



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Deformación de la Carpeta Asfáltica y el Deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

JOSÉ RIKETS ESTACIO SANTAMARIA (ORCID: 0000-0001-5438-0000)

ASESOR:

DR. VARGAS CHACALTANA, LUIS ALBERTO (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VIAL

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios: Por ser la luz de mi vida y por guiarme en cada paso que doy.

A mis padres: Mauro y Antonia, quienes siempre me inculcaron para ser una persona de bien, me mantuvieron motivado para poder culminar mis objetivos.

A mi hermana: Yesenia, por estar siempre en las buenas y malas, fortalecerme y guiarme con sus consejos.

AGRADECIMIENTO

Al Mg. Vargas Chacaltana Luis Alberto, ya que sin su paciencia y guía hubiera terminado esta tesis.

El autor expresa su profundo agradecimiento a las personas que contribuyeron con sus valiosas sugerencias, críticas constructivas, apoyo emocional, moral e intelectual para desarrollar la presente tesis.

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN.....	13
Agregados o materiales pétreos:	25
II. MÉTODO.....	62
2.1. Diseño, tipo, nivel y enfoque de investigación	63
2.2. Variables y Operacionalización	64
2.3. Población y Muestra.....	66
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.....	67
2.5. Método de Análisis de Datos	68
2.6. Aspectos Éticos.....	68
III. RESULTADOS	70
3.1. Resultados de los Ensayo de Laboratorio del Asfalto convencional de la Av. Buenos Aires del distrito de Puente Piedra	80
3.2. Ensayos Marshall al Asfalto convencional de la Av. Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra + los Gramos de Caucho Reciclado (GCR)	92
IV. DISCUSIÓN.....	100
V. CONCLUSIONES	102
VI. RECOMENDACIONES	104
VII. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	106
VIII. BIBLIOGRAFÍAS	110
IX. ANEXO	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Características del cemento asfáltico clasificado por penetración	23
Tabla N° 2: Valores recomendados con uso de gramo de caucho reciclado	27
Tabla N° 3: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.	32
Tabla N° 4: Operacionalización de la variable independiente: Deformación de la carpeta Asfáltica.....	65
Tabla N° 5:Operacionalización de la variable dependiente: Deterioro del Pavimento	66
Tabla N° 6: Rango de Granulometría.....	75
Tabla N° 7: Análisis Granulométrico	80
Tabla N° 8: Curva Granulométrico.....	81
Tabla N° 9: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 4.5% C.A.....	82
Tabla N° 10: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.0% C.A.....	83
Tabla N° 11: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.5% C.A.....	84
Tabla N° 12: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 6.0% C.A.....	85
Tabla N° 13: Peso Unitario	86
Tabla N° 14: Vacíos	86
Tabla N° 15: V.M.A.....	87
Tabla N° 16: Vacíos Llenos C.A.....	87
Tabla N° 17: Polvo / Asfalto.....	88
Tabla N° 18: Flujo.....	88
Tabla N° 19: Estabilidad.....	89
Tabla N° 20: Índice de Compactibilidad	90
Tabla N° 21: Ensayo Resistencia Conservada (AASHTO T283)	91
Tabla N° 22: Ensayo Gravedad Específica Teórica Máxima (ASTM D2041).....	91
Tabla N° 23: Resumen de Diseño de Mezcla Por el Método Marshall	92
Tabla N° 24: Análisis de Gramo de Caucho Reciclado (GCR) (ASTM C33)	93
Tabla N° 25: Características Físicas de GCR.....	94
Tabla N° 26: Análisis Granulométrico de GCR.....	94
Tabla N° 27: Porcentaje Optimo De Asfalto + 1.5% de Caucho	95

Tabla N° 28: Porcentaje Óptimo De Asfalto + 2.5% de Caucho	96
Tabla N° 29: Porcentaje Óptimo De Asfalto + 3.5% de Caucho	97
Tabla N° 30: Comparativo Variando el % de GCR (Grafico de Barras).....	98
Tabla N° 31: Comparativo Variando el % de GCR (Grafico de Barras).....	98
Tabla N° 32: Resumen de Los Ensayos Marshall de Asfalto Modificado con GCR.....	99
Tabla N° 33: Matriz de Consistencia.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Filtración del agua de lluvia.	20
Figura N° 2: Morfología de los Ligantes Modificados con sbs.....	21
Figura N° 3: Tipo de Fisuras en el pavimento asfaltico.....	52
Figura N° 4: Deformación Permanente.	53
Figura N° 5: Tipos de Ahuellamiento.	53
Figura N° 6: Cambio de Comportamiento del Asfalto en Función a la Temperatura.	54
Figura N° 7: Mezcla Tipo Micro Aglomerado.	57
Figura N° 8: Granulometría Mezcla Densa Fina.	58
Figura N° 9: Granulometría Mezcla Densa Gruesa.	58
Figura N° 10: Desprendimiento del Ligante del Agregado por Efecto de la Humedad.	59
Figura N° 11: Situación actual del Pavimento.	71
Figura N° 12: Ubicación del Proyecto.	73

