación que la construcción y el diseño de pavimentos no busca reducir efectos causados por los cambios climáticos, asegurando sólo su resistencia al desgaste por el tránsito vehicular y el intemperismo. La prioridad de realizar esta tesis es porque los proyectos viales que se están ejecutando en la región Huánuco de este tipo son, por ejemplo la carretera Huánuco-Huallanca.

De acuerdo a lo descrito, nace la idea de emplear ciertas piedras de canto rodado en el diseño de las vías asfaltadas. Consecuentemente, se elaborará un prototipo a escala representativo de una carretera de tercera clase (camino vecinal) para las pruebas respectivas.

Las ventajas de investigar están dirigidas para las entidades de transporte y ambiente, aportando en lo siguiente:

- Reducir altas temperaturas atmosféricas durante el día.
- Regular la temperatura ambiente durante las noches.
- Evitar fallas en el pavimento por congelación.
- Reducir el desgaste de los neumáticos por fricción.

Por lo tanto lo que se busca de la presente tesis, son los resultados que se obtengan del prototipo, que determinará el uso de piedras de canto rodado en proyectos similares.

Las vías asfaltadas de tercera clase de la provincia de huanuco usualmente tienen los siguientes espesores mínimos:

- Subbase = 0.20m
- Base=0.10m
- Carpeta asfáltica=0.10m

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ Las Políticas para realizar pruebas en las vías asfaltadas de la región Huánuco, por parte de Provías Nacional y la Dirección de Transporte y Comunicaciones.
- ✓ El diseño y su construcción a escala real demandan un mayor costo.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La tesis en si está basado en una investigación de tipo cuantitativa. Es decir, se registrarán valores térmicos durante las pruebas realizadas al aire libre, cuyas evaluaciones serán en periodos determinados. Por lo que la presente tesis, tiene un alcance experimental.

Para la recopilación de los datos necesarios se usarán el termohigrómetro y el pirómetro.

La bibliografía disponible para el diseño de pavimentos flexibles es amplia; al igual que las propiedades mecánicas de las piedras. Pero, para propiedades térmicas de las piedras es reducida.

La investigación tendrá como fuente la construcción de las vías regionales en Huánuco. Asimismo, el plazo aproximado de la investigación es 6 meses, considerando el tiempo y reajuste de los parámetros de evaluación y desarrollo de la investigación.

El proceso de investigación es cubierto con recursos propios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Al transcurrir los años, el calentamiento global fue en aumento, la tierra ha sufrido continuos fenómenos naturales. Las condiciones climáticas se volvieron extremas, zonas alto andinas con presencia de heladas y, las zonas costeras con altas temperaturas y rayos ultravioletas.

Las piedras han sido usadas como material en la construcción de edificaciones y esculturas, por sus propiedades mecánicas y estáticas; pero, pocamente han sido analizadas en sus propiedades térmicas.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La Universidad de Hamburgo y la Compañía Hamburg Energie y 1 Siemens (2018). establecen dentro de su proyecto, “Sistemas de Energía Futura”. El montaje de container separados y repleto de piedras para la acumulación de excedentes, la cual la eficiencia mejoraría en un 50% de la planta de más de 100 megavatios, con el que pretende recaudar la demasía de energía percibida en instalaciones eólicas expuestas por horas o ya sea un día entero, de una manera sencilla, económica y natural.

El invento es evaluado en un contenedor, donde las piedras naturales aún son sustituidas por bolas de cerámica. Hasta hoy, buscan la piedra candidata con mayor estabilidad térmica y los medios de conducción de calor interior en los containeres.

Pablo Pascual (2012). En su tesis doctoral, “Estudio del comportamiento térmico de pavimentos de mezcla bituminosa y análisis de un colector solar asfáltico multicapa”. Analizó el actuar del cambio térmico en tres variedades de mezclas asfálticas: un material bituminoso de hormigón tipo AC16S, un microaglomerado tipo BBTM 11A y una mezcla porosa tipo PA16; en la que los testigos (probetas) de dichas

mezclas y la de un hormigón hidráulico han simulado estar expuestos a una radiación solar mediante una lámpara.

Los resultados confirmaron la incidencia térmica de las mezclas asfálticas en almacenar energía y a su vez, aprehender mayor energía solar a diferencia del hormigón hidráulico.

Los investigadores colombianos Adriana Rojas, Orlando Zuñiga, Marina Sánchez, Jesús Perez y María Gasco (2007). En su proyecto, "Conductividad térmica del suelo, materia orgánica, actividad y biomasa microbianas en sistemas de cultivo de maracuyá en Toro, Valle del Cauca". Evaluaron la relación entre la materia orgánica, la transferencia de temperatura del suelo, la actividad y la biomasa microbiana, en 3 estilos de plantación de maracuyá (convencional, transicional y agroecológico). Se cogieron muestras al azar de 2 socavones distintos (15 y 30 cm) y se evaluaron sus cualidades biológicas. Del resultado se concluyó que existe relación proporcional alta entre transferencia de temperatura del suelo y la materia orgánica de los 3 tipos de cultivo, observando mejoras en las propiedades del suelo y la masa microbiana.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Juan Molina (2017). En su tesis de maestría, "Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar". cortejo la función térmica de un módulo experimental de vivienda (MEV) fundamentado en las mediciones de temperatura (parámetro principal de análisis) y humedad, mediante el aumento de temperatura interna en relación al exterior y las ganancias del mismo parámetro. Posteriormente, el modelo es validado con el software EnergyPlus, mostrando relación entre lo simulado y los datos obtenidos de la experimentación con una pequeña diferencia de temperatura promedio de 0.28 °C.

Joseph Machuca (2015). En su tesis, "Incidencia térmica de la piedra volcánica como elemento constructivo en las viviendas de la comunidad campesina de Sacsamarca". Refiere la incidencia de

temperatura de las piedras en las viviendas, realizando estudios de mecánica de suelos. De su investigación obtuvieron datos térmicos de la piedra volcánica, demostrando cuantitativamente que la piedra volcánica andesita tiene mayor incidencia térmica en el diseño de viviendas.

Gonzalo Saavedra (2014). En su tesis, “Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas arriba, distrito de Pisacoma, Provincia de Chucuito, Región Puno”. estimó térmicamente una típica vivienda de Vilcallamas en diferentes puntos por un espacio de 2 meses, para así comprobar la mejoría del desempeño térmico y ajustar los valores de simulación. En el diseño consideró criterios de arquitectura bioclimática, entre ellas el sentido de los acabados exteriores respecto al desplazamiento solar, las máximas áreas de transferencia solar hacia el interior, reparto de muros acumuladores y descenso térmico por impregnación o envolvente.

2.1.3. ANTECEDENTES REGIONALES

No existe estudios relacionados a las propiedades térmicas de las piedras; por lo tanto, la presente investigación es de carácter innovador para la región.

Las vías asfaltadas están regidas por las normativas mencionadas para el diseño, donde también menciona sobre las fallas del pavimento a raíz de la radiación solar y la variabilidad térmica.

En el diseño de los prototipos asfaltados se consideró espesores mínimos según la normativa AASHTO, para identificar perjuicios en el entorno ambiental y la carpeta asfáltica por los cambios bruscos de temperatura, usualmente causadas por la radiación solar y las heladas.

Hasta la actualidad las viviendas rurales no están normadas para su construcción; pero se analizó las ventajas de las piedras las cuales se plasmaron en el diseño de un prototipo, tomando en cuenta las consideraciones mínimas de diseño de un pavimento asfaltado.

El autor es la universidad y la compañía, ya que fueron los entes ejecutores en el uso y estabilidad de energía térmica a partir de las piedras que están dentro de un contenedor.

Debido a que no existe más investigaciones relevantes de los últimos 5 años se tomó en cuenta esta investigación. Además, diferente a ser una investigación agrícola, se identificó la conductividad térmica del suelo a partir de ciertos componentes del suelo (biomasa), esta influencia se analizó en el desarrollo de 3 tipos de plantas.

2.2. BASES TEÓRICAS O MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. MANUAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS (R.D. N° 10-2014-MTC/14)

Según el MTC (2014). El Manual de “**Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos**” en su sección **Suelos y Pavimentos**, forma parte de los **Manuales de Carreteras** establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC, plantea criterios homogéneos en cuestión de suelos y pavimentos, facilitando diseñar las capas superiores y la carpeta de rodadura en vías pavimentadas y no pavimentadas; siendo herramienta para el diseño estructural de los pavimentos, con el propósito de homogenizar y estandarizar los diseños, tomando en cuenta la experiencia y estudio sistemático de las características y comportamiento de los materiales y de acuerdo a las condiciones específicas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como el tráfico, el clima y los sistemas de gestión vial (p. 5).

2.2.1.1. EL CLIMA

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014). Dos son los agentes estimados en este compendio, que influyen al diseño y la forma de proceder del pavimento: la temperatura y las precipitaciones de lluvia o sus semejantes como son las precipitaciones ligeras de nevadas.

La geografía territorial del Perú se caracteriza por tres Regiones Naturales: la Costa de clima limitada y sin lluvias, la Sierra con cambios térmicos determinadas en mínimos y máximos con ligeras lluvias; y la Selva, de entorno tropical con altas temperaturas e intensas lluvias (p. 77).

A. TEMPERATURA

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014). Normalmente en las zonas alto andinas del Perú, las temperaturas del pavimento entre los meses de junio y octubre, presentan cambios diarios en rango cercano 40° grados centígrados y principalmente en fenómenos de “heladas” con tenaz radiación solar y vientos fríos.

La carpeta asfáltica (CA) presenta deformidad por incidencia directa de la temperatura; y los cambios térmicos producen rigidez en la CA. Las mínimas temperaturas contribuyen a que se produzcan grietas por fatiga, las mismas que se ven incrementadas con el ahuellamiento. Por otro lado, las altas temperaturas inciden en la deformación permanente de la CA. Los pavimentos rígidos al estar expuestos a los cambios bruscos de temperatura originan que las esquinas del pavimento se debiliten hasta su rotura.

La fatiga y la baja temperatura, causantes del agrietamiento, acrecientan los gastos de conservación; y el ahuellamiento produce situaciones de inseguridad en relación al patinaje de los vehículos.

La selección de asfalto con rango distinto de penetración está determinada por las temperaturas regionales, la cual se puede observar en la siguiente Tabla 1 de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC: (p. 77).

Tabla 1
Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura media anual			
24 °C o más	24 °C – 15 °C	15 °C – 5 °C	Menos de 5 °C
40-50 o	60-70	85-100	Asfalto modificado
60-70 o		120-150	
Modificado			

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

B. LAS PRECIPITACIONES DE LLUVIAS

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Las lluvias perjudican fuertemente los requisitos de diseño de los pavimentos

y las capas granulares, en forma directa por su existencia en la capa superficial del camino y su absorción interna al pavimento, es decir la consecuencia causada por la existencia de aguas próximas a la vía ya sea estas lagunas y corrientes de aguas superficiales y/o subterráneas que incrementan el nivel de la napa freática que se halla por debajo de la plataforma de la vía y se ven alteradas de acuerdo al ciclo mensual de lluvias. Un elevado nivel freático próximo a los estratos por encima de la subrasante de diseño del proyecto, pueden desequilibrarlas por la capilaridad de los materiales empleados.

La existencia de agua en la parte superficial del pavimento o en la parte interna de la estructura del estrato del pavimento y el terraplén, en los materiales en sí, originan modificaciones en las propiedades técnicas debido a la interacción con otras variables climáticas, siendo éstas los efectos de los rayos solares, la temperatura, el viento y la aparición eventual de nevadas o de “heladas” con condiciones climáticas muy rigurosas, como se muestra usualmente en las zonas alto andinos del Perú (Mazo Cruz por ejemplo) que deberían ser cogidas sutilmente por los ingenieros diseñadores y constructores, primordialmente en evitar la retención de agua de lluvias en la carpeta asfáltica, la cual puede congelarse y perjudicar gravemente su comportamiento, cuyo proceso llevaría efecto conjunto de la carga de tráfico en la carpeta asfáltica hasta su devasto acelerado (p. 78).

2.2.1.2. CONOCIMIENTO DEL CLIMA

Según MTC – Manual de Carreteras (2014) La gestión vial en el Perú se viene desarrollando con el conjunto de datos climáticos de aspecto nacional elaborada por el SENAMHI. En absoluto, la fuente informativa solicitada por el tipo de método tradicional de diseño, en relación a las temperaturas de cada región y/o valles y cuencas, está parcialmente muy envueltas; no así en cuanto a las exigencias más precisas que se necesitan para mejorar las

capacidades en el diseño de las defensas y los drenajes en distintas trayectorias específicas en los que se muestran determinadas exigencias usuales que menoscaban con mayor significancia la construcción vial, restringiendo su empleo por ciertos días y/o meses, mientras se repara el sector vial damnificado; como suele ser la subregión costera del Norte, como caso típico.

Aunque, la necesidad es identificable y más notable con la mejora y la perfección del sistema de conservación vial, la cual es empleada en los contratos de conservación vial y las concesiones viales que se ejecuta en el Perú, donde el SENAMHI y el MTC tienen que coordinar más las peticiones de información.

En el futuro la empleabilidad de las metodologías modernas en la administración de vías, enfocadas a un análisis más refinado de los materiales que se manejan en el proceso constructivo de pavimentos para obtener diseños con líneas de vida a 50 años, necesitará según lo indica AASHTO del establecimiento de una sistematización rigurosa de información climática, así como del tráfico para cada trecho vial.

Este impulso económico-técnico deberá proyectar un plan lo antes posible por el MTC en regulación con el SENAMHI con sumo cuidado para su implementación progresiva (p.78).

Figura 1
Descripción del mapa climático de la región Huánuco



Fuente: (Senamhi, 2019)

2.2.2. PAVIMENTO

2.2.2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Para el MTC (2008). Define el pavimento lo siguiente: Estructura que se construyó sobre la subrasante de la vía, con el fin de resistir y que los esfuerzos originados por los vehículos se den de forma distribuida, mejorando los requisitos de seguridad y comodidad en el tránsito. Usualmente está constituida de las siguientes capas: subbase, base y rodadura (p. 38).

2.2.2.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO

Montejo (2002). Señala los requisitos mínimos de un pavimento para cumplir funciones adecuadas:

Resistencia a la aplicación de cargas generadas por el tránsito.

2.2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

En nuestro contexto los pavimentos están categorizados como: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos semi flexibles o semirrígidos y los pavimentos articulados, de tal manera están definidos por:

A. PAVIMENTO FLEXIBLE

Según Montejo (2002). Se describe que “este tipo de pavimentos están constituidos por una carpeta bituminosa usualmente secundadas sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Cabe la posibilidad, de no necesitar ambas capas según las necesidades particulares de cada obra” (p. 2).

Según MTC – Manual de Carreteras (2014). Para el cálculo de medidas de las secciones del pavimento, se adopta los siguientes procedimientos:

- a. Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.
- b. Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño.

Los 2 parámetros comunes que influyen en el diseño de pavimentos, son:

- Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento.

Así mismo un pavimento flexible está “Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos” (p. 38).

B. PAVIMENTO RÍGIDO

Para Montejo (2002) un pavimento rígido; está referido a los pavimentos constituidos por una losa de concreto hidráulico, acuñada sobre la subrasante o sobre una capa llamada subbase del pavimento rígido, conformada por material selecto. A su vez, como el concreto ofrece cierta resistencia, a determinados esfuerzos a tensión, el pavimento rígido se comporta lo suficientemente bueno, a pesar de existir puntos débiles en la subrasante.

La resistencia de las losas define la aptitud estructural del pavimento rígido, por lo que, el apoyo de las capas contiguas influye con menor influencia al diseñar el espesor del pavimento (p. 5).

Para MTC (2008) del mismo modo un pavimento rígido está “Compuesto por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y de ser el caso se incorpora aditivos” (p. 38).

C. PAVIMENTO SEMIFLEXIBLES O SEMIRRÍGIDOS

Montejo (2002) sobre un pavimento semirrígido explica lo siguiente; a pesar que esta clase de pavimento tiene la misma estructura de un pavimento flexible, al menos una de las capas se encuentra rigidizada mediante aditivos, tales como asfalto, cemento, emulsión, químicos y cal. Los aditivos buscan básicamente corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales disponibles en la zona, las misma que no son idóneas para construir las capas del pavimento, debido a que los materiales adecuados se hallan a largas distancias, incrementándose así los costos de construcción (p. 5).

D. PAVIMENTO ARTICULADOS

Montejo (2002) indica que; los pavimentos articulados están constituidas por un estrato de rodadura elaboradas por bloques de concreto prefabricado, conocidos como adoquines, de grosor uniforme e iguales entre sí. Cabe la posibilidad de ir sobre una capa delgada de arena, la misma que estará apoyada sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, supeditada principalmente por la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento (p. 7).

2.2.2.4. FALLAS EN EL PAVIMENTO

Según MTC – Manual de Carreteras (2014) El objeto principal de la restauración superficial y el refuerzo, es arreglar las anomalías de la carpeta de rodadura del pavimento construido, afectando la seguridad, comodidad y rapidez de circulación del tráfico presente y el futuro, para llegar hasta un nivel de serviciabilidad idóneo durante un lapso de tiempo necesariamente extenso justificando la inversión solicitada.

Las causantes de defectos o fallas en el pavimento tienen diferente naturaleza y origen, detallándose a continuación:

- Incremento exagerado de las cargas circulantes: ya sea en frecuencia o en peso vehicular, en relación a lo previsto en el diseño primigenio, y que se transcriben en un infradiseño.
- Imperfecciones del proceso constructivo: densidades inferiores que los proyectados, mala preparación de las mezclas y estabilizaciones, baja condiciones en el proceso de distribución, compactación o terminación, elementos que conllevan a la baja calidad de los materiales y la pérdida de resistencia estructural del pavimento.
- Proyecto deficiente: abre paso a la construcción de carreteras con espesores menores a lo que requerido.
- Factores climáticos regionales: demasiado perjudiciales o que no posible anticiparse en la construcción y/o proyecto, así como el incremento de la napa freática, lluvias extensas, inundaciones, las deficiencias del drenaje superficial o subterráneo trazado, cambios térmicos externos, fenómenos de congelación, existencia de sales nocivas, etc.
- Deficiente estado de conservación vial: por la poca disponibilidad de fondos económicos, equipos o personal idóneo; por utilizar técnicas y/o materiales inadecuados; o a su vez, por el deterioro completo de conservación.

Determinar cuál haya sido la causa de mayor probabilidad para una falla, es de vital relevancia para la evaluación de la misma, aunque signifique de complicada percepción. Para tal objeto, puede considerarse al principio la ubicación de la falla, su proceso evolutivo en distintas áreas del trayecto, la inclusión de los elementos tráfico – clima - drenaje, etc. La verificación final se conseguirá al terminar la evaluación de los estudios estructurales (p. 167 - 168).

Según MTC – Manual de Carreteras (2014) Menciona que los tipos de falla son: Fallas Superficiales y Estructurales.

- 👉 **Fallas superficiales:** Están considerados las deficiencias de la carpeta de rodadura causada por defectos de la capa asfáltica superficial específicamente dicha y no conservan nexo con la estructura del pavimento.
- 👉 **Fallas estructurales:** Comprende las deficiencias de la carpeta de rodadura la cual nace de una falla estructural del pavimento, en esencia perjudica a una o más estratos del pavimento.

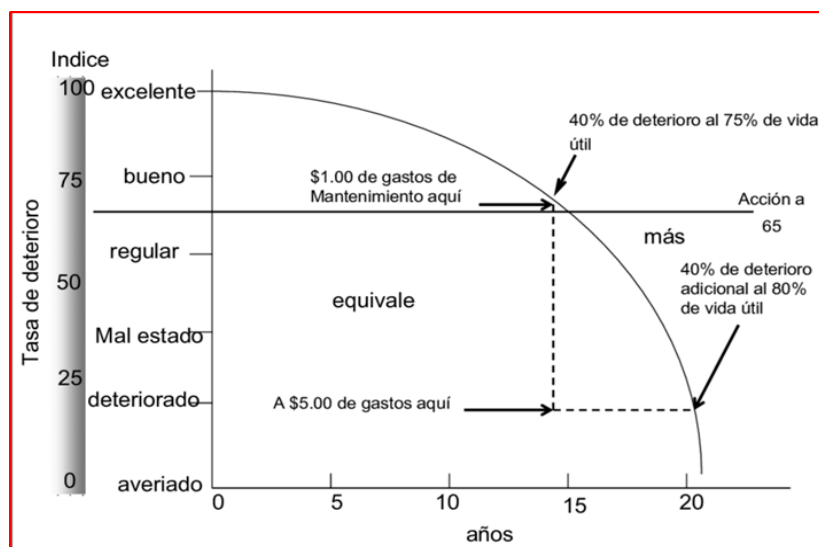
Los desperfectos superficiales se enmiendan subsanando la superficie y aportándole la indispensable rugosidad e impermeabilidad.

Todo esto se alcanza con capas asfálticas delgadas que pequeños beneficios a la estructura, fresados y estratos nivelantes. Por el contrario, al mencionar fallas del tipo estructural, es indispensable un refuerzo en el pavimento construido (tras resanación preliminar de las fallas identificadas y de ser posible de fresados y estratos nivelantes) o una restauración para que todo avale técnicamente a las peticiones del tráfico actual y futuro (p.168).

2.2.2.5. DETERIORO DE UN PAVIMENTO

De acuerdo a la ASTM D6433 (2003) establece que; los indicadores externos del desgaste del pavimento originado por las cargas, factores ambientales, deficiencias constructivas, o una mezcla de estas causas. Las fallas comunes son las fisuras, ahuellamientos y desgaste por influencia del medio ambiente de la superficie del pavimento (peladuras) (p. 2).

Figura 2
Curva de deterioro del pavimento



Fuente: (Salomon, 2006)

2.2.2.6. MATERIALES PARA PAVIMENTO

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014). Los materiales a usarse deberán satisfacer los requisitos mínimos de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC (vigentes), empero, al ser un proyecto específico de pavimentación se necesite nuevas especificaciones acordes con el estudio o que profundicen, sean complementarios o sustituyan a las especificaciones generales, el proyectista o el ingeniero especialista de suelos y pavimentos tendrán que propalar las especificaciones particulares para tal proyecto y sólo será aprovechable para realizar su ejecución (p. 113).

A. GEOSINTÉTICOS

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Material fabricado de los derivados del petróleo, empleado usualmente en ingeniería geotecnia la que ayuda a mejorar, cambiar o conservar las peculiaridades del suelo con las que ejerce una interacción. Estos materiales deberán estar regidos mínimamente según lo establecido por las Normas Técnicas Peruanas INDECOPI, las

Normas de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, o a falta de ellas, según las Normas Técnicas Internacionales actuales. A su vez, para la puesta y realizar la ejecución de la partida, deber ser concordante a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (vigente) (p. 113).

B. AFIRMADO

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Material natural granular o grava seleccionado triturado y zarandeado con índices de plasticidad, utilizado para caminos de tránsito vehicular de cargamento y transporte. Este material debe estar regido según condiciones definidas en la Sección 301 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (vigente) y lo definido en la sección de los materiales usados en el afirmado, de este manual.

Para la ejecución de los mismos, éstos deben regirse a los parámetros exigidos para los equipos, materiales, demandas de la construcción, control de calidad y conformidad de los trabajos (p. 113).

C. SUBBASE GRANULAR

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) el agregado a usarse para la capa de subbase deberá regirse a parámetros mínimos definidos en la Sección 402 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG - Vigente). De igual forma, corresponde satisfacer ciertas condiciones los equipos, las obligaciones de la construcción, control de calidad, conformidad de trabajos realizados y las deferencias de CBR aludidas en el presente manual con respecto al diseño del pavimento, y que conforme a la condición debe estar indicado en las Especificaciones del plan a desarrollarse (proyecto) (p. 113).

Tabla 2*Valor relativo de soporte, CBR en subbase granular*

CBR en subbase granular	Mínimo 40%
-------------------------	------------

Nota: Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de 0.1*2.5mm, Elaboración en base a la Sección 403 de las EG-Vigente del MTC y al Tipo de Carretera especificada en el RD 037-2008-MTC/14.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

D. BASE GRANULAR

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Es un material granular óptimo que contiene arena, triturado y fino, resistente a la deformación y presiones altas, deberá estar constituida por un material granular óptimo, según lo establecido en las condiciones necesarias de calidad en la Sección 403 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG - Vigente).

De igual manera, deben estar conforme las condiciones de los equipos, los parámetros de construcción, inspección de calidad, conformidad de los trabajos y las contemplaciones de CBR aludidas en esta guía para diseñar el pavimento, y que conforme al caso debe ser considerado en las Especificaciones del proyecto (p. 114).

Tabla 3*Valor relativo de soporte, CBR en base granular (*)*

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 106$	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 106$	Mínimo 100%

Nota: Elaboración en base a la Sección 403 de las EG-Vigente del MTC y al Tipo de Carretera especificada en el RD 037-2008-MTC/14,

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5mm).

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

E. BASES TRATADAS CON ASFALTO, CON CAL Y CON CEMENTO

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Las capas de bases tratadas estarán constituidas por insumos granulares que satisfagan los parámetros fijados en el Capítulo N° 4 (Sub Bases y Bases) de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras. A su vez, cumplan las condiciones preliminares de los equipos, los parámetros de construcción, inspección de calidad y conformidad de trabajos realizados (p. 114).

F. PAVIMENTO ASFÁLTICO EN FRÍO

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Es una mezcla de agregado mineralizado al asfalto rebajado o emulsionado, llevándose a cabo el proceso en condiciones térmicas del ambiente. Entre los pavimentos asfálticos en frío se distinguen el Mortero Asfáltico o Lechada Asfáltica (Slurry Seal), los Tratamientos Superficiales Bicapa, Micropavimentos en frío, las carpetas asfálticas en frío y Macadam asfáltico. Los insumos compuestos de dichas capas asfálticas, están obligados a satisfacer las condiciones definidas en el Capítulo N° 4 (Pavimento Asfáltico) de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras. De igual forma, se debe satisfacer las condiciones de construcción, exigencias preliminares de los equipos, control de calidad y aprobación de los trabajos (p. 114).

G. PAVIMENTO ASFÁLTICO EN CALIENTE

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Es una mezcla de agregado mineral, emulsión o rebajado del asfalto, el proceso se desarrolla bajo temperatura ambiente. Los materiales deberán satisfacer las condiciones definidos en el Capítulo N° 4 (Pavimento Asfáltico) de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras en relación a los agregados finos, agregados gruesos, gradación y las variedades de cemento

asfáltico. Del mismo modo, es indispensable satisfacer las condiciones de los equipos, cláusulas de construcción, asentimiento de los trabajos y controles de calidad.

Recomendaciones para el diseño de mezclas asfálticas en altura y en climas fríos.

El diseño de mezclas asfálticas en caliente para lugares con clima frío y altura superior a 3,000 msnm, toma en consideración las situaciones hostiles al que estará expuesto el elemento estructural.

En el diseño se hará hincapié en la calidad de los agregados en los aspectos de su limpieza, gradación, dureza, forma, textura, etc.; y el cemento asfáltico fundamentalmente a lo que se indica en su consistencia, durabilidad, susceptibilidad térmica, etc. Asimismo, de que los insumos a usarse sean de calidad, se hace hincapié en:

- Operar con granulometrías continuas, correctamente graduadas, buscando obtener vacíos del agregado mineral (V.M.A.) mayores al 15%.
- La cláusula previa facilitará el incremento porcentual de asfalto a incluirse en la mezcla, desplegando en lo posible, al tope máximo porcentual de vacíos cubiertos con asfalto, recomendadas para la mezcla compactada; es decir, cercano al 85% y mantener las correspondientes propiedades físico-mecánicas demandadas por la base asfáltica o la carpeta asfáltica.
- Los vacíos restantes de la mezcla compactada deben propender al tope mínimo solicitado, ya que ello coadyuva a reducir la posible modificación del asfalto por oxidación, y a conservar las combinaciones de la acción del agua (acrecentada por la actividad del tránsito) y de los lapsos de cambio térmico frío – calor - frío.

- El grosor superior de la película bituminosa que revestirá a los agregados por el valor porcentual considerable de asfalto unido con la utilización de un ligante de densidad y susceptibilidad térmica apropiada, acrecentará el tiempo duradero del pavimento.
- La inclusión de proporciones máximas de arena triturada facilita el alcanzar carpetas de rodadura con adecuada resistividad al deslizamiento y adecuada solidez; sin embargo, debe efectuarse un apropiado balance de este parámetro mayor de arena a las consecuencias de no perjudicar la trabajabilidad de la mezcla ni su compactibilidad, como también a la flexibilidad de la carpeta por un incremento inoportuno del módulo de rigidez.
- El uso como filler de cal hidratada, en circunstancias conforme con su “concentración crítica”, asimismo coadyuva a la reducción de las cavidades de la mezcla, aumenta la adhesión entre el asfalto y los agregados, mejorando que el asfalto resista al envejecimiento. (p. 114).

H. PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) es la mezcla del cemento portland, agua y agregados pétreos. Los materiales deberán satisfacer las exigencias definidas en el Capítulo N°4 (Pavimento de Concreto Hidráulico) en la Sección 438 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-Vigente).

Del mismo modo, se obliga a satisfacer las condiciones solicitadas para los equipos, los materiales de construcción, control de calidad y aprobación de los trabajos. (p. 116).

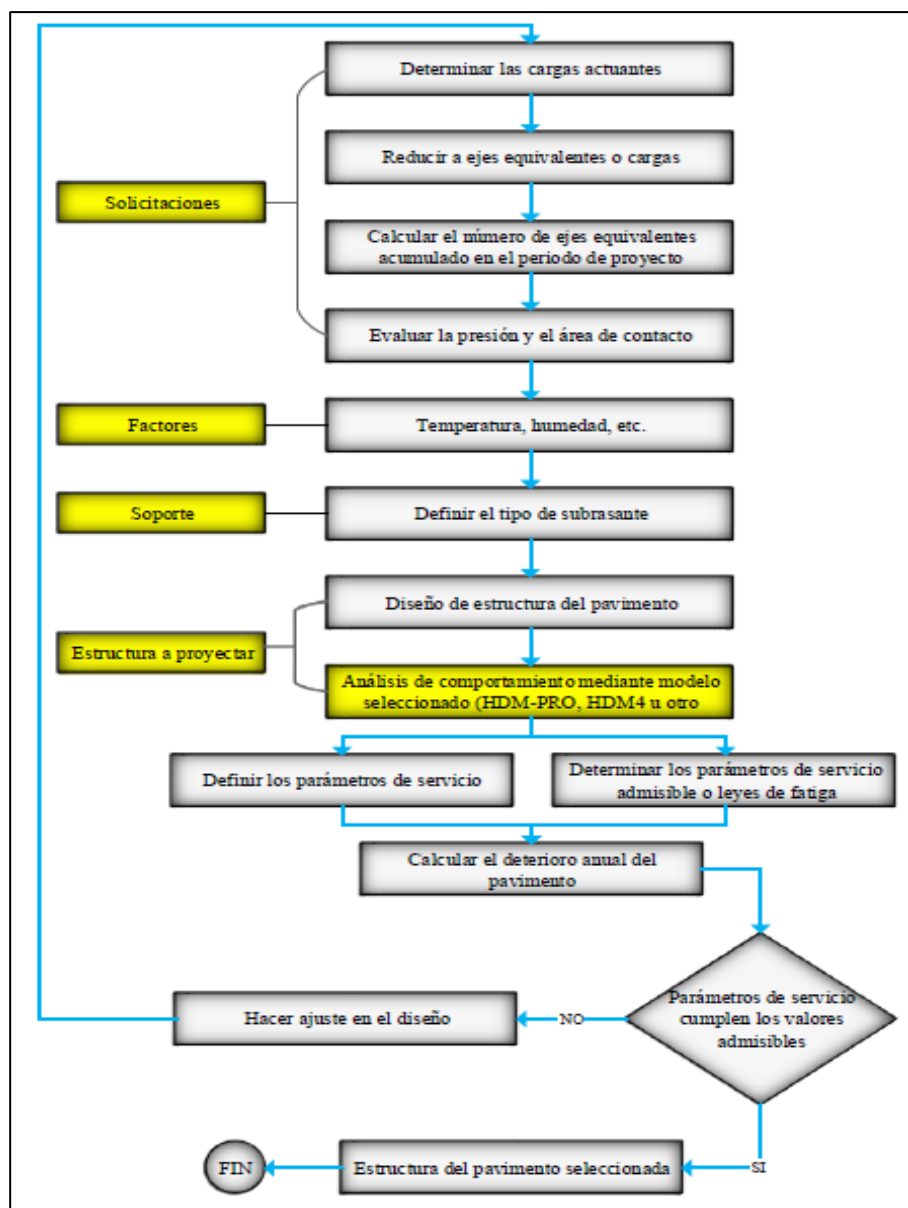
2.2.2.7. COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS

Para el MTC – Manual de Carreteras (2014) De manera previa se realizan diseños alternativos de pavimento nuevo para elegir una

determinada configuración de pavimento, apoyado en la metodología AASHTO'93. De las tres condiciones básicas a tomar en cuenta en el método de dimensionamiento: subrasante, tráfico (ambas consideradas como insumos para definir las posibles configuraciones) y condiciones climatológicas (se le considera en los requisitos para elegir los materiales y en determinadas sugerencias de carácter específico) (p. 268).

Figura 3

Proceso para el dimensionamiento de la estructura de pavimento y selección del pavimento adoptado



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

2.2.3. MÉTODO GUÍA AASHTO 93

Para el MTC – Manual de Carreteras (2014) Fundamentado en arquetipos ejecutados en base a la performance del pavimento, los pesos de vehículos y la capacidad resistiva de la subrasante que faciliten calcular los espesores.

El fin del modelo es determinar el Número Estructural requerido (SNr), principio de la cual se reconocen y definen el volumen de cada estrato que compone el pavimento, las cuales serán construidas sobre la subrasante para resistir los pesos vehiculares con razonable serviciabilidad dentro del tiempo definido de diseño en el proyecto. (p. 130).

2.2.3.1. PERIODO DE DISEÑO

Para el MTC – Manual de Carreteras (2014) El Periodo de Diseño a ser utilizado por el manual de diseño para pavimentos flexibles es estimada a 10 años para carreteras de poco volumen de tránsito, periodo de diseños de 10 años para las dos etapas y periodo de diseño con una fase de 20 años. El Ingeniero del diseño está facultado a adecuar este periodo conforme al proyecto y la Entidad (p. 131).

2.2.3.2. VARIABLES

Para el MTC – Manual de Carreteras (2014) El diseño estructural de un pavimento flexible está dado por la ecuación básica:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

a) **W18**

Conceptualizado como el Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 18000 lb (80kN) para el periodo de diseño,

pertenece al Número de Repeticiones de EE de 8.2t; obtenido del conjunto de datos realizados en el estudio de tráfico.

b) Módulo de Resiliencia (MR)

Es una medición de lo rígido que es el suelo de la subrasante, la misma que para su deducción matemática utilizará la ecuación estipulada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide): (p.131).

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Tabla 4

Módulo Resiliente obtenido por correlación con CBR

CBR % Subrasante	Módulo Resiliente Subrasante (MR) (PSI)	Módulo Resiliente Subrasante (MR) (MPA)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.20
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.90
11	11,854.00	81.73
12	12,533.00	86.41
13	13,192.00	90.96
14	13,833.00	95.38
15	14,457.00	99.68
16	15,067.00	103.88
17	15,663.00	107.99
18	16,247.00	112.02
19	16,819.00	115.96
20	17,380.00	119.83
21	17,931.00	123.63
22	18,473.00	127.37
23	19,006.00	131.04
24	19,531.00	134.66
25	20,048.00	138.23
26	20,558.00	141.74

27	21,060.00	145.20
28	21,556.00	148.62
29	22,046.00	152.00
30	22,529.00	155.33

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

c) Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incluye el principio de la confiabilidad, que simboliza la probabilidad de comportamiento definido de una estructura en el periodo de diseño. Esta condición posible está en basado en la variación de los factores que inciden en la estructura del pavimento y su proceder.

Empero, solicitudes distintas a las proyectadas, como el buen estado de la construcción, circunstancias de climas agrestes, incremento del tráfico pesado superior a lo proyectado y otros agentes, aminorando el tiempo útil del pavimento.

En concordancia a la guía AASHTO es cabalmente impreciso tomar en cuenta que el proceder del tráfico en el pavimento, continúa una ley distribuida normalmente, a efecto de ello pueden utilizarse definiciones estadísticas con el fin de obtener una confiabilidad exacta; pudiendo ser, 90% o 95% da a entender que sólo un 10% o 5% del trayecto pavimentado, estará con un índice de serviciabilidad menor al proyectado; es decir, el modelo de comportamiento está enmarcado a ciertas condiciones de serviciabilidad y mas no en un artilugio de falla.

Cuando el nivel de confiabilidad es superior, aumenta el volumen de la estructura del pavimento a diseñar.

En la Ecuación de Diseño la confiabilidad no es un factor directo de ingreso, para lo cual debe utilizarse la Desviación Normal Estándar (Z_r).

Tabla 5

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp0	100,001	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	80%
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10,000.00	90%
	Tp10	10,000,001	12,500.00	90%
	Tp11	12,500,001	15,000.00	90%
	Tp12	15,000,001	20,000.00	95%
	Tp13	20,000,001	25,000.00	95%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	95%
	Tp15		>30,000,000	95%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

En el diseño por etapas, según AASHTO, se definen en cada etapa las confiabilidades, considerando la confiabilidad total con respecto a todo el periodo de diseño, que, para este Manual, atañe a los valores señalados en el Cuadro 5, elevado a la potencia inversa de la cantidad de etapas. Obteniéndose la relación siguiente:

$$R_{\text{Etapa}} = \text{Confiabilidad de cada etapa}$$

$R_{\text{Total}} = \text{Confiabilidad total para el periodo total de diseño (ver cuadro 5)}$

n = Número de etapas.

Tabla 6

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de tráfico

Tipo de Camino	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)		
				1era. Etapa (1)	2da. Etapa (2)	Total (1)x(2)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp0	100,001	150,000	81%	81%	65%
	Tp1	150,001	300,000	84%	84%	70%
	Tp2	300,001	500,000	87%	87%	75%
	Tp3	500,001	750,000	89%	89%	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	89%	89%	80%
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90%
	Tp9	7,500,001	10,000	95%	95%	90%
	Tp10	10,000,001	12,500	95%	95%	90%
	Tp11	12,500,001	15,000	95%	95%	90%
	Tp12	15,000,001	20,000	97%	97%	95%
	Tp13	20,000,001	25,000	97%	97%	95%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	97%	97%	95%
	Tp15	> 30,000,000		97%	97%	95%

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

d) Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)

Este coeficiente simboliza el valor de la Confiabilidad seleccionada, para una serie de valores numéricos en una distribución normal.

Tabla 7

Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Desviacion Estandar Normal (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp0	100,001	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	Tp9	7,500,001	10,000.000	-1.282
	Tp10	10,000,001	12,500.000	-1.282
	Tp11	12,500,001	15,000.000	-1.282
	Tp12	15,000,001	20,000.000	-1.645
	Tp13	20,000,001	25,000.000	-1.645
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	Tp15		> 30,000,000	-1.645

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 8

Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) para dos etapas de diseño de 10 años cada una según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Desviacion Estandar Normal (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp0	100,001	150,000	-0.878
	Tp1	150,001	300,000	-0.994
	Tp2	300,001	500,000	-1.126
	Tp3	500,001	750,000	-1.227
	Tp4	750,001	1,000,000	-1.227
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.405
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.405
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.405
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.645
	Tp9	7,500,001	10,000.000	-1.645
	Tp10	10,000,001	12,500.000	-1.645
	Tp11	12,500,001	15,000.000	-1.645
	Tp12	15,000,001	20,000.000	-1.881
	Tp13	20,000,001	25,000.000	-1.881
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.881
	Tp15		> 30,000,000	-1.881

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

e) Desviación Estándar Combinada (So)

Valor que considera la variación prevista de lo proyectado del tránsito y otros entes que perjudican el estilo de comportamiento del pavimento; tales como, medio ambiente, construcción, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO aconsejan para los pavimentos flexibles acoger, valores de So extendidos entre 0.40 y 0.50, este Manual recomienda en los diseños 0.45.

f) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Es lo que el usuario recibe de circular cómodamente. Su alcance numérico varía de 0 a 5. Un 5= mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y un 0= el pésimo. Si la cualidad de la vía disminuye por deterioro, el PSI se reduce.

- ❖ **Serviciabilidad Inicial (Pi):** Es la situación de un camino recién construido.

Tabla 9
Índice de Servicios Inicial (Pi) según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Servicios Inicial (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp1	150,001	300,000	3.80
	Tp2	300,001	500,000	3.80
	Tp3	500,001	750,000	3.80
	Tp4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	4.00
	Tp6	1,500,001	3,000,000	4.00
	Tp7	3,000,001	5,000,000	4.00
	Tp8	5,000,001	7,500,000	4.00
	Tp9	7,500,001	10,000.000	4.00
	Tp10	10,000,001	12,500.000	4.00
	Tp11	12,500,001	15,000.000	4.00
	Tp12	15,000,001	20,000.000	4.20
	Tp13	20,000,001	25,000.000	4.20
	Tp14	25,000,001	30,000,000	4.20
	Tp15		> 30,000,000	4.20

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- ❖ **Serviciabilidad Final o Terminal (PT):** La Servicios Terminal (Pt) es la condición que ha alcanzado una vía, viendo la obligación de realizarse una reconstrucción o rehabilitación.

Para los distintos tipos de tráfico se indican los siguientes índices de servicios final:

Tabla 10
Índice de Serviabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Indice de Serviabilidad Final (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp1	150,001	300,000	2.00
	Tp2	300,001	500,000	2.00
	Tp3	500,001	750,000	2.00
	Tp4	750,001	1,000,000	2.00
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	2.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	2.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	2.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	2.50
	Tp9	7,500,001	10,000,000	2.50
	Tp10	10,000,001	12,500,000	2.50
	Tp11	12,500,001	15,000,000	2.50
	Tp12	15,000,001	20,000,000	3.00
	Tp13	20,000,001	25,000,000	3.00
	Tp14	25,000,001	30,000,000	3.00
	Tp15	> 30,000,000		3.00

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- ❖ **Variación de Serviabilidad (Δ PSI):** Es la resta entre la Serviabilidades Inicial y Terminal considerada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 11
Diferencial de Serviabilidad (ΔPSI) según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Indice de Serviabilidad Final (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp1	150,001	300,000	1.80
	Tp2	300,001	500,000	1.80
	Tp3	500,001	750,000	1.80
	Tp4	750,001	1,000,000	1.80
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	1.50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	1.50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	1.50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	1.50
	Tp9	7,500,001	10,000,000	1.50
	Tp10	10,000,001	12,500,000	1.50
	Tp11	12,500,001	15,000,000	1.50
	Tp12	15,000,001	20,000,000	1.20
	Tp13	20,000,001	25,000,000	1.20
	Tp14	25,000,001	30,000,000	1.20
	Tp15	> 30,000,000		1.20

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93
 Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

g) Numero Estructural Requerido (SNR)

Los resultados hallados y tratados se utilizan a la ecuación de diseño AASHTO y se consigue como resultado el Número Estructural, que simboliza el volumen completo del pavimento a construir y debe ser modificado a la anchura efectiva de cada uno de los estratos que lo componen, o sea del estrato de rodadura, de base y de sub base, por medio del empleo de los coeficientes estructurales, esta transformación resulta de aplicar lo siguiente:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

- a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de los estratos o capas: superficial, base y subbase, respectivamente.
- d_1, d_2, d_3 = anchura (cm) de los estratos: superficial, base y subbase, respectivamente.

- m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para los estratos de base y subbase, respectivamente.

AASHTO establece que la ecuación SN no posee una única solución, por lo que hay varias asociaciones de espesores de cada estrato que ofrecen una solución eficaz. El Ingeniero Proyectista, está obligado a analizar la forma de actuar las opciones de estructuras de pavimento elegidas, de tal modo que permita elegir por la opción que ofrezca las óptimas estimaciones de niveles de servicio, funcionales y estructurales, pequeños a los admisibles, con respecto al tránsito que debe cargar la vía pavimentada.