RESUMEN

La presente Tesis se hizo el 2019, en la Av. Buenos Aires – Distrito de Puente Piedra – Lima, **las teorías** son la deformación de la carpeta asfáltica, estabilidad, diseño del asfalto, pesos específicos, volumen máximo permisible. estudio tiene como **objetivo** principal, Identificar la deformación de la carpeta asfáltica con respecto a la incorporación del caucho triturado de residuos de neumáticos conocidos comercialmente como GCR, como agregados en mezclas asfálticas. Consistió en un desarrollo de actividades experimentales donde inicialmente partiremos del diseño del pavimento de la Av. Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra, para posteriormente elaborar una serie de muestras conocidas como briquetas, preparadas en caliente a temperaturas entre 140 ° y 170 ° C; Después de ser procesados, están listos para ser probados por la máquina Marshall que proporcionó datos de estabilidad y flujo, el objetivo específico de la investigación.

De esta investigación se pudo concluir que el GCR puede funcionar como un agregado de conglomerados bituminosos, pero con porcentajes iguales o menores a 1,5% total de la mezcla, teniendo en cuenta que a medida que se incorpora el GCR, los valores de estabilidad Disminuir y aumentar su flujo.

Palabras clave: Deformación asfáltica, Deterioro del Pavimento.

ABSTRACT

The present Thesis was done in 2019, in Buenos Aires Avenue - District of Puente Piedra - Lima, the theories are the deformation of the asphalt layer, stability, asphalt design, specific weights, maximum allowable volume. The main objective of the study is to identify the deformation of the asphalt layer with respect to the incorporation of shredded rubber from tire waste known commercially as GCR, as aggregates in asphalt mixtures. It consisted of a development of experimental activities where initially we will start from the design of the pavement of Buenos Aires Avenue in the District of Puente Piedra, to later elaborate a series of samples known as briquettes, prepared hot at temperatures between 140 ° and 170 ° C; After being processed, they are ready to be tested by the Marshall machine which provided stability and flow data, the specific objective of the research.

From this research it could be concluded that the GCR can function as an aggregate of bituminous conglomerates, but with percentages equal to or less than 1.5% total of the mixture, taking into account that as the GCR is incorporated, the stability values decrease and increase its flow.

Keywords: Asphalt deformation, Pavement deterioration.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de las deformaciones permanentes en la sub rasante a través de las propiedades reológicas de los asfaltos es reciente y no existen metodología que se valga de ellas a la hora de diseñar las mezclas y predecir su desempeño. Por su parte la utilización del ensayo de rueda cargada no es generalizada a la hora de diseñar una mezcla asfáltica al igual que no se consideran las condiciones de carga y temperaturas a las que se verá expuesta la mezcla en el pavimento. Nada fuera de la realidad es que sus principales vías presentan muchos desperfectos, las cuales necesitan una atención inmediata para resolverlos.

Pero no solo avenida que tomamos en cuenta, si no también calles y vías de acceso a cada punto del Distrito de Puente Piedra, las cuales se encuentran desde hace muchos años en mal estado, el deterioro de estas vías resulta catastrófico. Esta situación perjudica tanto a los vehículos de transporte público y taxis como a autos particulares y peatones. El mal estado de la pista genera que las unidades se deterioren, generando mayores costos en el mantenimiento general de las unidades y en algunas circunstancias, hasta ocasiona accidentes.

El estudio presenta el concepto de la deformación y la incorporación de caucho en el pavimento en las; Por otra parte, partiendo del fácil acceso a fuente de información sobre mezclas asfálticas modificadas mediante el uso del triturado de llantas como los mencionados anteriormente y reconociendo que es una posibilidad para la mitigación en el uso incontrolado de recursos naturales, aprovechamiento de sus desechos en el desarrollo sostenible del planeta, disminución de desechos contaminantes y la posible disminución en los costos de producción de una mezcla asfáltica, se cree que es de vital importancia hacer el desarrollo de esta investigación. profundizando además sobre el conocimiento del cemento asfáltico y básicamente sobre su comportamiento reológico que nos permita utilizarlo mejor como parte constituyente de las mezclas asfálticas.

Asimismo, se considera la necesidad de la elección y buen manejo de los agregados en cuanto a su gradación, forma, resistencia, ya que influyen en forma determinante para la deformación de la carpeta asfáltica.