El presente manual toma en cuenta los siguientes coeficientes estructurales:

Tabla 12

Coefficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i

Componente del Pavimento	Coefficiente	Valor Coeficiente Estructural a_i (cm)	Observacion
CAPA SUPERFICIAL			
carpeta asfáltica en caliente, modulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 OC (68 OF)	a1	0.170 /cm	capa superficial recomendada para todos los tipos de trafico
carpeta asfáltica en frio, mezcla asfáltica con emulsion.	a1	0.125 /cm	capa superficial recomendada para trafico $\leq 1,000.000$ EE
Micropavimento 25mm	a1	0.130 /cm	capa superficial recomendada para trafico $\leq 1,000.000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a1	0.250 (*)	capa superficial recomendada para trafico $\leq 1,000.000$ EE. No Aplica en Tramos con pendiente mayor a 8% y, en vias con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos.
	a1	0.150 (*)	

Lechada asfáltica (Slurry Seal) de 12mm.			capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500.000 EE. No Aplica en Tramos con pendiente mayor 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos.
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			

BASE

Base Granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS	a2	0.052 /cm	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 500.000 EE.
Base Granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	a2	0.054 /cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 500.000 EE.
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a2a	0.115 /cm	Capa de Base recomendada para Todo los tipos de Tráfico.
Base Granular Tratada con cemento (resistencia a la compresion 7 dias = 35kg/cm ²)	a2b	0.070 /cm	Capa de Base recomendada para Todo los tipos de Tráfico.
Base Granular Tratada con cal (resistencia a la compresion 7 dias = 12kg/cm ²)	a2c	0.080 /cm	Capa de Base recomendada para Todo los tipos de Tráfico.

SUB BASE

Sub Base Granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS	a3	0.047 /cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq 15,00.000$ EE.
Sub Base Granular CBR 60% compactada al 100% de la MDS	a3	0.050 /cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $> 15,00.000$ EE.

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

La ecuación SN de AASHTO, de igual forma necesita del coeficiente de drenaje de los estratos granulares de base y

subbase. El coeficiente de drenaje se define por:

- a. La calidad del drenaje.
- b. Exposición a la saturación, tiempo porcentual durante el año donde un pavimento está descubierto a grados de humedad similar a la saturación.

Tabla 13
Calidad del Drenaje

Calidad de Drenaje	Tiempo en que Tarda el Agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Nota: Valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada, Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Tabla 14
Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y Sub Bases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

Calidad Del Drenaje	P=% Del Tiempo en Que el Pavimeto está Expuesto a Niveles de Humedad Cercano a la Saturacion			
	Menor Que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor Que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.53 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Nota: Valores de coeficiente de drenaje m_i , para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a ciertos grados de humedad cercanos a la saturación y la calidad del drenaje, Elaboración basada en la Guía AASHTO 93.
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

En la elección de los espesores de las estructuras de pavimento del Manual, el coeficiente de drenaje tomado fue de 1.00, para las capas (estratos) de base y sub base. De acuerdo a las condiciones requeridas por AASHTO y detallados en las tablas

previas, se han establecido los distintos Números Estructurales solicitados, para los tipos de tráfico simbolizados en ejes equivalentes (EE) y los tipos de suelos, presentándose en gráfico y cuadro (Anexos 2 y 3).

2.2.4. SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Tabla 15

Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Capa Superficial	Base Granular
Caminos de Bajo Volumen de Transito	Tp1	150,001	300,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	Tp2	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	Tp3	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	Tp4	750,001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	Tp6	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	Tp7	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	Tp8	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	Tp9	7,500,001	10,000.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm

Tp10	10,000,001	12,500.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
Tp11	12,500,001	15,000.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
Tp12	15,000,001	20,000.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
Tp13	20,000,001	25,000.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
Tp14	25,000,001	30,000.000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

Nota: Elaboración basada en la Guía AASHTO 93

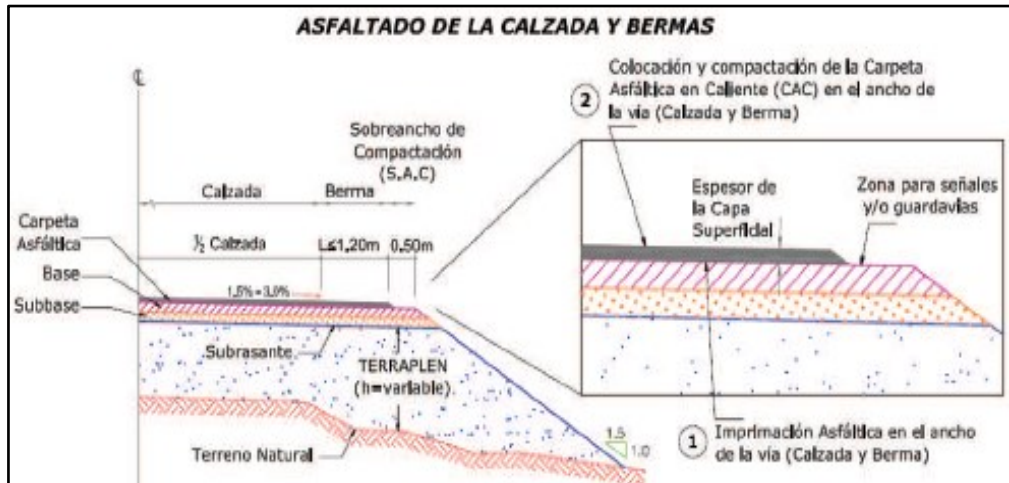
Fuente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Las capas superficiales construidas con carpeta asfáltica en caliente deben tener mínimamente de espesor 40 mm y, la base y sub base el mínimo espesor de 150 mm.

2.2.5. BERMAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Según el MTC – Manual de Carreteras (2014) Las bermas integran parte única del pavimento en diseño, conservando los elementos estructurales idénticos. Las bermas brindan un soporte lateral adecuado del límite del pavimento de la calzada y evitan que los bordes se fracturen, del mismo modo brinda al usuario seguridad y refugio apropiado a los vehículos averiados con el ancho adecuado. Caso contrario, las bermas fueran de ancho ≤ 1.20 m serán la ampliación de la estructura del pavimento de la calzada. Su construcción será paralela, no existiendo entre la berma y el pavimento junta longitudinal.

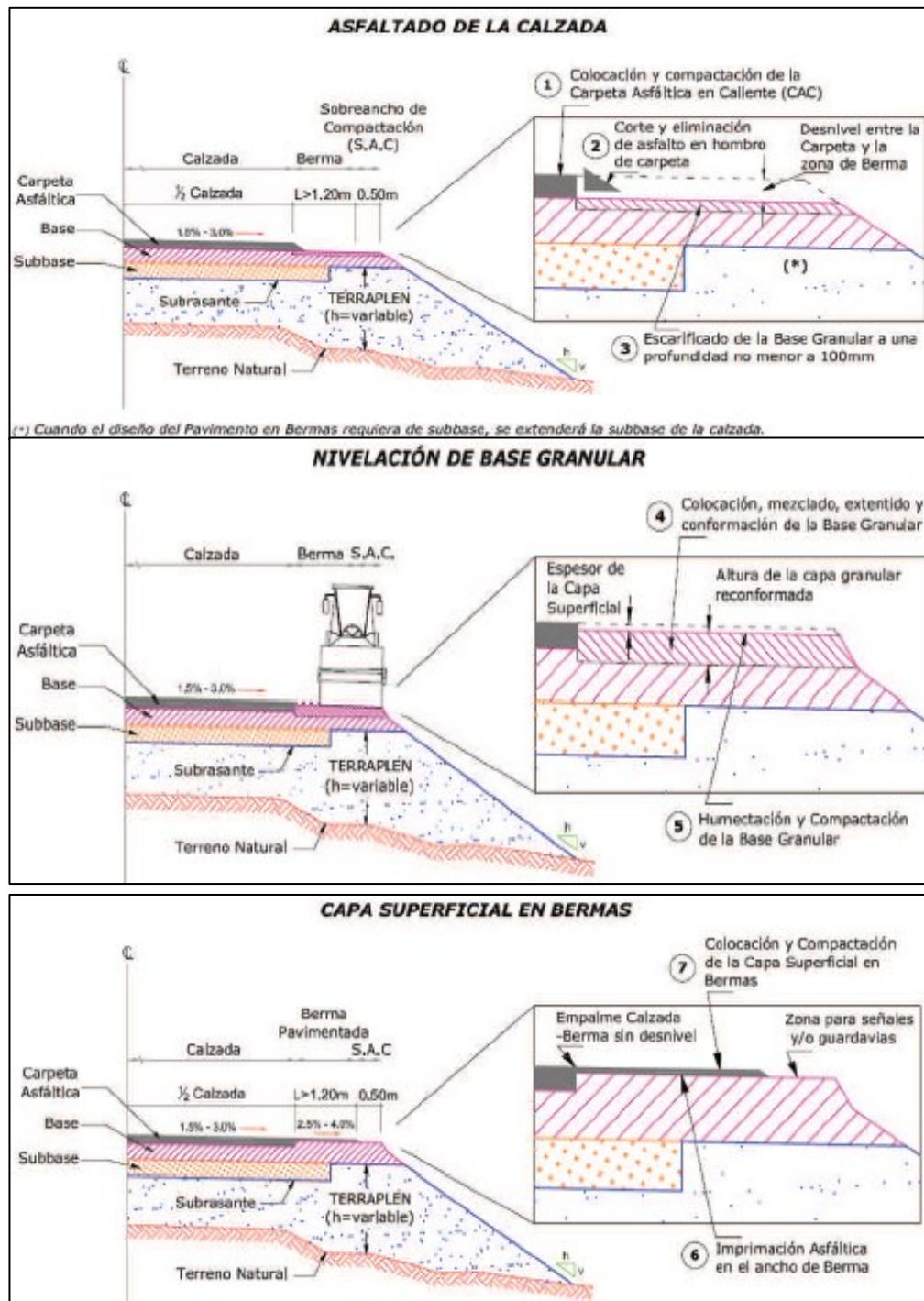
Figura 4
 Bermas con un ancho $L \leq 1.20$ m



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Bermas con un ancho mayor a 1.20 m, la estructura de la bermas depende del nivel del tráfico dispuesto para la sección y el pavimento elegido. Para calcular el número estructural de diseño, se empleará el 5% del total de Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes para el diseño del carril y el número de CBR o el Mr de la calzada diseñada. El estrato superficial será semejante a la calzada.

Figura 5
 Bermas con ancho $L > 1.20\text{ m}$



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Las calzadas que han sido construidas con carpeta asfáltica en caliente, conllevan a que las bermas podrían tener la misma carpeta asfáltica en caliente, la misma carpeta asfáltica en frío, el mismo macadam asfáltico o micropavimento de 25 mm.

Tabla 16

Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial Base Granular para Bermas

Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Capa Superficial	Base Granular
Tp0	≤ 150,000		Carpeta Asfáltica en Caliente: 40mm	150 mm
Tp1	150,001	300,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
Tp2	300,001	500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
Tp3	500,001	750,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
Tp4	750,001	1,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Tp5	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Tp6	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm

Nota: Espesores mínimos de carpeta asfáltica en caliente, según el tipo de tráfico calculado para las bermas.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

La construcción de la carpeta de asfalto en caliente mínimamente tiene 40 mm de espesor; en caso, de obtener un espesor menor a lo señalado, se puede utilizar como capa superficial de la berma, su análogo estructural en espesor de carpeta asfáltica en frío, micropavimento de 25 mm o un macadam asfáltico.

En ciertos sucesos especiales, el pavimento en berma está diseñado con particularidades idénticas a la estructuración del pavimento de la calzada:

- a) Considerando las circunstancias del tráfico, en ciertas situaciones la geometría de la carretera y, primariamente condiciones climáticas frías a una altitud superior a 3000 msnm, las bermas poseerán estructura análoga al pavimento de la calzada, usufructuando beneficios constructivos y facilitar la resistencia lateral y, a la protección estructural del pavimento de la calzada.

- b) En cuestión de tráfico alto, el responsable del diseño (ingeniero) ha predicho la utilización provisional de las bermas como nuevos carriles.
- c) En caso la estructura del pavimento ha sido compactada con una base asistida de asfalto, incluido cal o cemento, la carpeta asfáltica de la berma poseerá igual espesor de la carpeta asfáltica de rodadura de la calzada.

Se tiene en consideración la asignación de capas del pavimento, para la fijación de las capas de la berma.

Si transcurrido un tiempo medio fuese necesario ampliar el ancho de la calzada a beneficio de la berma, se decidirá acoger capas y volúmenes acoplados a tal previsión.

Por cuestiones que la circulación vial sea segura, las bermas traslaparán con la rasante de la calzada, no existiendo un desnivel entre ambas superficies. Al tener el 10% de la longitud de la berma se aceptará la diferencia de nivel entre calzada y berma de hasta 15 mm. En el supuesto de que la calzada acondicione una estrato o elemento menor drenante o de separatismo, éstos se esparcirán debajo de la berma hasta enlazar con el sistema de drenaje. (p. 163 – 166).

2.2.6. CLASIFICACIÓN DE LA CARRETERA

2.2.6.1. CLASIFICACIÓN POR DEMANDA

Según Manual de carreteras MTC (2014) En función a la demanda, las carreteras del Perú se organizan en:

A. AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE

Según el MTC (2016) son carreteras con IMDA (índice medio diario anual) superior a 6.000 vehículos/día, vías distribuidas por un separador central mínimo de 6.00 m; donde cada vía tiene carriles mayores igual a dos con ancho mínimo de 3.60 m, con mando completo de accesos (ingresos y salidas) que faciliten de forma continua la circulación vehicular, sin pasos a nivel o cruces y con

puentes peatonales en zonas urbanas.

En estas carreteras debe estar pavimentada la carpeta de rodadura (p. 12).

B. AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE

Según el MTC (2016) son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 vehículos/día, de vías distribuidas por un separador central que puede permutar desde 6,00 m a 1,00 m, en el cual se establecerá un sistema de contención vehicular; cada una de las vías debe estar compuesto con mayor igual a dos carriles con ancho mínimo de 3,60 m, con mando parcial de accesos (ingresos y salidas) que brindan continuidad en los flujos vehiculares; cabe la posibilidad de poseer pasos vehiculares a nivel o cruces y puentes peatonales en zonas urbanas.

En estas carreteras debe estar pavimentada la carpeta de rodadura (p. 12).

C. CARRETERAS DE PRIMERA CLASE

Según el MTC (2016) son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 vehículos/día, con un ancho mínimo de carril de 3.60 m en una calzada de dos carriles, alcanzan estar compuesto por pasos vehiculares a nivel o cruces y en zonas urbanas se recomienda tener los puentes peatonales o en su imperfección con dispositivos de seguridad vial, que posibiliten de forma segura las velocidades de operación.

En estas carreteras debe estar pavimentada la carpeta de rodadura (p. 12).

D. CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE

Según el MTC (2016) son carreteras con un IMDA entre 2.000 y 400 vehículos/día, con un ancho mínimo de 3.30 m los dos carriles

de la vía, pueden estar constituidas por pasos vehiculares a nivel o cruces y en lugares urbanos es sugerible que se tenga puentes peatonales o en su deficiencia tengan dispositivos de seguridad vial, que posibiliten de forma segura las velocidades de operación.

En estas carreteras debe estar pavimentada la carpeta de rodadura (p. 12).

E. CARRETERAS DE TERCERA CLASE

Según el MTC (2016) son carreteras con un IMDA menores a 400 vehículos/día, con un ancho mínimo de 3.00 m los dos carriles de la vía. De manera excepcional estas vías pudiesen tener 2.50 m de ancho los carriles, previa sustentación técnica. Cabe la posibilidad de funcionar estos caminos con soluciones económicas y básicas, coherente con el uso de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o de ser afirmado, en la carpeta de rodadura.

Si fuesen pavimentadas deben satisfacer con los requisitos de geometría considerada para los caminos de segunda clase (p. 13).

F. TROCHAS CARROZABLES

Según el MTC (2016) son carreteras que permiten su tránsito, no alcanzando los rasgos geométricos de una carretera, que usualmente tienen un IMDA inferior a 200 vehículos/día. Sus vías poseen un ancho mínimo de 4,00 m, siendo de 5.00 m al realizar ensanches para plazoletas de cruce.

Será afirmada o sin afirmar la carpeta de rodadura (p. 13).

2.2.6.2. CLASIFICACIÓN POR OROGRAFÍA

Según el MTC (2016) las carreteras del Perú, según su orografía principal del suelo por la cual pasa su trazado, se distinguen en:

A. TERRENO PLANO (TIPO 1)

Según el MTC (2016) se caracterizan por poseer pendientes transversales al eje de la vía, inferiores o iguales al 10% y sus desniveles de caídas longitudinales son por lo general inferiores al 3%, solicitando un movimiento menor de tierras, siendo motivo de no presentar mayores contratiempos para su trazado (p. 14).

B. TERRENO ONDULADO (TIPO 2)

Según el MTC (2016) se caracterizan por poseer pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus desniveles de caídas longitudinales están entre 3% y 6%, exigiendo desplazamiento moderado de tierras, facilitando la alineación más o menos recta, sin contratiempos considerables en el trazado (p. 14).

C. TERRENO ACCIDENTADO (TIPO 3)

Según el MTC (2016) se caracterizan por poseer pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y 100% y sus desniveles de caídas longitudinales sobresalientes están entre 6% y 8%, siendo necesario realizar movimientos de tierras considerables, siendo motivo de impedimentos en el trazado (p. 14).

D. TERRENO ESCARPADO (TIPO 4)

Según el MTC (2016) se caracterizan por poseer pendientes transversales al eje de la vía mayores al 100% y sus insólitos desniveles de caída longitudinal son mayores al 8%, demandando el colosal movimiento de tierras, motivo que determina grandes contratiempos para su trazado (p. 14).

2.2.7. TEMPERATURA

2.2.7.1. TEMPERATURA EXTERIOR DEL AIRE

El aire está compuesto por diferentes fragmentos constituidas por temperatura y masa.

Empero, es inestable la condición térmica del aire por los cambios de temperatura en el día y la noche, debido a que las masas de aire se calientan por la energía solar que llega a la tierra y retornan mediante radiación infrarroja, calentando así el aire. Mientras que durante la noche el aire se enfría al no recibir energía solar, alcanzando temperaturas menores a poco tiempo de amanecer.

A su vez es influenciado por las distintas estaciones anuales, que también ha sido incidida a causa del Sol. Debido a que, en el invierno, la Tierra hacia está más distante al Sol y, por tanto, la radiación que arriba es mínimo. Ocurre lo contrario en temporadas de estiaje

Más allá de lo mencionado, la condición térmica del aire estará influenciada por la latitud; es decir, el frío es mayor en los polos que en la línea ecuatorial. También la altitud, donde el aire disminuye al incrementarse la altura de la superficie terrestre.

La ubicación de los océanos y los continentes tienen una fuerte incidencia térmicas del aire en las colindantes.

Usualmente, las moléculas de agua regulan las temperaturas reduciendo repentinos cambios; mientras la amplitud térmica mayor en las masas continentales, causando mayores contrastes.

2.2.7.2. HUMEDAD DEL AIRE

Disponibile de forma parcial en el aire. El aire está constituido por determinada cantidad de moléculas de agua para una

temperatura específica. La explicación de esto es confusa y tiene relación con las condiciones físico-químicas. Por así decir, se propone que el grado de excitación de las partículas afectan al aire al calentarse, tal es el caso de una caserola a presión, cuando se calienta un elemento sus moléculas se desplazan más rápidas que en su estado frío. Si se calienta el aire las moléculas internas se desplazarán con mayor rapidez, ocupando más espacio por dilatarse y reducir el número de moléculas de aire.

El vapor es agua en el aire, y su proporción está vinculada a la temperatura. Al incrementar la temperatura es probable que exista mayor vapor de agua. La saturación se define como el término de vapor de agua existente en el aire a causa de una temperatura específica.

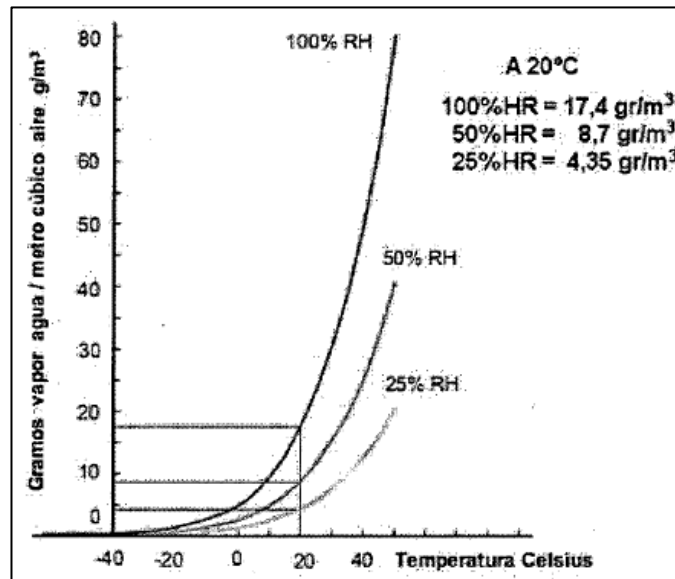
La humedad absoluta se obtiene de la siguiente manera:

$$H_{ab} = \frac{\text{cantidad de agua (g)}}{\text{cantidad de aire (m}^3\text{)}}$$

Debido a que la densidad mencionada consigue cambiar, usualmente se emplea la humedad relativa cuya fórmula es la siguiente:

$$H_{rel} = \frac{\text{humedad absoluta} * 100}{\text{humedad de saturación}}$$

Figura 6
Humedad del aire para diferentes temperaturas



Fuente: Neumática básica

2.2.7.3. VELOCIDAD DEL AIRE

Es un indicador que se incluye para calcular la percepción térmica. Su unidad de medida está representada en m/s (metro/segundo), usando para ello distintos tipos de anemómetros.

En condiciones de calor, la brisa genera una sensación agradable debido a que refresca el cuerpo; la velocidad admisible oscila hasta 1.50 m/s por poco tiempo. Al realizar trabajos con documentos, este deberá ser inferior a 0.55 m/s.

En condiciones de frío, el aire genera una sensación no grata. Cuando el aire no presenta movimiento ($v=0$ m/s), la percepción es desagradable; pero al hacer frío la velocidad del aire oscila de 0.10 a 0.15 m/s.

2.2.8. ROCAS SEDIMENTARIAS

Son contrastantes con las rocas ígneas cuyo origen es endógeno o en el interior de la Corteza Terrestre. Su materia proviene directamente o en su totalidad del exterior de la corteza terrestre (arena de playa). Por

consiguiente, son de origen exógeno, es decir se han formado en el exterior de la Corteza Terrestre, tales como mares, ríos, lagos, glaciares, desiertos, lugares mixtos (lagunas, deltas, pantanos).

No se extienden indefinidamente en profundidad en virtud de que si eso ocurre son transformadas en rocas metamórficas. Forman estratos, es decir, están **estratificadas**.

Son cuatro los estadios del proceso que da origen a las rocas sedimentarias:

A. Degradación: Demolición de rocas y minerales preexistentes debido al *intemperismo* o *meteorización* que actúa química (oxidación, hidratación) o mecánicamente (disgregación mecánica). Esta destrucción facilita la erosión las masas rocosas y es más intensa cuanto más se exponen las rocas a la intemperie.

B. Transporte: Los productos de la demolición, denominados **sedimentos** son acarreados por las aguas superficiales, por la gravedad, por el viento, por los glaciares y por las corrientes marinas, y son transportados a otros lugares.

C. Sedimentación: Cuando tales productos encuentran una cuenca que los “recoge”, entonces se depositan sobreponiéndose elemento sobre elemento, generalmente de modo estratificado. En tales depósitos es posible distinguir una porción **mineralógena** de una **organógena** (cuando existe), que componen las facies del sedimento, y a su vez, distinguibles en **litofacies** y **biofacies**, respectivamente.

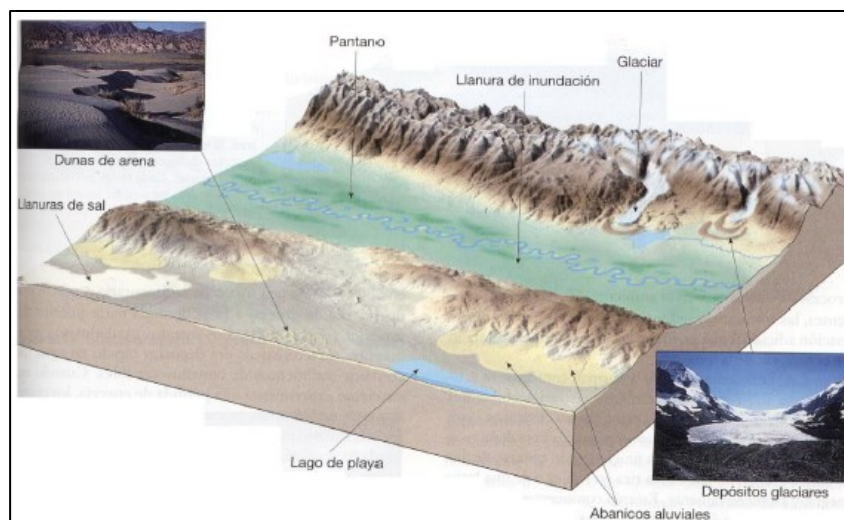
D. Diagénesis: La acumulación de los sedimentos produce su transformación en rocas mediante los siguientes procesos:

- a) Constipamiento: endurecimiento del sedimento por compresión.
- b) Cementación: producida por la precipitación de sustancias presentes en las aguas circulantes del sedimento.

- c) **Cristalización:** crecimiento secundario de minerales con la aparición de una nueva generación de minerales.
- d) **Desalación:** desaparición de las sales contenidas en los sedimentos marinos.
- e) **Silicificación:** sustitución con sílice de sustancias orgánicas o inorgánicas.
- f) Otras como calcitización, dolomitización, carbonización, etc.

En la figura siguiente se muestran los principales ambientes de formación de las rocas sedimentarias.

Figura 7
Principales ambientes de formación de las rocas sedimentarias



Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

2.2.8.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Los fragmentos de gravas, arenas, limos y arcillas al endurecer generan rocas denominadas clásticas o terrígenas, clasificándolos según su granulometría (dimensión de los granos). Los de origen químico son aquellas que surgieron de la precipitación de sustancias químicas en la cavidad de depósito; mientras, las organógenas son originadas por la participación de organismos. Figuran con mayor presencia geológica de sedimentos las rocas mixtas o híbridas, siendo casi una excepción.

Tabla 17
Clasificación de rocas sedimentarias terrígenas (granulometría)

	Nombre de la partícula o sedimento	Diámetros de las Partículas	Roca o sedimento consolidado
Grava	<i>Cantos rodados</i>	<i>> 256 mm</i>	<i>Conglomerado</i>
	<i>Guijarros</i>	<i>256 a 64 mm</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Guijas</i>	<i>64 a 4 mm</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Gránulos</i>	<i>4 a 2 mm</i>	<i>IDEM</i>
Arena	<i>Muy Gruesa</i>	<i>2 a 1 mm</i>	<i>Arenisca</i>
	<i>Gruesa</i>	<i>1 a 0.5 mm</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Mediana</i>	<i>0.5 a 0.25 mm</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Fina</i>	<i>0.25 a 0.125 mm</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Muy Fina</i>	<i>0.125 a 0.062</i>	<i>IDEM</i>
	<i>Limo</i>	<i>0.062 a 0.005 mm</i>	<i>Limolita</i>
	<i>Arcilla</i>	<i>Menos de 0.005 mm</i>	<i>Argilita o Lutita</i>

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

Tabla 18
Identificación de las Rocas Sedimentarias

Nombre de la Roca	Composición Esencial	Prueba-Clave
1. Rocas Clásticas o Terrígenas		
Conglomerado	Partículas cementadas, algo redondeadas; 1% considerable es del tamaño de guijarro	Las partículas más grandes tienen más de 2 mm de diámetro; las partículas más pequeñas y la pasta cementante ocupan intersticios
Brecha	Fragmentos claramente angulosos con pasta cementante	Las partículas grandes son del tamaño de un guijarro o aún mayores.
Arenisca	Fragmentos redondeados, del tamaño de los granos de arena. De 0.02 a 2 mm; material cementante	Generalmente son de cuarzo los granos, pero también entran otros materiales derivados de otras rocas
Arcosa	Un porcentaje importante está constituido por granos de feldespato, del tamaño de los granos de arena o de más grandes	Es esencial que los granos de feldespato constituyan 25 % o más de la roca; algunos pueden ser más grandes que los granos de arena
Grauvaca	Fragmentos de cuarzo, feldespato, fragmentos de roca cualquier otra clase, con una cantidad considerable de arcilla.	Ingredientes de diversas clases, pobremente clasificados, con una cantidad considerable de arcilla en la matriz.

Limolita	Principalmente partículas de limo con algunas de arcilla	La superficie es ligeramente áspera al tacto
Lutita	Principalmente minerales arcillosos	La superficie es suave al tacto, aparenta ser áspera
2. Rocas de origen orgánico y de origen químico		
Caliza	Calcita; puede ser afanítica o cristalina	Se raya fácilmente con la navaja; efervese con HCl diluido, frío
Roca dolomita o dolomía	Dolomita; puede ser afanítica o cristalina	Más dura que la caliza, más suave que el acero; se necesita rayarla o pulverizarla para que haga efervescencia con HCl frío
Turba	Fragmentos obvios de material vegetal	
Carbón bituminoso	Carbón negro, dispuesto en capas o bloques	Se raya fácilmente, hace raya negra
Depósito de sal	Halita, yeso	

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

2.2.9. PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS ROCAS

2.2.9.1. PESO ESPECÍFICO

Está definido por el peso por unidad de volumen de la roca, representado (kg/cm^3). Al realizar la construcción no es suficiente saber el peso específico verdadero, es necesario saber el peso específico aparente; es decir influenciada por la porosidad y el agua interna en las rocas, a causa de la absorción.

2.2.9.2. POROSIDAD

Característica basada en espacios vacíos dentro la solidez de una roca. Está representado en %, de la relación del volumen de vacíos V_p y el volumen total V_a .

2.2.9.3. ABSORCIÓN

Propiedad de las rocas de embeber agua por capilaridad, al estar sumergido de forma directa al agua o humedad del suelo. Está representado por el símbolo %.

2.2.9.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Es causa de la fisuración, fracturamiento u otro tipo de discontinuidades (planos entre coladas, estratificación, etc), que reflejan el grado de deformación y de discontinuidades de la roca. Se calcula de la capacidad de carga de la roca y es obtenida del contorno de las rocas derivadas de la excavación de pozo rocosos firme. Su fórmula es:

$$R. Q. D. = \frac{\text{Suma de los segmentos mayores a 10 cm}}{\text{Longitud del muestreo}} * 100$$

Tabla 19
Índice de calidad de la roca

R.Q.D.(%)	Calidad	Presión Admisible (Kg/cm ²)
0 - 25	Muy mala	Oct-30
25 - 50	Mala	30 - 65
50 - 75	Buena	65 - 120
75 - 90	Muy buena	120 - 200
90 - 100	Excelente	200 - 300

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

2.2.9.5. ÍNDICE DE RECUPERACIÓN

Calculo distinta de resistencia de las rocas. Obtenida de contorno de las rocas como el RQD. Se determina de la forma:

$$R(\%) = \frac{\text{Longitud total recuperada}}{\text{Longitud total perforada}}$$

A altas valoraciones del RQD y del R, se aceptan rocas permeables con su propiedad mecánica admisibles; mientras que, a bajas valoraciones, las rocas se vuelven poroso, presentando características mecánicas indeseables.

2.2.9.6. PERMEABILIDAD

Capacidad de las rocas de dejar traspasar un líquido al estar

sometidos a determinada gradiente hidráulica. La Ley de Darcy lo norma. Es decir que el cálculo de la roca es ambiguo porque en el entorno de la expulsión del agua subterránea es preferible que sea de gran intensidad, En la construcción es necesario ser inferior o diferente por causas lógicas. De hecho, las transfusiones en rocas tienden a la impermeabilización y a mejorar el módulo de deformidad del terreno.

Tabla 20
Permeabilidad de rocas

Grado de permeabilidad relativa	Coefficiente de permeabilidad (m/s)	Tipos de rocas
Alta	$> 10^{-2}$	Grava
Media	10^{-2} a 10^{-4}	Arena
Baja	10^{-4} a 10^{-9}	Arena fina o limo
Impermeable	$< 10^{-9}$	Arcilla

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

2.2.9.7. RESISTENCIA

Está determinado por 4 clases de esfuerzos: cortantes, compresión, tensión y en ciertas circunstancias por esfuerzos de torsión.

La resistencia de una roca a la compresión es usualmente estimada por aplastamiento de un ejemplar cúbico (cilindra o prisma de la misma) aplicando cargas de ruptura (número de kilogramos de carga por centímetros cuadrados de superficie).

Roca de densidad= 2.7 a 400 kg/cm²

yeso= 100 kg/cm²

Concreto= 360 kg/cm²

Hierro= 3600 kg/cm²

La capacidad de resistir la tracción desarrolla rotura por estiramiento y este efecto es 30 veces inferior a la compresión en

promedio. Mientras, la flexión es inferior de 2 a 12 veces que la compresión, representando la rotura de la roca aplicada a carga cuando un extremo está fijo.

Tabla 21

Clasificación de Magnitud acuerdo a su resistencia a la compresión

Magnitud de resistencia	Resistencia a la compresión simple (kg/cm²)
Muy elevada	> 2,250
Elevada	1,125 a 2,250
Media	565 a 1,125
Baja	280 a 565
Muy baja	< 280

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

La resistencia a la compresión está influida por la textura de la roca, en especial por el grosor de los granos (grano fino es más resistente que el grueso siempre que su cohesión sea alta).

En rocas sedimentarias depende del material que cimente o compacte, si es cuarzo el que cimenta, la resistencia aumenta, en cambio si es arcilla la que compacta, la resistencia es baja.

La resistencia a la compresión depende también de la inclinación de las fuerzas que sobre ella actúan con respecto a los planos de estratificación o lechos. De modo que la mayor resistencia corresponde a los esfuerzos normales a la estratificación.

La resistencia a la tensión o tracción se desprecia dado que difícilmente la sollicitación ingenieril será de esa naturaleza.

Los ensayos de compresión y cortantes son los mismos que se aplican a los suelos (pruebas triaxiales y sin confinar). Con ambas pruebas se determina la resistencia a la compresión y a los esfuerzos cortantes.

2.2.9.8. ELASTICIDAD

El módulo de Young o módulo de elasticidad E, expresa la resistencia diferente de una roca de sección transversal S y de longitud L, a percibir la ampliación I cuando es sometido a una fuerza de alargamiento P. Su valor es tanto mayor cuanto más pequeño es el alargamiento.

$$E = \frac{LP}{IS}$$

Las propiedades elásticas en las rocas son variables en distintas direcciones y el valor del módulo de elasticidad depende de la dirección de la medida. La carga perpendicular en el lecho de estratificación de una roca genera deformaciones máximas. Las circunstancias geológicas, entre ellas las fallas, fracturas e intrusiones lenticulares; afectan a las propiedades elásticas de las rocas de cimentación.

Cuanto más elevada es la resistencia a la compresión de la roca más alto es el módulo de elasticidad, con algunas excepciones.

2.2.9.9. MÓDULO DE COMPRESIÓN O COMPRESIBILIDAD (B)

Es el recíproco del cambio de volumen específico (dV) y de la densidad regida por una específica presión hidrostática (dP) referido en kg/cm². Se deduce la siguiente expresión matemática:

$$dV = \beta \cdot dP \cdot V_0 \quad \beta = \frac{dV + V_0}{dP} \quad K = \frac{1}{\beta}$$

V₀ = volumen inicial u original de la roca; K = módulo de incompresibilidad.

2.2.9.10. MÓDULO DE RIGIDEZ O CIZALLA (G)

Es la transformación de un elemento elástico bajo un esfuerzo de cizalla.

$$G = \frac{\tau}{\phi}$$

τ = Esfuerzo Cortante

Φ = ángulo generado por la deformación o distorsión del cuerpo.

2.2.9.11. COEFICIENTE DE POISSON

Es la relación entre la retracción transversal fraccional y la prolongación longitudinal fraccional de un elemento bajo presión, es decir, determina la relación entre la deformación lateral y la deformación longitudinal, sus valores son variables y sólo aproximados. La siguiente expresión se refiere a la relación de Poisson:

$$\nu = E - \frac{2G}{2G}$$

E= módulo de elasticidad

G= rigidez

En términos generales, a mayor módulo de Young más grande será la relación de Poisson y, relativamente, a mayor módulo de rigidez, menor relación de Poisson.

Tabla 22

Resultados de estudios petrofísicos de núcleos de rocas del campo geotérmico

Roca	D	ρ	K	E	G	K	ν
Andesita	2.6	3.1	0.3	6E+05	232120	321410	0.209
Andesita vítrea	2.2	18.8	1.3	2E+05	95790	96840	0.128
Arenisca	2.4	14.7	2.7				
Granito	2.8	0.4	0.4	7E+05	292090	432680	0.224

Nota: La densidad como la porosidad condicionan no sólo a la permeabilidad sino al resto de las resistencias de las rocas.

Fuente: (Viggiano Guerra, 2014)

D=densidad en gr/cm^3 ; ρ =porosidad efectiva en %;
k=permeabilidad absoluta en microdarcys; E=módulo de Young;
G=módulo de rigidez; K=módulo de incompresibilidad; ν =relación de Poisson, en kg/cm^2 desde E.

2.2.10. ENERGÍA TÉRMICA Y LA TEMPERATURA

La energía térmica, conocida también como energía calórica o energía calorífica, es la que tiene un elemento (o un sistema tangible a

causa de la sacudida desorganizada de las partículas que lo constituyen).

La temperatura es una magnitud física que señala la alteración térmica de las partículas (átomos o moléculas) que conforman una estructura material.

Esta alteración es conocida como nivelación térmica. Si colocamos juntos dos cuerpos de diferente temperatura, siempre existe la transmisión térmica del cuerpo con temperatura mayor hacia el que tiene menor temperatura, ajeno a sus masas.

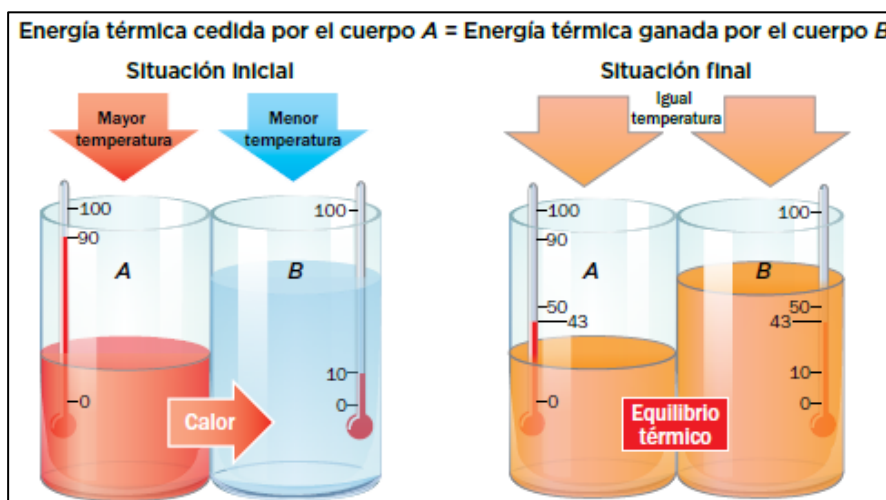
El calor que contiene un cuerpo es determinado por su temperatura, y a la vez por su masa.

La unidad del calor en el SI es el julio, J. Aunque, se sigue usando una antigua unidad de calor, la caloría, cal, en la cual: $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$; $1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$.

2.2.10.1. EQUILIBRIO TÉRMICO

Al estar en contacto dos cuerpos de distinta temperatura, se producirá un equilibrio térmico. Por lo tanto, dos cuerpos A y B estando a la misma temperatura generan equilibrio térmico.

Figura 8
Equilibrio térmico



Fuente: (Grupo Anaya S.A., 2016)

2.2.10.2. PROPAGACIÓN DEL CALOR

Son tres los mecanismos de propagación del calor:

- **Conducción:** Proceso en la cual el calor se propaga por medio de los sólidos. No se da el transporte de materia; a modo de ejemplo, al calentar un extremo de una barra de hierro
- **Convección:** Mecanismo donde el calor se difunde por medio de los fluidos. Existe el transporte de materia.

Si se calienta un fluido se aminora su densidad y se eleva, y al elevarse se enfría llegando a caer, originando frecuente tratado como las que causan las corrientes del mar.

- **Radiación:** Mecanismo donde el calor irradia en el vacío, debido a la inexistencia de algún mecanismo material. Los cuerpos al estar expuestos a fijadas temperaturas propalan radiación. Por ejemplo, los rayos solares que llegan a la Tierra, se transfieren en primera instancia por el vacío y luego a través de un medio material, la atmósfera terrestre.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- ✓ **Agregado:** Es un material compacto en forma de granos y de estructura mineralógica siendo la arena, grava, escoria, o la roca triturada, empleado en la mezcla con distintas dimensiones (Coronado Iturbide, 2002).
- ✓ **Asfalto:** Material de características cementantes, su color va de un marrón oscurecido a negro, está compuesto primariamente por betún original o mediante purificación del petróleo. El asfalto existe en el crudo del petróleo en cantidades diferentes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
- ✓ **Aire:** Es la que cubre la Tierra, de textura delgada constituido por nitrógeno, oxígeno, el bióxido de carbono, vapor de agua y gases inertes. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

- ✓ **Atmósfera:** Envoltura gaseosa que envuelve el planeta Tierra. Está constituido por nitrógeno 78%, oxígeno 21% y el resto por otros elementos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).
- ✓ **Cantera:** Lugar de extracción de rocas, siendo explotadas a cielo abierto o en minas (Polanco Madrazo, Diego Cavia, & Thomas García, 2017).
- ✓ **Cristalización:** Generación de nuevos compuestos en el seno de la masa pétreo
(Polanco Madrazo, Diego Cavia, & Thomas García, 2017).
- ✓ **Consolidación:** Disminución gradual en volumen de un suelo, como efecto de aumentar las tensiones de compresión. Puede existir consolidación de inicio (compresión de inicio), consolidación primaria, consolidación secundaria.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).
- ✓ **CBR:** Capacidad de resistir a la penetración respectiva de 0.1" o 0.2", expresada en un valor patrón porcentual (Mundaca, 2017)
- ✓ **Eflorescencia:** Cristalización de sales solubles en los poros superficiales con apariencia de manchas blanquecinas.
(Polanco Madrazo, Diego Cavia, & Thomas García, 2017).
- ✓ **Fisura:** Son aberturas sueltas que atañen únicamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial (Chico Bazaga, 2015).
- ✓ **Grieta:** Son aberturas sueltas de un elemento superficial que perjudican a todo su espesor (Chico Bazaga, 2015).
- ✓ **Lixiviación:** Es la disolución selectiva de componentes en la piedra.
(Polanco Madrazo, Diego Cavia, & Thomas García, 2017).
- ✓ **Mineral:** La composición de los minerales son inorgánicas de procedencia natural, con características físicas y constitución completamente definidas que les confieren, presumiblemente, una fórmula (Viggiano Guerra, 2014).
- ✓ **Pavimento:** Estructura compuesta por múltiples capas, cimentada en la

subrasante de la vía para soportar y repartir esfuerzos ocasionados por las llantas de los vehículos, acrecentando la seguridad y comodidad del tránsito. Usualmente está constituida por la subbase, base y carpeta de rodadura.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

- ✓ **Procesos:** Referido a los pasos continuados de un acontecimiento natural o de una acción artificial (Real Academia Española, 2018).
- ✓ **Prototipo:** Modelo inicial u original en que se crea una figura u otro elemento (Real Academia Española, 2018).
- ✓ **Piedra de canto Rodado:** Son fracciones de rocas pulidas y sueltas, propensos a ser arrastrados por mecanismos naturales, o sea por corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etcétera. (Arthur, Mark 2004).
- ✓ **Rocas:** Son compuestos minerales extensivos que se constituyen de uno o varios minerales, monominerálicas o poliminerálicas, respectivamente. Su estudio comprensivo corresponde a la *petrología*, pero su descripción y clasificación microscópica o macroscópica es de la *petrografía*. Sin embargo, las rocas son estudiadas por la *mecánica de rocas*. (Viggiano Guerra, 2014).
- ✓ **Térmica:** Está vinculado a la temperatura o el calor. De tal manera, un material térmico es aquel que mantiene la temperatura interna (Definición, 2019).
- ✓ **Vía:** carretera, pista, calle, que comprende la plataforma y sus obras complementarias para el tránsito vehicular.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).
- ✓ **Vía asfaltada:** Carretera, pista, calle o plaza que está pavimentada con el fin de garantizar el tránsito vehicular.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

2.4. HIPÓTESIS

H_i: Las piedras de canto rodado reducen las altas temperaturas atmosférica del primer prototipo a diferencia del segundo prototipo de vía asfaltada.