Antecedentes Nacionales: Según Granados Noa (2017) “Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica En caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional”, tesis para optar el título de ingeniería civil, de la Universidad Privada Antenor Orrego. La finalidad de esta investigación es ayudar a mejorar el desempeño de la mezcla asfáltica mediante la incorporación de granos de caucho a través del proceso de secado, lo que beneficia la calidad de la banda de rodadura. El objetivo fue investigar cómo la incorporación de gránulos de caucho afecta el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada en el proceso seco en comparación con la mezcla asfáltica convencional. La incorporación de granos de caucho influye en la mejora significativa en el comportamiento mecánico de la mezcla modificada como resultado del proceso seco en comparación con la mezcla asfáltica convencional. La evaluación de los ensayos realizados muestra las siguientes ventajas para el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada: menor pérdida de resistencia por acción del agua (inmersión, presión y fuerza de tracción indirecta), mayor resistencia a la deformación con valores de deformación permisibles (Marshall), mayor cohesión y resistencia al esfuerzo cortante (Compresión Diametral), mayor resistencia al ahuellamiento y menor daño por humedad (Rueda de Hamburgo), mejora el comportamiento elástico (Módulo Resiliente), así como presenta similar comportamiento en la resistencia a la disgregación de la mezcla (Cántabro). Los cuales se traduce en mayor durabilidad ante agentes agresores e incrementa de la vida útil del pavimento. (pág. 6, 14, 176)

Según Alvarez Briceño y Carrera Sánchez (2017) “Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica”, El presente proyecto nacional, la durabilidad o vida útil de los pavimentos se debió al alto porcentaje de deterioro que las carreteras tienen. La mezcla asfáltica es un elemento de gran importancia ya que corresponde a la capa más estresada el objetivo de determinar la influencia de la incorporación de residuos de llantas trituradas en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas utilizando la metodología Marshall para determinar su uso en diseño y construcción para determinar pavimentos flexibles. Se

concluye que la compactación de cada briqueta debe realizarse de la mejor manera posible, teniendo en cuenta que el GCR es un material mucho más flexible que los demás agregados y le da a la briqueta un mayor volumen, permitiendo una permeabilidad más temprana al momento de la inmersión en el baño de agua para ser probado posteriormente en la máquina Marshall. (pág. 24, 25, 132).

Según Lapa Ramos (2018) “Estabilización de base granulares con fibra de caucho reciclado tallado”, tesis para optar el título de ingeniería civil, de la Universidad Privada Continental. El presente estudio propone la alternativa de utilizar caucho reciclado para mejorar el diseño de la mezcla de pavimento sobre la base granular del material de la fábrica de Chupuro, con el objetivo principal de estabilizar la base del material en estudio para evitar el deterioro del pavimento. Cargas de tráfico y el mantenimiento permanente y continuo de los pavimentos, por lo que se analizó la influencia del material en el valor CBR con el fin de determinar la influencia de la incorporación de los residuos de llantas trituradas, las propiedades físicas de las mezclas asfálticas según la Método Marshall, y su uso en el diseño y establecimiento de carreteras flexibles. Se concluyó que la fibra de caucho tallada influye en las propiedades mecánicas del granulado base tanto en la máxima densidad seca (MDS), óptimo contenido de humedad (OCH) y CBR; se observó que estos valores aumentaron en 1.36%, 9.46% y 39.89% respectivamente a MDS, OCH y CBR con respecto al material granular sin adición alguna, esto se logró cuando se adiciono 1.5% de caucho reciclado tallado. (pág. 3, 5, 206)

Antecedentes Internacionales: Según, Díaz Claros y Castro Celis (2017), en la monografía de grado “Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá” de la Universidad Santo Tomas - Facultad de Ingeniería Civil para la obtención del título profesional. Define en los objetivos que, “Seleccionar información existente acerca de los factores que afectan el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas con GCR. Concluye, “El GCR presente en las mezclas

asfálticas, mejora los problemas de ahuellamiento, disminuyendo los contenidos de vacíos de aire en las mezclas asfálticas acompañados de un proceso más intensificado de compactación la mezcla. Inicialmente, en los estudios encontrados, se refleja que el problema del ahuellamiento, entre otros factores, se ve favorecido por la falta de compactación, por lo cual la solución esperada es aumentar los ciclos, sin embargo, se demostró que al adicionar GCR estos ciclos pueden disminuir, ya que las partículas de caucho 10 reciclado mejoran esta característica, con respecto de una mezcla asfáltica convencional” (pág. 11, 14, 57)