H₀: Las piedras de canto rodado no reducen las altas temperaturas atmosféricas del primer prototipo a diferencia del segundo prototipo de vía asfaltada.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Temperatura atmosférica del prototipo de vía asfaltada.

2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las piedras de canto rodado.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 23

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Tipo de variable
Variable independiente: Las piedras de canto rodado	Características físicas	*Tamaño	Pulgadas	Numérica discreta
		*Color	Claro, oscuro	Catagórica nominal
		*Forma	Plana, semiredondeada, redondeada	Catagórica nominal
		*Contenido mineralógico	%	Numérica continua
		*Porosidad	%	Numérica continua
Variable dependiente: Temperatura atmosférica del prototipo de vía asfaltada	Variaciones térmicas	*Tasa de absorción de energía calorífica de los rayos solares durante el día	Centígrados/minutos	Numérica continua
		*Tasa de liberación de energía calorífica durante la noche	Centígrados/minutos	Numérica continua
	Clima	*Nublado, parcialmente nublado, soleado, lluvioso	Centígrados	Numérica discreta
		*Humedad	%	Numérica discreta
	Fallas	*Fisura en los prototipos	milímetros	Numérica discreta

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN (REFERENCIAL)

La investigación es de carácter aplicativo, porque busca resolver el problema de las fallas del pavimento originados por variaciones térmicas o fenómenos de congelamiento (Hernández Sampieri, Sexta Edición-2014).

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque de investigación es cuantitativo, porque se trabaja con aspectos observables y medibles de la realidad, cuyos resultados pueden generalizarse (Hernández Sampieri, Sexta Edición-2014).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La presente investigación es de nivel descriptiva, es decir la información reunida esta detallada y se somete a análisis las propiedades vinculadas con las propiedades térmicas de las piedras de canto rodado. Del mismo modo, una sección de la investigación es de carácter explicativo, al identificar los motivos causantes de las fallas superficiales del pavimento por factores climáticos (Hernández Sampieri, Sexta Edición-2014).

3.1.3. DISEÑO

Será de tipo experimental, es decir el prototipo de vía asfaltada es expuesta a los rayos solares en el día y a los vientos fríos en la noche, y luego, observar la resistencia de la superficie asfáltica a fallas por variaciones térmicas o fenómenos de congelación (Hernández Sampieri, Sexta Edición-2014).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población lo comprende las vías asfaltadas de la región Huánuco.

La muestra es no probabilística por conveniencia: Prototipo de vía asfaltada para la provincia de Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica a emplear será observacional.

Instrumentos a usarse:

- Fichas de registro de actividades diarias y observacional.
- Equipos digitales para el registro de imágenes y videos.
- Instrumentos de medición térmica y humedad.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LOS DATOS

Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos se usará Microsoft Excel, registrando datos atmosféricos dentro y fuera del área asfaltada.

Para esquematizar el diseño del prototipo vial se empleará AutoCAD.

CAPÍTULO IV

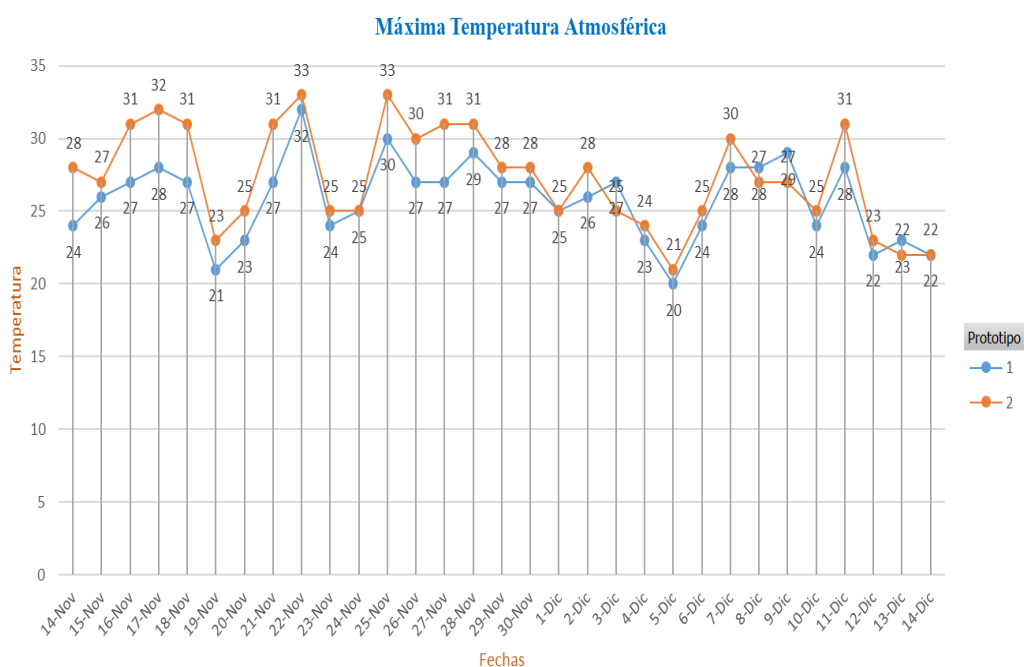
RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Las mediciones térmicas se realizaron en el prototipo 1 (capa con piedras de canto rodado) y en el prototipo 2 (sin capa de piedras de canto rodado), sumando un total de 692 registros desde el 14/11/2019 al 14/12/2019.

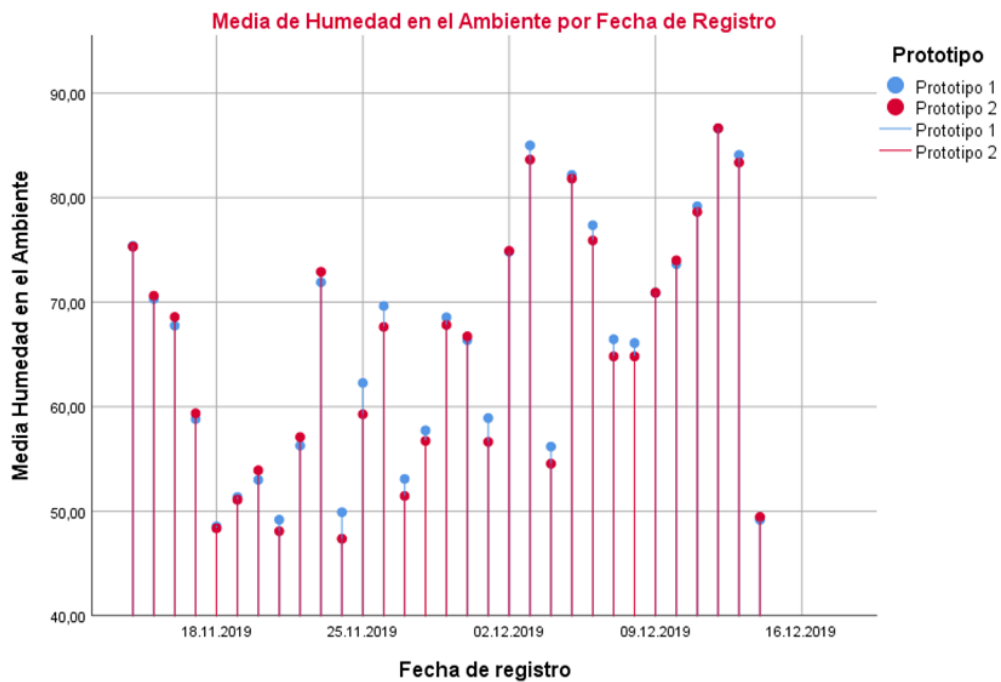
Figura 9

Máxima temperatura atmosférica por fecha de registro de cada prototipo.



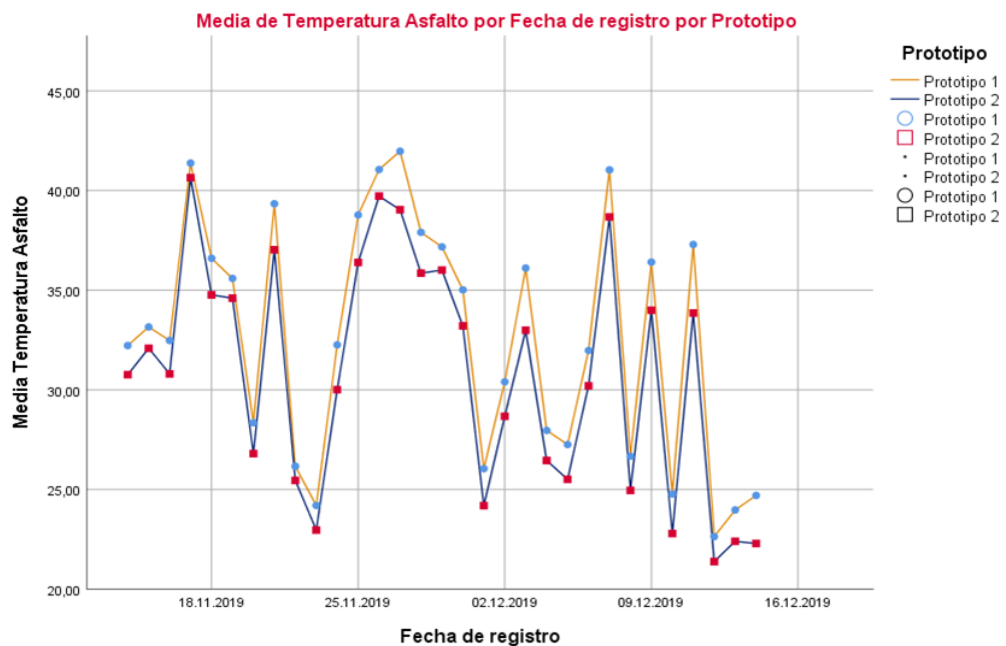
Las mediciones diarias evidencian mayor temperatura atmosférica en el prototipo 2 en contraste al prototipo 1. Esto se debe a que la carpeta asfáltica se ioniza y refleja una mayor cantidad de rayos solares.

Figura 10
Media humedad en el ambiente por fecha de registro de cada prototipo



Las medias diarias indican una ligera disminución de humedad en el ambiente próximo al prototipo 2, a causa de la reflexión de los rayos solares a la atmósfera.

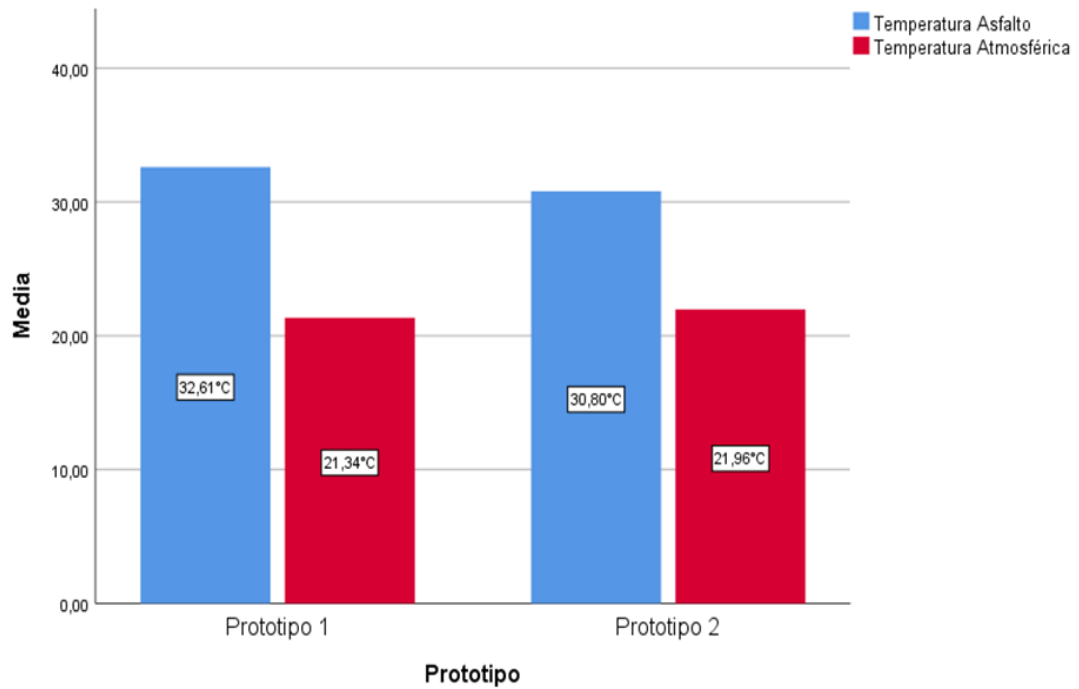
Figura 11
Media temperatura del asfalto por fecha de registro de cada prototipo



Las medias diarias de la temperatura en la carpeta asfáltica son mayores en el prototipo 1, a razón que las piedras de canto rodado absorben la energía calorífica de la carpeta asfáltica.

Figura 12

Media de la temperatura en asfalto y atmosférica para cada prototipo



Del gráfico, a mayor temperatura en el pavimento menor temperatura atmosférica, estimado por la influencia térmica de los rayos solares y de los estratos en los prototipos.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

❖ **NIVEL DE SIGNIFICANCIA:** $\alpha=5\%$ (0.05)

Tabla 24

Cálculo de media y desviación

	Prototipo	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Temperatura Atmosférica	Prototipo 1	346	213,353	368,590	,19815
	Prototipo 2	346	219,595	431,762	,23212
Temperatura Asfalto	Prototipo 1	346	326,081	1,013,441	,54483
	Prototipo 2	346	307,971	934,570	,50243

Tabla 25

Prueba T para la igualdad de medias en muestras independientes

		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
Temperatura Atmosférica	Se asumen varianzas iguales	-2,046	690	,041	-,62428	,30519	-122,350	-,02506
	No se asumen varianzas iguales	-2,046	673,425	,041	-,62428	,30519	-122,352	-,02503
Temperatura Asfalto	Se asumen varianzas iguales	2,444	690	,015	181,098	,74113	,35584	326,612
	No se asumen varianzas iguales	2,444	685,520	,015	181,098	,74113	,35583	326,614

INTERPRETACIÓN:

El valor de significancia de la temperatura atmosférica ($p_1 = 0.041$) y el valor de significancia de la temperatura del asfalto ($p_2 = 0.015$) son menores a 0.05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis “Las piedras de canto rodado reducen

las altas temperaturas atmosféricas del primer prototipo a diferencia del segundo prototipo de vía asfaltada”.

Además, las medias de la temperatura atmosférica y la temperatura de la carpeta asfáltica son distintas, difiriendo significativamente entre sí los prototipos evaluados.

Los espesores empleados serán los mínimos, ya que es un prototipo de vía asfaltada para medir los cambios térmicos e identificar las fallas en el pavimento por cambios de temperatura, ya que este es un factor de fisuramiento.

Como se menciona en el título no se evaluará la función estructural del prototipo, pero si se tiene en cuenta las condiciones de diseño.

las piedras de canto rodado forman la parte superior del estrato de la base del pavimento.

En el prototipo se tomó en cuenta la sub base= 0.15 m, base=0.10 m y carpeta asfáltica=0.05 m, cuyos espesores son los mínimos considerados para un pavimento flexible.

Las capas de piedras de canto rodado forman parte de la base, y no de la carpeta asfáltica, ya que pasaría como se menciona en el segundo párrafo, malograría el rodillo. Además, las dimensiones varían de 1 pulgada a 1 ½ pulgada, además como ligante se roció el asfalto.

El tipo de pavimento flexible a usar en el prototipo según MTC pavimento asfálticos en caliente.

No se consideró las cargas vehiculares para el diseño, pero se tomó en cuenta los espesores de las capas de un pavimento asfáltico.

Se ha elegido un lugar de menor tránsito ya que dificultaba el poder realizar la construcción del prototipo y adicionalmente el costo a mayor escala de mi prototipo ya que generaría mayor gasto para mi investigación.

En esta investigación se evaluó las ventajas térmicas de las piedras de

canto rodado en el pavimento ante las fallas por cambio de temperatura atmosférica, para el diseño se consideró espesores mínimos para cada estrato: no es necesario tomar en cuenta el ESAL ya que no se está evaluando las propiedades de resistencia estructural del pavimento.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de la prueba T para muestras independientes, se evidencia que el prototipo estratificado por una capa de piedras de canto rodado regula la temperatura exterior e interior de la estructura vial, favoreciendo en reducir fallas por deformación térmica de la carpeta asfáltica (dilatarse durante el día y apocoparse durante la noche, no recuperando su área inicial) y la regulación de la temperatura atmosférica (ante la incidencia de los rayos solares y vientos fríos). Los resultados difieren de otras investigaciones para el diseño de vías asfaltadas, porque sólo persisten en mejorar estructuralmente el pavimento.

Algunos puntos son necesario argüir de las mediciones térmicas en los prototipos. Primero, el diseño de los prototipos se realizó con una sección 0.80 x 0.60 m² con espesor de carpeta asfáltica = 5 cm, piedras de canto rodado = 2 cm y base = 10 cm, (sólo existía las tres capas en el primer prototipo). Por lo tanto, las mediciones térmicas tendrían una notoria diferencia con secciones mayores. Además, los prototipos no se sometieron a pruebas de los materiales asfálticos (consistencia, flotación, durabilidad y velocidad de curación), pruebas de los agregados (ensayo Marshall, ensayo de los ángeles, ensayo de granulometría, ensayo de lavado asfáltico, ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados) y muestras de mezclas asfálticas en caliente, debido a que se estimó la influencia de las piedras de canto rodado en la temperatura atmosférica y posibles fallas de la carpeta asfáltica por variaciones térmicas.

En alusión a la hipótesis de investigación cabe señalar que se cumplió. Acorde a los resultados obtenidos se halló una diferencia significativa entre el prototipo 1 y el prototipo 2 (la temperatura atmosférica y la temperatura del pavimento), determinando la correlación-causal de las piedras de canto rodado en el prototipo. Además, se vincula con lo desarrollado por Joseph Machuca (2015), donde menciona que las rocas trituradas o piedras volcánicas son componentes constructivos que influyen de forma favorable térmicamente en las viviendas, en especial la piedra volcánica andesita; y lo propuesto por Pablo Pascual (2012), donde afirma que independientemente

del tipo de mezcla asfáltica bituminosa empleada, éstas almacenan energía (calor).

En cuanto a la primera pregunta de investigación: ¿Cuál es la incidencia térmica de los rayos solares en las vías asfaltadas de la provincia de Huánuco?, se determinó que los rayos solares al llegar en la carpeta asfáltica la cargan de energía calorífica, cristalizando la superficie y que las repercusiones de estos rayos reflejan en su entorno, incrementando la temperatura atmosférica. De la segunda y tercera pregunta de investigación: ¿Cuáles son las temperaturas de la carpeta asfáltica y, atmosféricas en los prototipos de vía asfaltada?, se registró que al transcurrir las horas en el día el prototipo absorbe los rayos solares incrementando ligeramente la temperatura interior, pero al anochecer libera esta energía calorífica. Ambos casos atemperan la temperatura exterior.

Del estudio realizado, los resultados se pueden generalizar para vías con altas temperaturas y ocasionalmente para zonas de bajas temperaturas.

La MTC 2014 de suelos y pavimentos y el ASSHTO 93 estipulan el diseño estructural de los pavimentos, pero no toman en cuenta los perjuicios que pueda ocasionar en los seres vivos, así como las fallas que puedan surgir en el pavimento por los cambios de temperatura. Las normativas mencionadas señalan los espesores a considerar, en base al peso vehicular y ciertos rangos fijos de temperatura ambiente; obviando el análisis de la temperatura en el pavimento en sí, ya que el análisis de las características granulares está basado en propiedades mecánicas.

La carpeta asfáltica absorbe los rayos solares inicialmente hasta cristalizarse (lo mismo ocurre al ingresar el agua y congelarse en la zona alta andina), luego de ello genera una refracción devolviendo los rayos solares al ambiente exterior. Además, al estar cristalizados genera fisuras con facilidad.

Las piedras de canto rodado no forman parte de la carpeta asfáltica, ya que si fuese así perjudicaría a lo indicado (al rodillo u otros elementos empleados para su construcción), estas piedras en el diseño forman parte de la base.

CONCLUSIONES

La investigación define que la incidencia térmica de los rayos solares en las vías asfaltadas de la provincia de Huánuco genera: agrietamiento en la carpeta asfáltica, causado por la contracción o fatiga del concreto asfáltico en las variaciones de temperatura diaria; y aumento de temperatura atmosférica en áreas próximas a la vía. Los registros térmicos señalan que durante el día la temperatura máxima de la carpeta asfáltica alcanza los 64.2°C y 63.5°C, siendo ligeramente mayor en el primer prototipo. Mientras, la temperatura atmosférica en el segundo prototipo es mayor, llegando a 33°C de los 32°C del primero.

Lo mencionado transige aprobar la hipótesis planteada, ya que las piedras de canto rodado reducen las altas temperaturas atmosféricas del prototipo de vía asfaltada y, regulan bajas temperaturas de su entorno liberando energía calorífica.

Sin embargo, esto no obvia la opción de que una carretera asfaltada requiera otros elementos reguladores, como los árboles, a fin de corroborar la existencia y confort del sistema ecológico.

Con respecto a las condiciones climáticas, la influencia térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltada, contrapesa los fenómenos de ionización calorífica y cristalización de moléculas de agua por congelamiento.

La primera, los rayos solares caen directo a la carpeta asfáltica (algunos de ellos la atraviesan) en forma constante, originando que se ionice caloríficamente, luego las piedras absorben esta energía y la retransmiten hacia el suelo o capa siguiente, siendo una reserva de energía para las plantas.

La segunda, la energía almacenada en las piedras devuelven calor hacia la carpeta asfáltica, evaporando las moléculas de agua almacenadas en espacios intersticiales, las cuales puedan congelarse por los vientos fríos.

Por ende, las piedras de canto rodado regulan la temperatura atmosférica, reduciendo altas temperaturas durante el día y atemperando las mínimas durante la noche.

RECOMENDACIONES

- ✓ La metodología empleada para la obtención de datos debe ser mejorada con equipos simuladores, la que permita evaluar otros posibles casos.
- ✓ El próximo prototipo debe ser diseñado a escala normal, permitiendo mayores pruebas de laboratorio y de campo.
- ✓ Fomentar la investigación de sistemas ecológicos y fuentes generadores de energía entre los estudiantes e ingenieros civiles, integrando estructuras y entornos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chico Bazaga, V. (30 de 10 de 2015). *Sabemos Construir*. Obtenido de Diferencia entre grieta y fisura: <http://sabemosconstruir.com/2012/07/05/diferencia-entre-grieta-y-fisura/>
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: USAID/SIECA.
- Definición. (2019). *Definición.DE*. Obtenido de <https://definicion.de/termica/>
- Eco Inventos. (16 de junio de 2018). *Green Techonolgy*. Obtenido de El uso de piedras para almacenar energía puede aumentar un 50% la eficiencia de las plantas eólicas
- Fernandez Mundaca, A. (2017). *Pavimentos*.
- Grupo Anaya S.A. (2016). *Energía Térmica*. Obtenido de [www.juntadeandalucia.es › helvia › sitio › upload › 06_adaptacion](http://www.juntadeandalucia.es/helvia/sitio/upload/06_adaptacion)
- Hernández Sampieri, R. (Sexta Edición-2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2017). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Machuca Riveros, J. P. (2015). *Incidencia térmica de la piedra volcánica como elemento constructivo en las viviendas de la comunidad campesina de Sacsamarca*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ministerio de transporte y comunicaciones. (2013). *glosario de terminos de uso precuente en proyectos de infraestructura vial*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de carreteras: Diseño geometrico. En D. G. Ferrocarriles, *Clasificacion de las*

carreteras (pág. 1). Lima: Gobierno Peruano.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. En D. G. Ferrocarriles, *Suelos y Pavimentos* (pág. 1). Lima: Gobierno Peruano.

Molina Fuertes, J. O. (2017). *Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Mundaca, F. (2017).

Pascual Muñoz, P. (2012). *Estudio del comportamiento térmico de pavimentos de mezcla bituminosa y análisis de un colector solar asfáltico multicapa*. Santander: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos - Universidad de Cantabria.

Polanco Madrazo, J. A., Diego Cavia, S., & Thomas García, C. (2017). *Materiales de construcción*. España: Universidad de Cantabria.

Real Academia Española. (2018). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=UFbxsxz>

Rojas, A., Zuñiga, O., Sanchez de Prager, M., Perez, J., & María Gasco, J. (2007). *Conductividad térmica del suelo, materia orgánica, actividad y biomasa microbianas en sistemas de cultivo de maracuyá en Toro, Valle del Cauca*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Saavedra Salazar, G. G. (2014). *Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas arriba, distrito de Pisacoma, Provincia de Chucuito, Región Puno*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Senamhi. (Agosto de 2019). *Clima*. Obtenido de Mapa Climático del Perú: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>

Viggiano Guerra, J. C. (2014). *Las Rocas: Clasificación, propiedades y usos en ingeniería*. Morelia.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Celestino Domínguez, M. (2023). *Evaluación térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltada para la Provincia de Huánuco - 2019* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Evaluación térmica de las piedras de canto rodado en prototipo de vía asfaltada para provincia de huanuco-2019

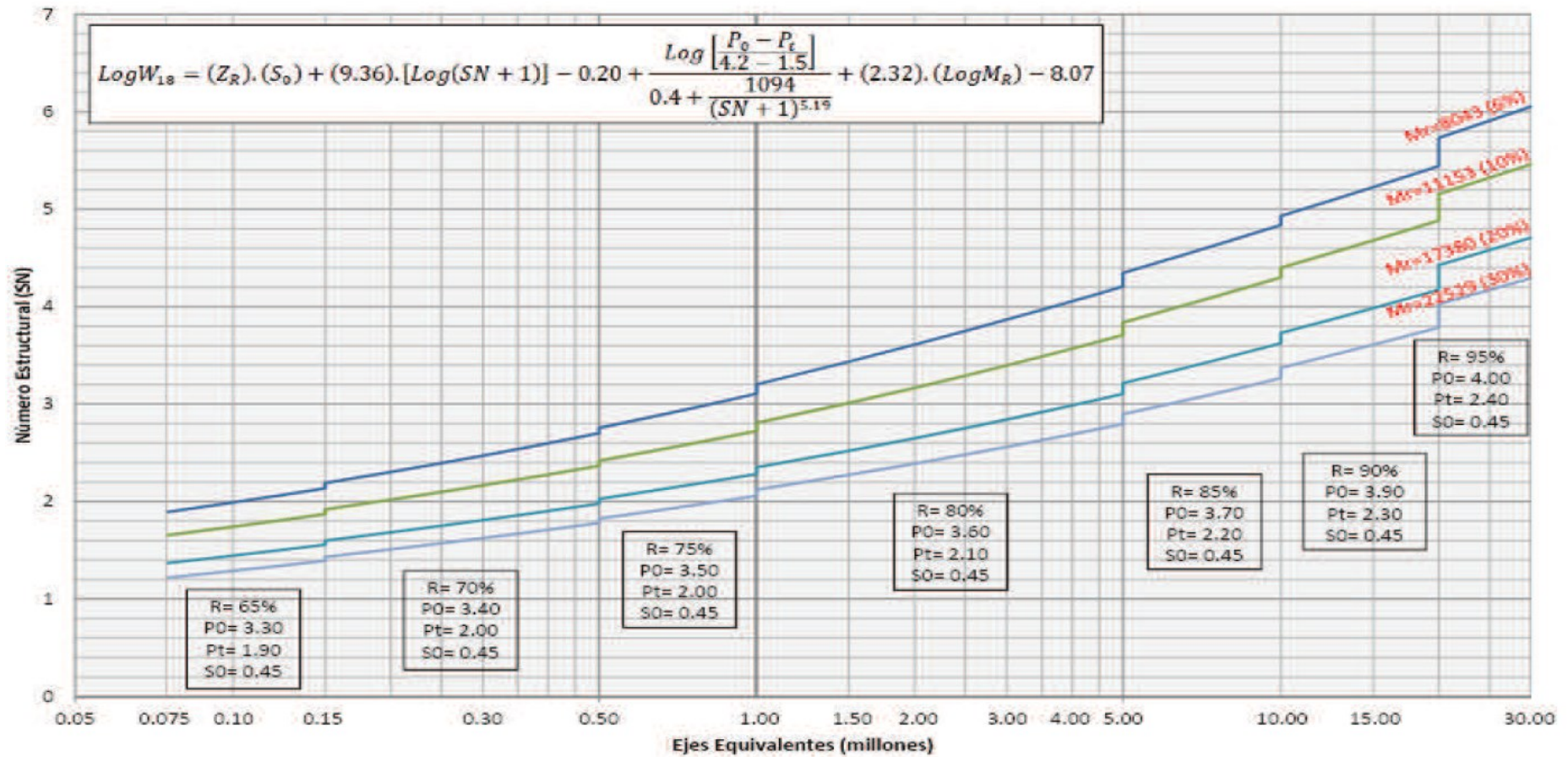
Objetivos de Investigación	Hipotesis	Variables	Dimensiones e indicadores	Tipo y diseño de estudio	Instrumentos de recolección	
Pregunta General:	Objetivo General:	Hipotesis General:	V. Independiente	Dimensiones	Tipo de Investigación:	
¿Cuál es la influencia termica de las piedras de canto rodado en prototipo de las vias asfaltadas para la provincia de Huánuco2019?	Determinar la influencia térmica de las piedras de canto rodados en prototipo de vía asfaltada para la provincia de Huánuco-2019.	Las piedras de canto rodado reducen las altas temperaturas atmosfericas del primer prototipo a diferencia del segundo prototipo de vía asfaltada	las piedras de canto rodado	características física Indicadores tamaño, color, forma, contenido mineralogico y porosidad	Aplicada Nivel de Investigación: Descriptiva	Ficha de registro de actividades diarias Ficha de observación Dispositivos electrónicos para el registro de imágenes y videos
Preguntas Específicas:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Especifica	V. Dependiente	Dimensiones	Diseño:	
¿Cuál es la incidencia térmica de los rayos solares en las vias asfaltadas de la provincia de Huánuco?	Determinar la incidencia térmica de los rayos solares en las vias asfaltadas de la provincia de Huánuco	Las vias asfaltadas de la provincia de Huánuco regulan la incidencia térmica de los rayos solares	Temperatura atmosferica del	variaciones termicas, climas, fallas Indicadores	Será de tipo experimental, transversal	

¿Cuáles son las temperaturas de la carpeta asfáltica en los prototipo de vía asfaltada?	Registrar las temperaturas de la carpeta asfáltica en los prototipos de vía asfaltado.		La temperatura de la carpeta asfáltica en el primer prototipo es mayor que en el segundo prototipo de vía asfaltada	prototipo de vía asfaltada	*Tasa de absorcion de energia calorifica de los rayos solares durante el dia y tasa de liberacion de energia calorifica durante la noche *Nublado, parcialmente nublado, soleado, lluvioso *Humedad *Fisura	Instrumentos de medición térmica
¿Cuáles son las temperaturas atmosfericas de los prototipos de vía asfaltada?	Registrar las temperaturas atmosfericas de los prototipos de vía asfaltado.	las los	La temperatura atmosferica en el primer prototipo es mayor que en el segundo prototipo de			

Nota: Adaptado de la matriz operacional de la Viable y Matriz del Dr. Marroquín Peña Roberto (2012).

ANEXO 2

NÚMERO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES



Nota: para confiabilidad de Diseño del Pavimento en una sola etapa.
 Fuente: Elaboración basada en el Método AASHTO93-Manual de carreteras MTC (2013)

ANEXO 3

NÚMERO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES (SN)- PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

CATALOGO DE NUMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUBRASANTE						
Carpetas Asfálticas en Caliente + Base Granular + Sub Base Granular						
TIPO DE SUBRASANTE	Inadecuada	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena	Excelente
CLASE TRANSITO	CBR < 3% (*)	3% ≤ CBR < 6% (*)	6% ≤ CBR < 10%	10% ≤ CBR < 20%	20% ≤ CBR < 30%	CBR ≥ 30%
Tp0						
75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
Tp1						
150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
Tp2						
300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
Tp3						
500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
Tp4						
750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.726	2.283	2.059
Tp5						
1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
Tp6						
1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.856	3.395	2.841	2.561
Tp7						
3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
Tp8						
5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.530	4.103	3.449	3.107
Tp9						
7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
Tp10						
10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.562	3.869	3.501
Tp11						
12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
Tp12						
15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
Tp13						
20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.907	5.323	4.580	4.172
Tp14						
25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.052	5.460	4.708	4.293

Nota: (*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de Suelos, que será materia de Estudio Especial.

- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, corresponderá a la de un suelo regular (CBR≥6% A CBR<10)

ANEXO 4


ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PIEDRAS DE CANTO RODADO

Tamaño	De 1" a 1 $\frac{1}{2}$ "
Colores	Azulado oscuro, verdusco y rojizo
Forma	Plana, semiredondeada y redondeada
Porosidad	No presentan poros visibles
Contenido mineralógico	No se realizó el estudio respectivo



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ASFALTO RC-250:

Limitaciones	No ser diluido en agua u otro solvente	
Viscosidad cinemática a 60 °C	250 a 500	
Punto de inflamación (copa abierta)	27	
Volumen total destilado a 260 °C	60%	
Viscosidad dinámica a 60 °C	600 a 2400 poises	
Penetración a 25 °C	80 a 120 mm	
Ductilidad a 25 °C	100 mm	
Solubilidad en tricloroetileno	99% de su masa	
Contenido de agua	0 a 0.2 % del volumen	

Fuente: Asfalto y Construcciones S.A.C.

OTROS MATERIALES:

- ✓ Recipiente grande de metal, para facilitar el mezclado asfáltico.
- ✓ Apisonador artesanal de madera.
- ✓ Guantes.
- ✓ Badilejo.
- ✓ Leña.
- ✓ Material grueso y fino, para la base y la carpeta asfáltica.
- ✓ Flexómetro.

ANEXO 5

ESPECIFICACIONES DE INSTRUMENTO DE MEDICION TERMICA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PIRÓMETRO

Temperature range	-50~330°C (-58~626°F)
Accuracy	0°C~330°C (32°F~626°F): ±1.5°C(±2.7°F)or±1.5% -50°C~0°C(-58°F~32°F): ±3°C~±(5°F) Whichever is greater
Resolution	0.1°C or 0.1°F
Repeatability	1% of reading or 1°C
Response time	500 mSec, 95% response
Spectral response	8–14 um
Emissivity	0.95 Preset
Distance to Spot size	12:1
Operating Temperature	0~40°C (32~104°F)
Operating Humidity	10~90%RH non-condensing. up to 30°C(86°F)
Storage Temperature	-20~60°C(-4~140°F)
Power	1.5V AAA*2 battery
Typical battery life	Laser off:12 hrs

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TERMOHIGRÓMETRO

Características:

1. Visualización simultánea de la temperatura exterior e interior y la humedad relativa en interiores.
2. Rangos de medidas de temperatura:
Temperatura de exteriores: -50°C a 70°C
Temperatura de interiores: -10°C a 50°C
Humedad interior relativa: 25% RH a 98% RH
3. Precisión:
Temperatura exterior: ±1°C
Temperatura interior: ±1°C
Humedad interior relativa: ±3% RH (50% RH a 80% RH)
±5% RH (<50% RH, >80% RH)
4. Función máxima y mínima de memoria.
5. Use una pila AA de 1.5V

ANEXO 6

DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS

- **Prototipo 1:**

En el prototipo se tomó en cuenta la sub base= 0.15 m, base=0.10 m y carpeta asfáltica=0.05 m, cuyos espesores son los mínimos considerados para un pavimento flexible.

- **Prototipo 2:**

En el prototipo se tomó en cuenta la sub base= 0.15 m, base=0.10 m y carpeta asfáltica=0.05 m, cuyos espesores son los mínimos considerados para un pavimento flexible.

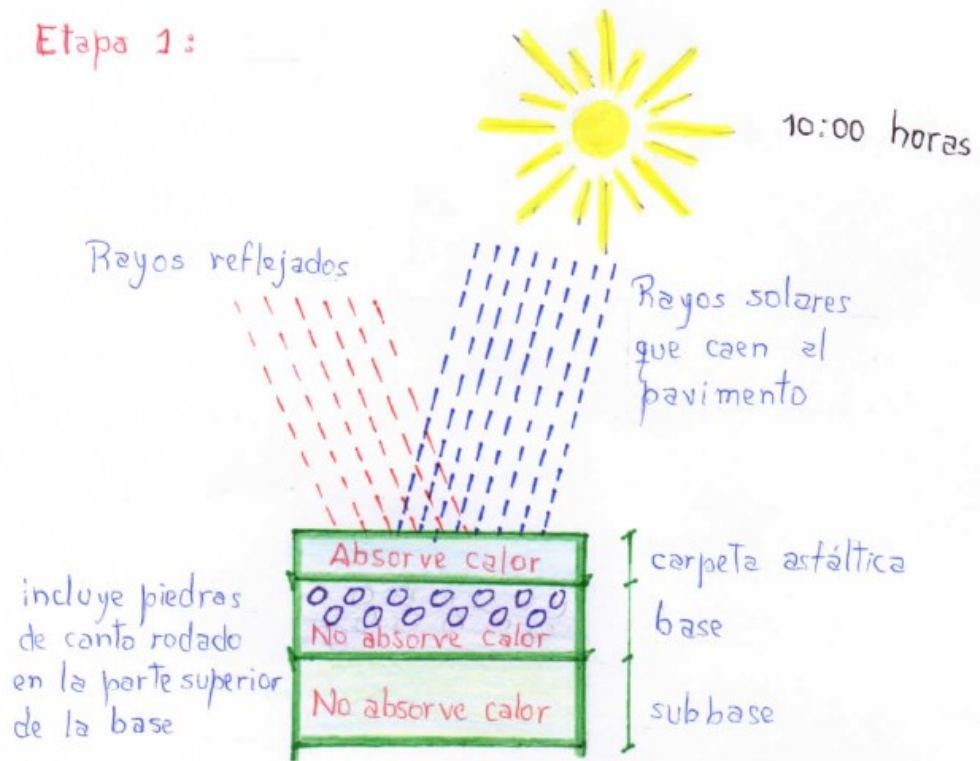
Las capas de piedras de canto rodado forman parte de la base, y no de la carpeta asfáltica, ya que pasaría como se menciona en el segundo párrafo, malograría el rodillo. Además, las dimensiones varían de 1 pulgada a 1 ½ pulgada, además como ligante se roció el asfalto.

El tipo de pavimento flexible a usar en los prototipos según MTC es el pavimento asfáltico en caliente

ANEXO 7

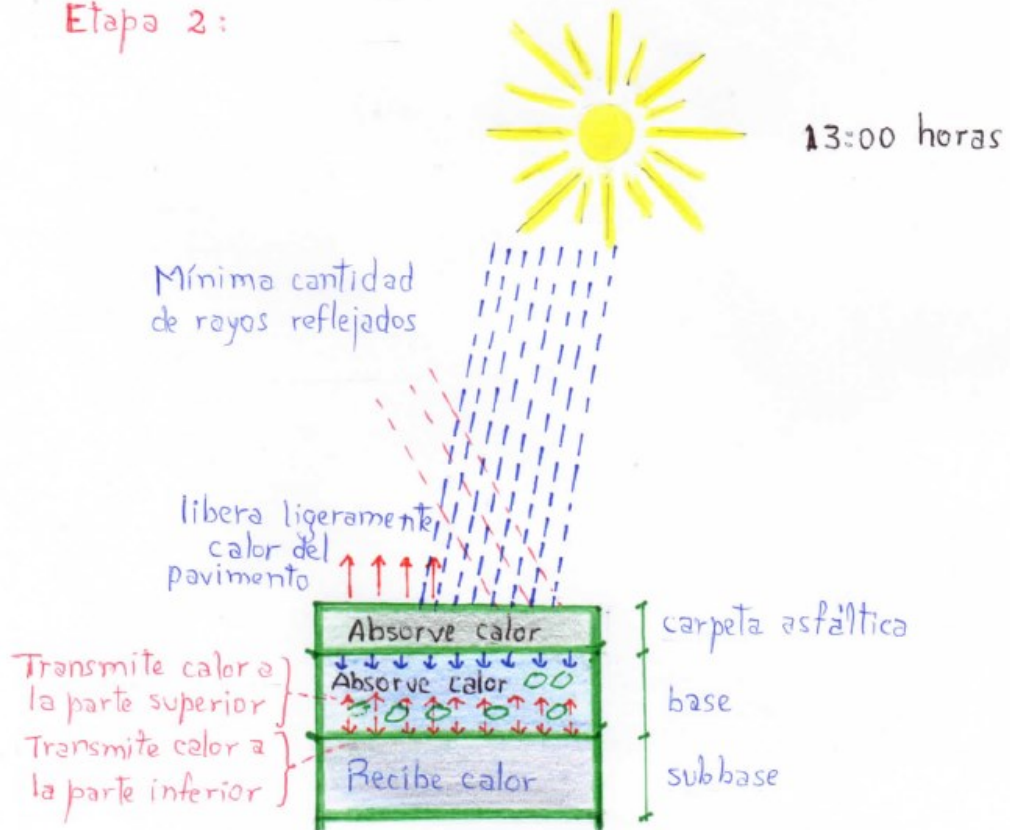
PROTOTIPO A

Etapa 1:

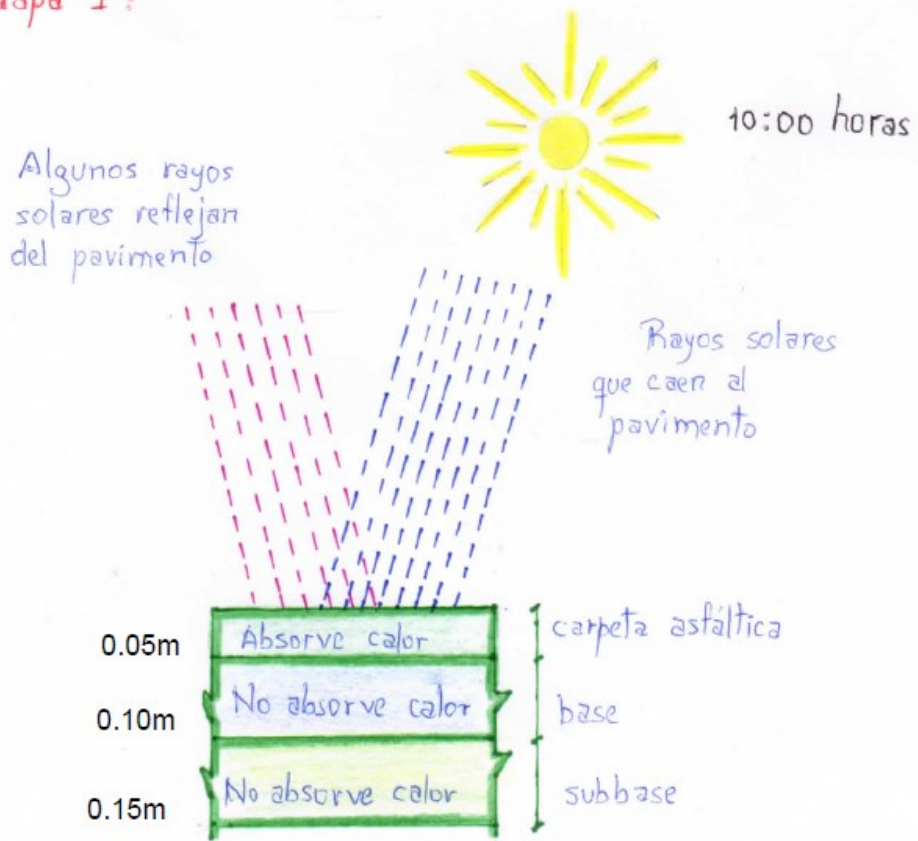


PROTOTIPO B

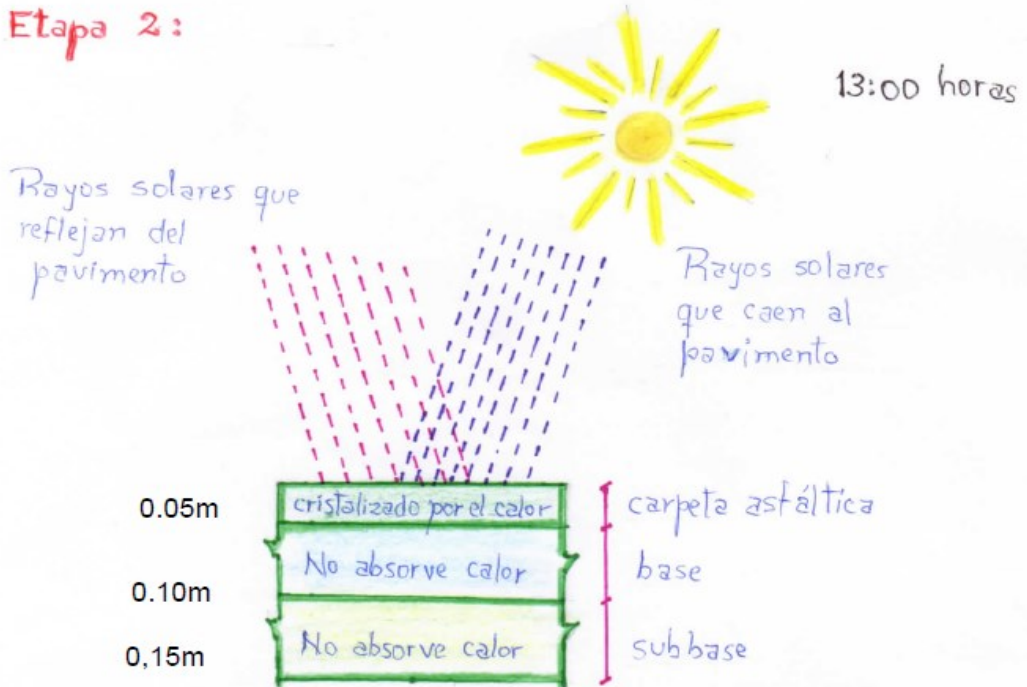
Etapa 2:



Etapa 1:



Etapa 2:



ANEXO 8

TEMPERATURA EN CARRETERA ASFALTADA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. INGENIERÍA CIVIL



Fecha	Hora	T. Atmosf	Humedad	Lateral Izquierdo	Lateral Derecho	Margen Izquierda-Derecha
Carretera Central Tramo Es-Salud y Electrocentro						
15/12/2019	08:00	21.00 °C	60.00%	38.90 °C	37.10 °C	Acera-Tierra
15/12/2019	09:00	22.00 °C	52.00%	42.60 °C	40.50 °C	Acera-Tierra
15/12/2019	10:00	24.00 °C	50.00%	41.90 °C	39.60 °C	Acera-Tierra
15/12/2019	11:00	18.00 °C	67.00%	35.40 °C	35.30 °C	Acera-Rampa
15/12/2019	12:00	17.00 °C	75.00%	39.70 °C	40.60 °C	Vía asfaltada
15/12/2019	13:00	17.00 °C	70.00%	39.60 °C	39.80 °C	Piedra-Tierra
15/12/2019	14:00	18.00 °C	62.00%	37.40 °C	38.00 °C	Piedra-Rampa
15/12/2019	15:00	16.00 °C	58.00%	35.50 °C	34.90 °C	Piedra-Tierra
15/12/2019	16:00	16.00 °C	57.00%	32.00 °C	31.70 °C	Piedra-Tierra
15/12/2019	17:00	16.00 °C	49.00%	27.30 °C	28.20 °C	Piedra-Tierra
15/12/2019	18:00	15.00 °C	61.00%	22.80 °C	21.20 °C	Piedra-Tierra
Tramo Unheval-Cayhuaynita						
17/12/2019	08:00	16.00 °C	85.00%	34.00 °C	28.20 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	09:00	18.00 °C	79.00%	37.60 °C	26.40 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	10:00	20.00 °C	74.00%	40.80 °C	27.90 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	11:00	21.00 °C	73.00%	45.50 °C	25.20 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	12:00	21.00 °C	86.00%	52.40 °C	46.60 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	13:00	21.00 °C	80.00%	56.30 °C	49.50 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	14:00	20.00 °C	81.00%	54.70 °C	48.10 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	15:00	20.00 °C	69.00%	49.20 °C	45.90 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	16:00	19.00 °C	60.00%	41.00 °C	39.30 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	17:00	18.00 °C	62.00%	35.40 °C	32.10 °C	Acera-Tierra
17/12/2019	18:00	16.00 °C	62.00%	31.60 °C	30.80 °C	Acera-Tierra

La temperatura en los laterales de la vía varían de acuerdo al tipo de berma (tierra o piedra con cemento); o a la ausencia de ésta, hallando en su lugar aceras o rampas vehiculares.

Fuente: Elaboración basada en estudios previos de Richard Gonzales.



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
14/11/2019	08:00	18.00 °C	74.00%	37.40 °C	16.00 °C	76.00%	32.10 °C
	09:00	22.00 °C	62.00%	45.90 °C	23.00 °C	62.00%	44.50 °C
	10:00	24.00 °C	50.00%	49.40 °C	28.00 °C	48.00%	47.00 °C
	11:00	18.00 °C	67.00%	40.60 °C	22.00 °C	66.00%	38.30 °C
	12:00	17.00 °C	75.00%	33.10 °C	21.00 °C	74.00%	31.60 °C
	13:00	18.00 °C	75.00%	31.40 °C	23.00 °C	73.00%	30.20 °C
	14:00	18.00 °C	70.00%	32.00 °C	23.00 °C	70.00%	30.90 °C
	15:00	16.00 °C	85.00%	27.40 °C	23.00 °C	84.00%	26.30 °C
	16:00	16.00 °C	84.00%	28.00 °C	25.00 °C	84.00%	27.00 °C
	17:00	15.00 °C	80.00%	24.90 °C	22.00 °C	80.00%	24.10 °C
	18:00	15.00 °C	83.00%	23.40 °C	19.00 °C	84.00%	22.90 °C
	19:00	14.00 °C	87.00%	23.40 °C	16.00 °C	88.00%	23.30 °C
20:00	14.00 °C	88.00%	22.00 °C	13.00 °C	90.00%	21.70 °C	
15/11/2019	08:00	18.00 °C	65.00%	30.80 °C	18.00 °C	66.00%	31.20 °C
	09:00	20.00 °C	62.00%	34.30 °C	21.00 °C	62.00%	32.40 °C
	10:00	23.00 °C	43.00%	44.50 °C	25.00 °C	42.00%	39.00 °C
	11:00	24.00 °C	43.00%	45.80 °C	26.00 °C	42.00%	43.20 °C
	12:00	26.00 °C	45.00%	47.90 °C	27.00 °C	43.00%	46.10 °C
	13:00	20.00 °C	76.00%	37.20 °C	21.00 °C	72.00%	36.30 °C
	14:00	18.00 °C	82.00%	31.10 °C	19.00 °C	82.00%	30.90 °C
	15:00	18.00 °C	83.00%	29.50 °C	19.00 °C	82.00%	29.70 °C
	16:00	17.00 °C	83.00%	28.80 °C	17.00 °C	83.00%	28.60 °C
	17:00	17.00 °C	80.00%	27.90 °C	16.00 °C	83.00%	27.10 °C
	18:00	17.00 °C	85.00%	25.40 °C	15.00 °C	87.00%	25.20 °C
	19:00	16.00 °C	81.00%	24.70 °C	15.00 °C	84.00%	24.40 °C
20:00	16.00 °C	86.00%	23.10 °C	14.00 °C	90.00%	23.00 °C	
16/11/2019	08:00	15.00 °C	62.00%	26.00 °C	12.00 °C	68.00%	24.00 °C
	09:00	18.00 °C	60.00%	33.00 °C	16.00 °C	61.00%	31.80 °C
	10:00	20.00 °C	60.00%	35.80 °C	21.00 °C	60.00%	33.90 °C
	11:00	24.00 °C	57.00%	39.40 °C	26.00 °C	57.00%	37.50 °C
	12:00	26.00 °C	46.00%	45.10 °C	28.00 °C	45.00%	43.80 °C
	13:00	27.00 °C	45.00%	47.20 °C	31.00 °C	44.00%	44.90 °C
	14:00	23.00 °C	68.00%	38.50 °C	25.00 °C	71.00%	36.30 °C
	15:00	13.00 °C	100.00%	22.30 °C	17.00 °C	100.00%	19.60 °C
	16:00	17.00 °C	100.00%	26.30 °C	16.00 °C	100.00%	24.90 °C
	17:00	24.00 °C	56.00%	27.20 °C	22.00 °C	55.00%	26.00 °C
	18:00	16.00 °C	81.00%	25.70 °C	19.00 °C	80.00%	24.30 °C
	19:00	14.00 °C	78.00%	23.20 °C	14.00 °C	82.00%	22.60 °C
17/11/2019	08:00	14.00 °C	80.00%	36.50 °C	13.00 °C	82.00%	36.80 °C
	09:00	16.00 °C	83.00%	49.30 °C	14.00 °C	84.00%	47.00 °C
	10:00	19.00 °C	69.00%	53.40 °C	22.00 °C	69.00%	48.50 °C
	11:00	28.00 °C	48.00%	64.20 °C	32.00 °C	50.00%	63.50 °C
	12:00	27.00 °C	45.00%	63.10 °C	32.00 °C	44.00%	63.50 °C
	13:00	24.00 °C	54.00%	42.40 °C	28.00 °C	52.00%	42.20 °C
	14:00	21.00 °C	75.00%	32.00 °C	25.00 °C	75.00%	32.00 °C
	15:00	21.00 °C	36.00%	30.40 °C	25.00 °C	38.00%	30.30 °C
	16:00	26.00 °C	52.00%	29.50 °C	26.00 °C	52.00%	29.20 °C
	17:00	26.00 °C	55.00%	28.30 °C	25.00 °C	55.00%	28.30 °C
18:00	22.00 °C	50.00%	26.00 °C	21.00 °C	52.00%	25.80 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
18/11/2019	08:00	18.00 °C	47.00%	26.40 °C	15.00 °C	49.00%	25.90 °C
	09:00	22.00 °C	50.00%	34.30 °C	19.00 °C	51.00%	32.80 °C
	10:00	23.00 °C	48.00%	39.90 °C	24.00 °C	47.00%	38.60 °C
	11:00	25.00 °C	42.00%	45.30 °C	27.00 °C	40.00%	42.10 °C
	12:00	27.00 °C	39.00%	56.90 °C	31.00 °C	37.00%	51.80 °C
	13:00	27.00 °C	45.00%	47.60 °C	30.00 °C	44.00%	44.20 °C
	14:00	26.00 °C	54.00%	36.90 °C	29.00 °C	53.00%	36.60 °C
	15:00	25.00 °C	55.00%	33.10 °C	26.00 °C	54.00%	31.90 °C
	16:00	24.00 °C	56.00%	29.30 °C	26.00 °C	56.00%	28.60 °C
	17:00	21.00 °C	50.00%	27.70 °C	21.00 °C	51.00%	25.80 °C
18:00	18.00 °C	48.00%	25.20 °C	18.00 °C	50.00%	24.10 °C	
19/11/2019	08:00	19.00 °C	38.00%	34.10 °C	17.00 °C	41.00%	34.60 °C
	09:00	20.00 °C	38.00%	35.10 °C	19.00 °C	40.00%	34.10 °C
	10:00	21.00 °C	42.00%	49.90 °C	23.00 °C	42.00%	46.90 °C
	11:00	20.00 °C	44.00%	41.60 °C	21.00 °C	43.00%	39.80 °C
	12:00	20.00 °C	44.00%	40.00 °C	20.00 °C	41.00%	39.00 °C
	13:00	18.00 °C	51.00%	38.40 °C	19.00 °C	50.00%	37.30 °C
	14:00	18.00 °C	63.00%	35.90 °C	19.00 °C	60.00%	34.70 °C
	15:00	17.00 °C	63.00%	32.90 °C	18.00 °C	60.00%	32.30 °C
	16:00	16.00 °C	60.00%	29.30 °C	17.00 °C	61.00%	29.00 °C
	17:00	16.00 °C	61.00%	28.00 °C	16.00 °C	62.00%	27.00 °C
18:00	16.00 °C	61.00%	26.30 °C	15.00 °C	62.00%	25.90 °C	
20/11/2019	08:00	16.00 °C	80.00%	22.80 °C	14.00 °C	85.00%	21.50 °C
	09:00	16.00 °C	79.00%	23.80 °C	15.00 °C	82.00%	22.20 °C
	10:00	19.00 °C	70.00%	25.30 °C	18.00 °C	73.00%	23.40 °C
	11:00	21.00 °C	62.00%	30.20 °C	21.00 °C	61.00%	28.50 °C
	12:00	22.00 °C	50.00%	36.00 °C	23.00 °C	50.00%	33.00 °C
	13:00	23.00 °C	50.00%	34.00 °C	25.00 °C	49.00%	31.70 °C
	14:00	22.00 °C	41.00%	31.80 °C	24.00 °C	40.00%	30.00 °C
	15:00	22.00 °C	41.00%	30.20 °C	23.00 °C	39.00%	28.90 °C
	16:00	21.00 °C	36.00%	28.40 °C	22.00 °C	37.00%	27.30 °C
	17:00	18.00 °C	35.00%	25.90 °C	19.00 °C	36.00%	25.20 °C
18:00	17.00 °C	39.00%	23.40 °C	16.00 °C	41.00%	23.10 °C	
21/11/2019	08:00	18.00 °C	51.00%	39.40 °C	17.00 °C	52.00%	37.80 °C
	09:00	24.00 °C	36.00%	50.60 °C	27.00 °C	34.00%	46.50 °C
	10:00	27.00 °C	30.00%	62.60 °C	31.00 °C	28.00%	53.90 °C
	11:00	24.00 °C	40.00%	46.70 °C	26.00 °C	39.00%	43.10 °C
	12:00	21.00 °C	49.00%	39.90 °C	23.00 °C	47.00%	38.60 °C
	13:00	21.00 °C	50.00%	37.00 °C	22.00 °C	48.00%	35.30 °C
	14:00	20.00 °C	50.00%	35.70 °C	20.00 °C	48.00%	34.00 °C
	15:00	20.00 °C	57.00%	33.40 °C	19.00 °C	54.00%	32.10 °C
	16:00	20.00 °C	58.00%	30.70 °C	19.00 °C	57.00%	30.40 °C
	17:00	19.00 °C	56.00%	30.00 °C	17.00 °C	57.00%	29.10 °C
18:00	19.00 °C	64.00%	26.70 °C	17.00 °C	65.00%	26.50 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
22/11/2019	08:00	20.00 °C	42.00%	21.00 °C	19.00 °C	47.00%	19.00 °C
	09:00	20.00 °C	37.00%	24.00 °C	20.00 °C	41.00%	23.00 °C
	10:00	22.00 °C	49.00%	23.00 °C	21.00 °C	44.00%	22.10 °C
	11:00	26.00 °C	66.00%	25.90 °C	26.00 °C	67.00%	23.40 °C
	12:00	27.00 °C	60.00%	29.40 °C	28.00 °C	61.00%	31.70 °C
	13:00	28.00 °C	58.00%	31.40 °C	28.00 °C	58.00%	30.50 °C
	14:00	26.00 °C	62.00%	28.70 °C	27.00 °C	62.00%	28.00 °C
	15:00	24.00 °C	63.00%	26.40 °C	25.00 °C	62.00%	25.70 °C
	16:00	32.00 °C	52.00%	27.60 °C	33.00 °C	54.00%	26.70 °C
	17:00	31.00 °C	61.00%	25.80 °C	31.00 °C	62.00%	25.40 °C
18:00	22.00 °C	69.00%	24.60 °C	21.00 °C	70.00%	24.50 °C	
23/11/2019	08:00	15.00 °C	50.00%	29.80 °C	14.00 °C	55.00%	29.00 °C
	09:00	18.00 °C	93.00%	30.00 °C	17.00 °C	96.00%	28.50 °C
	10:00	17.00 °C	92.00%	24.60 °C	17.00 °C	95.00%	23.90 °C
	11:00	17.00 °C	92.00%	25.00 °C	18.00 °C	95.00%	23.70 °C
	12:00	16.00 °C	80.00%	20.30 °C	18.00 °C	79.00%	19.40 °C
	13:00	15.00 °C	80.00%	19.80 °C	15.00 °C	78.00%	18.20 °C
	14:00	16.00 °C	60.00%	22.80 °C	15.00 °C	62.00%	21.30 °C
	15:00	18.00 °C	58.00%	24.30 °C	19.00 °C	60.00%	22.00 °C
	16:00	21.00 °C	54.00%	25.20 °C	22.00 °C	53.00%	23.80 °C
	17:00	24.00 °C	63.00%	23.50 °C	25.00 °C	61.00%	22.40 °C
18:00	19.00 °C	69.00%	20.90 °C	20.00 °C	68.00%	20.40 °C	
24/11/2019	08:00	17.00 °C	32.00%	22.30 °C	16.00 °C	33.00%	21.80 °C
	09:00	19.00 °C	30.00%	26.60 °C	18.00 °C	31.00%	26.90 °C
	10:00	22.00 °C	35.00%	42.70 °C	24.00 °C	31.00%	37.80 °C
	11:00	22.00 °C	35.00%	42.60 °C	24.00 °C	30.00%	38.10 °C
	12:00	22.00 °C	36.00%	41.90 °C	24.00 °C	35.00%	37.90 °C
	13:00	21.00 °C	33.00%	35.60 °C	23.00 °C	31.00%	32.70 °C
	14:00	22.00 °C	65.00%	33.40 °C	22.00 °C	60.00%	30.80 °C
	15:00	25.00 °C	65.00%	30.00 °C	25.00 °C	61.00%	28.30 °C
	16:00	25.00 °C	72.00%	28.80 °C	25.00 °C	66.00%	27.00 °C
	17:00	24.00 °C	73.00%	27.70 °C	23.00 °C	70.00%	26.30 °C
18:00	23.00 °C	73.00%	23.20 °C	21.00 °C	73.00%	22.50 °C	
25/11/2019	08:00	25.00 °C	60.00%	40.80 °C	24.00 °C	59.00%	40.00 °C
	09:00	28.00 °C	59.00%	44.10 °C	28.00 °C	56.00%	41.50 °C
	10:00	30.00 °C	49.00%	58.70 °C	33.00 °C	44.00%	51.40 °C
	11:00	28.00 °C	54.00%	47.90 °C	30.00 °C	49.00%	42.90 °C
	12:00	28.00 °C	54.00%	48.50 °C	29.00 °C	50.00%	44.60 °C
	13:00	26.00 °C	61.00%	37.00 °C	27.00 °C	55.00%	35.40 °C
	14:00	25.00 °C	63.00%	33.10 °C	25.00 °C	57.00%	32.40 °C
	15:00	24.00 °C	68.00%	31.90 °C	24.00 °C	65.00%	29.20 °C
	16:00	23.00 °C	69.00%	27.50 °C	22.00 °C	66.00%	27.10 °C
	17:00	22.00 °C	74.00%	29.80 °C	20.00 °C	75.00%	29.30 °C
18:00	22.00 °C	74.00%	27.20 °C	19.00 °C	76.00%	26.50 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
26/11/2019	08:00	20.00 °C	90.00%	38.90 °C	19.00 °C	91.00%	38.00 °C
	09:00	21.00 °C	88.00%	49.40 °C	21.00 °C	86.00%	46.90 °C
	10:00	22.00 °C	86.00%	56.90 °C	25.00 °C	85.00%	50.40 °C
	11:00	25.00 °C	75.00%	58.10 °C	28.00 °C	74.00%	53.30 °C
	12:00	26.00 °C	70.00%	58.90 °C	30.00 °C	65.00%	59.10 °C
	13:00	27.00 °C	65.00%	41.50 °C	29.00 °C	61.00%	42.00 °C
	14:00	27.00 °C	68.00%	33.70 °C	28.00 °C	62.00%	33.80 °C
	15:00	27.00 °C	68.00%	31.40 °C	28.00 °C	62.00%	31.50 °C
	16:00	26.00 °C	56.00%	28.50 °C	27.00 °C	57.00%	28.40 °C
	17:00	26.00 °C	54.00%	27.90 °C	26.00 °C	54.00%	27.20 °C
18:00	26.00 °C	46.00%	26.40 °C	24.00 °C	47.00%	26.30 °C	
27/11/2019	08:00	23.00 °C	45.00%	46.90 °C	21.00 °C	46.00%	39.60 °C
	09:00	25.00 °C	39.00%	49.50 °C	23.00 °C	40.00%	47.60 °C
	10:00	25.00 °C	38.00%	54.10 °C	27.00 °C	37.00%	44.60 °C
	11:00	26.00 °C	44.00%	51.30 °C	26.00 °C	40.00%	47.60 °C
	12:00	27.00 °C	45.00%	61.60 °C	31.00 °C	41.00%	59.00 °C
	13:00	22.00 °C	57.00%	45.20 °C	25.00 °C	55.00%	43.30 °C
	14:00	22.00 °C	59.00%	34.50 °C	24.00 °C	56.00%	33.30 °C
	15:00	21.00 °C	60.00%	31.80 °C	21.00 °C	57.00%	30.90 °C
	16:00	21.00 °C	60.00%	31.10 °C	20.00 °C	58.00%	29.50 °C
	17:00	21.00 °C	68.00%	29.80 °C	19.00 °C	67.00%	28.80 °C
18:00	21.00 °C	69.00%	25.90 °C	19.00 °C	69.00%	25.20 °C	
28/11/2019	08:00	19.00 °C	60.00%	22.30 °C	17.00 °C	64.00%	20.10 °C
	09:00	20.00 °C	69.00%	31.40 °C	19.00 °C	66.00%	30.10 °C
	10:00	21.00 °C	78.00%	50.20 °C	22.00 °C	75.00%	43.90 °C
	11:00	26.00 °C	54.00%	56.70 °C	29.00 °C	50.00%	51.50 °C
	12:00	25.00 °C	65.00%	59.70 °C	26.00 °C	63.00%	57.70 °C
	13:00	28.00 °C	54.00%	40.00 °C	26.00 °C	54.00%	38.60 °C
	14:00	29.00 °C	55.00%	36.00 °C	29.00 °C	53.00%	34.30 °C
	15:00	29.00 °C	55.00%	32.60 °C	30.00 °C	54.00%	31.80 °C
	16:00	29.00 °C	49.00%	30.90 °C	31.00 °C	48.00%	30.30 °C
	17:00	29.00 °C	44.00%	29.80 °C	29.00 °C	45.00%	29.50 °C
18:00	27.00 °C	52.00%	27.30 °C	26.00 °C	52.00%	26.60 °C	
29/11/2019	08:00	19.00 °C	70.00%	33.50 °C	18.00 °C	73.00%	33.50 °C
	09:00	21.00 °C	81.00%	46.60 °C	21.00 °C	82.00%	47.40 °C
	10:00	23.00 °C	73.00%	49.00 °C	24.00 °C	72.00%	45.60 °C
	11:00	24.00 °C	68.00%	47.40 °C	26.00 °C	67.00%	44.60 °C
	12:00	26.00 °C	62.00%	44.90 °C	28.00 °C	60.00%	43.30 °C
	13:00	27.00 °C	58.00%	39.60 °C	28.00 °C	56.00%	37.80 °C
	14:00	26.00 °C	50.00%	34.50 °C	27.00 °C	49.00%	33.20 °C
	15:00	25.00 °C	58.00%	30.70 °C	26.00 °C	56.00%	29.80 °C
	16:00	24.00 °C	70.00%	27.90 °C	25.00 °C	68.00%	27.10 °C
	17:00	23.00 °C	75.00%	28.40 °C	23.00 °C	74.00%	28.00 °C
18:00	20.00 °C	89.00%	26.40 °C	19.00 °C	89.00%	25.80 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
30/11/2019	08:00	20.00 °C	83.00%	29.40 °C	18.00 °C	86.00%	28.00 °C
	09:00	21.00 °C	82.00%	35.90 °C	21.00 °C	85.00%	34.50 °C
	10:00	20.00 °C	83.00%	33.70 °C	21.00 °C	84.00%	31.30 °C
	11:00	25.00 °C	39.00%	50.80 °C	28.00 °C	38.00%	48.60 °C
	12:00	24.00 °C	39.00%	46.00 °C	27.00 °C	38.00%	43.60 °C
	13:00	26.00 °C	59.00%	38.30 °C	26.00 °C	56.00%	35.90 °C
	14:00	27.00 °C	74.00%	34.80 °C	27.00 °C	70.00%	32.10 °C
	15:00	26.00 °C	69.00%	30.00 °C	26.00 °C	71.00%	28.30 °C
	16:00	25.00 °C	69.00%	31.10 °C	26.00 °C	70.00%	29.80 °C
	17:00	24.00 °C	67.00%	28.20 °C	25.00 °C	69.00%	27.20 °C
18:00	24.00 °C	66.00%	27.00 °C	22.00 °C	67.00%	26.00 °C	
01/12/2019	08:00	20.00 °C	56.00%	23.30 °C	19.00 °C	57.00%	22.10 °C
	09:00	21.00 °C	64.00%	23.60 °C	21.00 °C	62.00%	22.50 °C
	10:00	21.00 °C	64.00%	23.90 °C	22.00 °C	60.00%	22.70 °C
	11:00	22.00 °C	69.00%	28.90 °C	22.00 °C	63.00%	22.70 °C
	12:00	22.00 °C	69.00%	28.20 °C	23.00 °C	65.00%	26.10 °C
	13:00	23.00 °C	62.00%	30.10 °C	24.00 °C	61.00%	27.90 °C
	14:00	22.00 °C	65.00%	28.70 °C	22.00 °C	60.00%	26.60 °C
	15:00	25.00 °C	65.00%	26.00 °C	25.00 °C	63.00%	24.60 °C
	16:00	21.00 °C	47.00%	25.40 °C	22.00 °C	45.00%	24.30 °C
	17:00	21.00 °C	47.00%	24.80 °C	21.00 °C	46.00%	23.80 °C
18:00	20.00 °C	40.00%	23.60 °C	20.00 °C	41.00%	22.80 °C	
02/12/2019	08:00	15.00 °C	100.00%	22.20 °C	15.00 °C	100.00%	20.80 °C
	09:00	16.00 °C	100.00%	27.80 °C	16.00 °C	100.00%	25.40 °C
	10:00	17.00 °C	95.00%	28.10 °C	19.00 °C	99.00%	26.00 °C
	11:00	20.00 °C	75.00%	27.00 °C	22.00 °C	80.00%	25.30 °C
	12:00	21.00 °C	68.00%	43.70 °C	23.00 °C	66.00%	40.70 °C
	13:00	25.00 °C	78.00%	39.60 °C	28.00 °C	74.00%	37.00 °C
	14:00	24.00 °C	57.00%	32.70 °C	25.00 °C	55.00%	30.90 °C
	15:00	26.00 °C	65.00%	33.20 °C	28.00 °C	62.00%	31.70 °C
	16:00	21.00 °C	49.00%	29.90 °C	23.00 °C	50.00%	29.00 °C
	17:00	23.00 °C	60.00%	26.20 °C	22.00 °C	61.00%	25.70 °C
18:00	21.00 °C	76.00%	24.00 °C	21.00 °C	77.00%	22.90 °C	
03/12/2019	08:00	17.00 °C	50.00%	21.30 °C	16.00 °C	53.00%	20.10 °C
	09:00	17.00 °C	100.00%	32.50 °C	17.00 °C	97.00%	29.90 °C
	10:00	17.00 °C	100.00%	44.10 °C	17.00 °C	95.00%	39.00 °C
	11:00	17.00 °C	100.00%	47.60 °C	18.00 °C	94.00%	41.00 °C
	12:00	18.00 °C	93.00%	58.70 °C	21.00 °C	90.00%	51.80 °C
	13:00	19.00 °C	93.00%	42.50 °C	19.00 °C	90.00%	39.30 °C
	14:00	19.00 °C	88.00%	33.60 °C	18.00 °C	87.00%	31.50 °C
	15:00	22.00 °C	83.00%	33.40 °C	20.00 °C	83.00%	31.20 °C
	16:00	18.00 °C	100.00%	30.40 °C	19.00 °C	99.00%	28.80 °C
	17:00	27.00 °C	50.00%	27.80 °C	25.00 °C	52.00%	26.20 °C
18:00	20.00 °C	78.00%	25.30 °C	19.00 °C	80.00%	24.10 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
04/12/2019	08:00	18.00 °C	59.00%	16.50 °C	17.00 °C	60.00%	15.80 °C
	09:00	18.00 °C	54.00%	17.10 °C	18.00 °C	54.00%	16.00 °C
	10:00	18.00 °C	54.00%	17.30 °C	19.00 °C	53.00%	16.40 °C
	11:00	19.00 °C	61.00%	26.90 °C	20.00 °C	58.00%	24.80 °C
	12:00	23.00 °C	75.00%	37.40 °C	24.00 °C	70.00%	33.90 °C
	13:00	23.00 °C	78.00%	42.20 °C	24.00 °C	71.00%	40.50 °C
	14:00	21.00 °C	55.00%	35.50 °C	21.00 °C	53.00%	33.70 °C
	15:00	21.00 °C	44.00%	32.70 °C	21.00 °C	42.00%	30.80 °C
	16:00	21.00 °C	41.00%	30.20 °C	20.00 °C	41.00%	28.80 °C
	17:00	20.00 °C	49.00%	26.90 °C	19.00 °C	49.00%	26.00 °C
18:00	20.00 °C	48.00%	24.90 °C	18.00 °C	49.00%	24.30 °C	
05/12/2019	08:00	16.00 °C	66.00%	23.00 °C	15.00 °C	70.00%	21.30 °C
	09:00	17.00 °C	95.00%	21.40 °C	16.00 °C	96.00%	20.00 °C
	10:00	16.00 °C	100.00%	25.40 °C	16.00 °C	100.00%	24.20 °C
	11:00	19.00 °C	82.00%	37.00 °C	20.00 °C	82.00%	33.00 °C
	12:00	20.00 °C	80.00%	37.80 °C	21.00 °C	79.00%	34.60 °C
	13:00	20.00 °C	90.00%	25.30 °C	21.00 °C	88.00%	23.60 °C
	14:00	20.00 °C	83.00%	27.50 °C	21.00 °C	80.00%	25.20 °C
	15:00	20.00 °C	83.00%	28.40 °C	20.00 °C	81.00%	27.50 °C
	16:00	19.00 °C	71.00%	26.00 °C	19.00 °C	70.00%	24.80 °C
	17:00	18.00 °C	74.00%	25.40 °C	18.00 °C	74.00%	24.50 °C
18:00	17.00 °C	80.00%	22.60 °C	16.00 °C	80.00%	21.90 °C	
06/12/2019	08:00	18.00 °C	46.00%	17.80 °C	18.00 °C	55.00%	16.90 °C
	09:00	19.00 °C	78.00%	20.90 °C	19.00 °C	81.00%	20.20 °C
	10:00	18.00 °C	100.00%	28.20 °C	19.00 °C	100.00%	26.60 °C
	11:00	19.00 °C	93.00%	46.10 °C	21.00 °C	88.00%	40.50 °C
	12:00	19.00 °C	93.00%	48.70 °C	21.00 °C	87.00%	46.10 °C
	13:00	19.00 °C	93.00%	41.50 °C	20.00 °C	86.00%	39.30 °C
	14:00	22.00 °C	64.00%	33.10 °C	23.00 °C	60.00%	32.10 °C
	15:00	23.00 °C	73.00%	32.10 °C	23.00 °C	71.00%	30.60 °C
	16:00	22.00 °C	78.00%	29.90 °C	22.00 °C	75.00%	28.20 °C
	17:00	24.00 °C	53.00%	27.90 °C	25.00 °C	52.00%	26.80 °C
18:00	19.00 °C	80.00%	25.50 °C	19.00 °C	80.00%	24.90 °C	
07/12/2019	08:00	19.00 °C	91.00%	33.10 °C	18.00 °C	94.00%	29.50 °C
	09:00	21.00 °C	74.00%	44.90 °C	21.00 °C	77.00%	43.40 °C
	10:00	23.00 °C	66.00%	55.20 °C	26.00 °C	65.00%	50.30 °C
	11:00	25.00 °C	60.00%	59.60 °C	30.00 °C	52.00%	54.20 °C
	12:00	26.00 °C	46.00%	60.20 °C	30.00 °C	41.00%	55.40 °C
	13:00	23.00 °C	73.00%	42.80 °C	24.00 °C	69.00%	44.90 °C
	14:00	28.00 °C	55.00%	36.30 °C	29.00 °C	54.00%	34.50 °C
	15:00	26.00 °C	65.00%	32.60 °C	27.00 °C	60.00%	31.00 °C
	16:00	26.00 °C	63.00%	31.80 °C	26.00 °C	62.00%	30.10 °C
	17:00	28.00 °C	60.00%	29.40 °C	28.00 °C	61.00%	27.80 °C
18:00	23.00 °C	78.00%	25.50 °C	22.00 °C	78.00%	24.30 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
08/12/2019	08:00	17.00 °C	54.00%	23.00 °C	16.00 °C	60.00%	21.50 °C
	09:00	18.00 °C	54.00%	29.30 °C	18.00 °C	55.00%	26.60 °C
	10:00	20.00 °C	59.00%	36.60 °C	20.00 °C	55.00%	33.60 °C
	11:00	21.00 °C	70.00%	32.30 °C	22.00 °C	70.00%	29.50 °C
	12:00	23.00 °C	60.00%	28.50 °C	24.00 °C	58.00%	26.20 °C
	13:00	21.00 °C	75.00%	25.30 °C	23.00 °C	70.00%	23.80 °C
	14:00	23.00 °C	78.00%	24.70 °C	23.00 °C	72.00%	22.80 °C
	15:00	19.00 °C	100.00%	24.70 °C	21.00 °C	96.00%	23.80 °C
	16:00	19.00 °C	59.00%	23.50 °C	21.00 °C	58.00%	22.40 °C
	17:00	28.00 °C	40.00%	23.70 °C	27.00 °C	41.00%	22.90 °C
18:00	24.00 °C	78.00%	21.70 °C	24.00 °C	78.00%	21.40 °C	
09/12/2019	08:00	14.00 °C	86.00%	24.70 °C	12.00 °C	92.00%	22.60 °C
	09:00	18.00 °C	93.00%	40.00 °C	16.00 °C	93.00%	37.00 °C
	10:00	18.00 °C	92.00%	50.80 °C	20.00 °C	91.00%	46.60 °C
	11:00	24.00 °C	60.00%	39.90 °C	24.00 °C	60.00%	35.70 °C
	12:00	24.00 °C	67.00%	49.40 °C	26.00 °C	65.00%	46.10 °C
	13:00	24.00 °C	63.00%	40.70 °C	25.00 °C	61.00%	38.30 °C
	14:00	29.00 °C	49.00%	36.10 °C	27.00 °C	50.00%	34.20 °C
	15:00	25.00 °C	69.00%	34.40 °C	26.00 °C	68.00%	32.20 °C
	16:00	27.00 °C	65.00%	31.30 °C	27.00 °C	65.00%	29.80 °C
	17:00	23.00 °C	68.00%	27.50 °C	22.00 °C	67.00%	26.50 °C
18:00	22.00 °C	68.00%	25.70 °C	22.00 °C	68.00%	24.90 °C	
10/12/2019	08:00	17.00 °C	88.00%	16.60 °C	16.00 °C	91.00%	15.40 °C
	09:00	19.00 °C	85.00%	17.10 °C	18.00 °C	90.00%	15.60 °C
	10:00	20.00 °C	77.00%	19.90 °C	20.00 °C	80.00%	16.80 °C
	11:00	20.00 °C	75.00%	23.40 °C	21.00 °C	75.00%	20.10 °C
	12:00	20.00 °C	75.00%	26.10 °C	21.00 °C	74.00%	23.70 °C
	13:00	23.00 °C	55.00%	32.00 °C	25.00 °C	55.00%	29.60 °C
	14:00	23.00 °C	50.00%	29.90 °C	24.00 °C	48.00%	28.10 °C
	15:00	24.00 °C	69.00%	29.40 °C	24.00 °C	68.00%	27.10 °C
	16:00	24.00 °C	73.00%	28.70 °C	24.00 °C	72.00%	27.00 °C
	17:00	23.00 °C	80.00%	26.10 °C	23.00 °C	78.00%	24.90 °C
18:00	23.00 °C	83.00%	23.30 °C	22.00 °C	83.00%	22.40 °C	
11/12/2019	08:00	15.00 °C	100.00%	21.10 °C	15.00 °C	100.00%	20.40 °C
	09:00	16.00 °C	97.00%	40.40 °C	16.00 °C	96.00%	38.30 °C
	10:00	17.00 °C	96.00%	50.30 °C	20.00 °C	95.00%	44.80 °C
	11:00	23.00 °C	73.00%	59.50 °C	27.00 °C	72.00%	52.50 °C
	12:00	23.00 °C	73.00%	58.20 °C	26.00 °C	71.00%	53.50 °C
	13:00	24.00 °C	69.00%	38.30 °C	26.00 °C	70.00%	35.10 °C
	14:00	28.00 °C	49.00%	31.80 °C	31.00 °C	48.00%	29.20 °C
	15:00	24.00 °C	76.00%	33.10 °C	27.00 °C	75.00%	30.20 °C
	16:00	25.00 °C	75.00%	26.70 °C	27.00 °C	73.00%	21.80 °C
	17:00	23.00 °C	80.00%	27.70 °C	25.00 °C	81.00%	25.00 °C
18:00	22.00 °C	83.00%	23.10 °C	22.00 °C	84.00%	21.60 °C	



MEDICION DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN PROTOTIPO ASFALTADO

Fecha	Hora	Prototipo 1			Prototipo 2		
		T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 1	T. Atmosf	Humedad	T. Asfalto 2
12/12/2019	08:00	16.00 °C	54.00%	20.80 °C	16.00 °C	54.00%	19.60 °C
	09:00	18.00 °C	100.00%	19.80 °C	18.00 °C	99.00%	18.90 °C
	10:00	19.00 °C	94.00%	20.30 °C	20.00 °C	95.00%	19.70 °C
	11:00	19.00 °C	96.00%	18.90 °C	21.00 °C	96.00%	18.60 °C
	12:00	21.00 °C	93.00%	20.00 °C	22.00 °C	93.00%	19.40 °C
	13:00	21.00 °C	87.00%	22.00 °C	23.00 °C	86.00%	21.30 °C
	14:00	20.00 °C	87.00%	28.70 °C	22.00 °C	87.00%	26.00 °C
	15:00	20.00 °C	89.00%	26.30 °C	22.00 °C	88.00%	24.00 °C
	16:00	19.00 °C	100.00%	25.30 °C	21.00 °C	100.00%	23.00 °C
	17:00	21.00 °C	70.00%	24.80 °C	21.00 °C	71.00%	23.40 °C
	18:00	22.00 °C	83.00%	22.10 °C	21.00 °C	84.00%	21.30 °C
13/12/2019	08:00	16.00 °C	88.00%	19.30 °C	15.00 °C	89.00%	18.60 °C
	09:00	16.00 °C	88.00%	19.50 °C	16.00 °C	90.00%	19.00 °C
	10:00	17.00 °C	95.00%	23.20 °C	17.00 °C	94.00%	20.70 °C
	11:00	17.00 °C	95.00%	24.90 °C	18.00 °C	95.00%	23.40 °C
	12:00	17.00 °C	89.00%	26.30 °C	19.00 °C	88.00%	24.20 °C
	13:00	17.00 °C	93.00%	25.60 °C	18.00 °C	90.00%	23.80 °C
	14:00	20.00 °C	69.00%	25.50 °C	21.00 °C	68.00%	23.70 °C
	15:00	20.00 °C	76.00%	26.00 °C	22.00 °C	75.00%	24.20 °C
	16:00	20.00 °C	84.00%	24.80 °C	21.00 °C	82.00%	23.10 °C
	17:00	23.00 °C	63.00%	25.80 °C	22.00 °C	62.00%	24.00 °C
18:00	21.00 °C	85.00%	22.80 °C	21.00 °C	84.00%	21.70 °C	
14/12/2019	08:00	18.00 °C	51.00%	22.90 °C	16.00 °C	52.00%	20.80 °C
	09:00	20.00 °C	49.00%	25.00 °C	19.00 °C	50.00%	23.00 °C
	10:00	21.00 °C	40.00%	26.00 °C	21.00 °C	41.00%	23.20 °C
	11:00	21.00 °C	41.00%	23.00 °C	20.00 °C	41.00%	20.20 °C
	12:00	21.00 °C	45.00%	22.90 °C	21.00 °C	44.00%	20.20 °C
	13:00	22.00 °C	46.00%	27.20 °C	22.00 °C	46.00%	23.80 °C
	14:00	22.00 °C	45.00%	28.60 °C	22.00 °C	45.00%	25.20 °C
	15:00	20.00 °C	53.00%	25.40 °C	21.00 °C	52.00%	23.70 °C
	16:00	20.00 °C	55.00%	23.90 °C	21.00 °C	56.00%	21.30 °C
	17:00	20.00 °C	56.00%	24.10 °C	20.00 °C	56.00%	22.40 °C
18:00	19.00 °C	60.00%	22.70 °C	18.00 °C	61.00%	21.40 °C	

ANEXO 9
PANEL FOTOGRÁFICO



Vista general de la cantera Rio Huallaga - zona cero.



Lavado y selección de piedras.



Excavación y acondicionamiento del suelo como subrasante para ambos prototipos.



Compactación de base con apisonador artesanal y medición de área para prototipos



Nivelación de capas tras ser compactado.



Colocación de piedras de canto rodado, cuyo tamaño oscila de 1" a 1¹/₂".



Calentado de la arena por 5 minutos y posterior vaciado del asfalto para su mezclado respectivo.



Homogenizando la mezcla asfáltica.



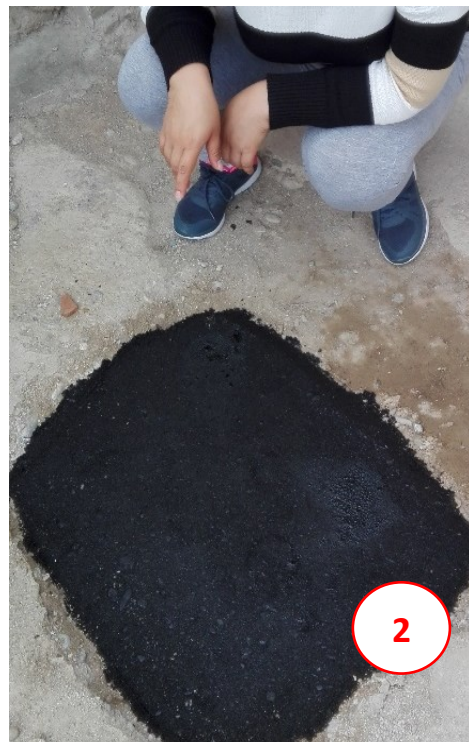
Vaciado de la mezcla asfáltica en el prototipo.



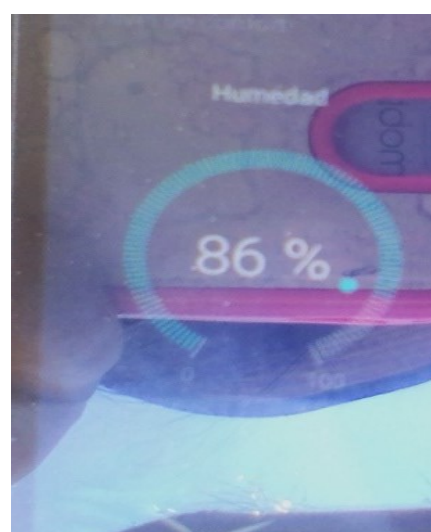
Esparcido de la mezcla con badilejo y compactación de la carpeta asfáltica.



Llenado de carpeta asfáltica hasta espesor de 5 cm.



Prototipos de vía asfaltada. La primera con capa de piedras de canto rodado.



Mediciones térmicas de la carpeta asfáltica y atmósfera en los prototipos. Asimismo, la humedad.



Medición térmica en la carretera central, Tramo Es-Salud y Electrocentro.



Mediciones térmicas y de humedad en el Tramo Unheval.