Según Muñoz López y Orquera Guerrero (2018) “Mejoramiento de una mezcla asfáltica con la adición del residuo de caucho obtenido tras su remoción de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional mariscal sucre, por vía seca”, disertación previa a la obtención del título de ingeniera civil, en la Universidad de Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por ello la presente tesis tiene como objetivo investigar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales mediante la adición de residuos de caucho seco al retirar las pistas de Mariscal. aterrizando en el Aeropuerto Internacional de Sucre. El objetivo es mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales que podrían utilizarse en el mantenimiento de carreteras y la reutilización de este material una vez retirado del pavimento. El objetivo de la investigación es determinar y analizar la mejora de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencionales mediante la adición de residuos de caucho que surgen durante la limpieza en seco de la pista del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. Se concluyó que la durabilidad de un pavimento está relacionada con el contenido de aire, por lo que la mezcla original podría presentar un desgaste prematuro al ser una mezcla abierta que permite que el aire y el agua penetren en la capa superficial. Este problema se redujo significativamente después de que los desechos de caucho se agregaron a la mezcla de asfalto y también la mezcla de asfalto para cargas de alto tráfico requirió un VFA bajo, por lo que la mezcla modificada podría funcionar bien si optaba por usarla para actividades dentro del aeropuerto. (pág. 1, 59).

Según, Laica Moposita (2016), en la tesis de pregrado “Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base” de la Universidad Técnica de Ambato- Ecuador – Facultad de Ingeniería Civil para la obtención del título profesional. Concluye que “Al analizar los resultados obtenidos de la muestra de una Sub-base sin adición de caucho y compararlos con las muestras con adición de caucho en 77 diferentes porcentajes, se puede ver claramente la disminución de la resistencia del material y se comprobó que mientras se añada más porcentaje de caucho a el material en estudio el CBR va disminuyendo considerablemente” (pág. 3, 4, 76)

¿Definición de Pavimento?: El pavimento es una estructura, generalmente compuesta por una sub-base, una hilera base y una hilera de rodadura, que se construye sobre una subbase debidamente compactada para soportar las cargas de tráfico según la construcción, pero al mismo tiempo para soportar las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos y la compresión de los elementos que se apoyan en él.

Tipos de pavimentos

Pavimento Flexible: El pavimento flexible es una estructura que soporta las cargas del tránsito y las distribuye uniformemente a la sub-rasante; Las características de cada una de las capas del pavimento flexible son las siguientes:

La sub-base son materiales seleccionados que forman una capa, entre la base y la subrasante, que tienen como funciones transmitir en forma correcta a la subrasante los esfuerzos que el alto tránsito le impone por medio de la base, la función primordial es crear una transición entre materiales fino de la subrasante y los materiales gruesos del subsuelo para evitar la contaminación y penetración mutua de los mismos; también reduce los efectos adversos causados por cambios volumétricos en la subrasante, a veces contribuye y ayuda al drenaje a reducir los costo del pavimento.

La base son materiales pétreos seleccionados que forma una capa, que generalmente se realiza sobre la su-base y posiblemente sobre la subrasante. Esta capa está limitada en su parte superior por una capa de asfalto y su función principal es soportar adecuadamente las cargas que los vehículos transmiten a través de dicha capa y distribuir las fuerzas recibidas en cantidades adecuadas a las capas inferiores, a fin de evitar que producir deformaciones nocivas. La capa de asfalto constituye la capa superior y generalmente está compuesta por una mezcla de un producto bituminoso y materiales pétreos seleccionados. Su función es proporcionar a los vehículos que lo transiten una superficie estable, impermeable, uniforme y con una textura correcta. (SABOGAL, 1984).

Pavimentos concreto rígido: El pavimento rígido se consiste en losas de concreto hidráulico las cuales en ocasiones tiene un refuerzo de acero, tiene un costo inicial mayor elevado que el flexible, su duración de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento requerido es mínimo y (comúnmente) se realiza solo en las juntas de la losa. Las losas de pavimento rígido son el elemento estructural más importante de un pavimento rígido y su función principal es proporcionar al tráfico una superficie estable, impermeable y uniforme que también soporta las cargas del vehículo y absorbe la mayor parte de las tensiones y las transmite en la base y sub-base. en tamaños según su resistencia.

Definición del asfalto: Asfalto. Es un material bituminoso, que en la naturaleza se puede encontrar puro o mezclado con otros elementos, y en estado sólido, semisólido o líquido. Esto se puede lograr en depósitos naturales o mediante la destilación del petróleo.

Las características de esta sustancia varían según la fuente de donde se extraiga, ya que la base bituminosa no es la misma, ni se encuentra en las mismas proporciones en cada pozo. Esta última condición obliga a clasificar el asfalto en función del contenido de betún en asfalto pesado (nafténico) o ligero (parafínico). El petróleo crudo se somete a un proceso de destilación en el que las fracciones ligeras, como la nafta y el queroseno, se separan de la base asfáltica mediante vaporización,

fraccionamiento y condensación. El asfalto de petróleo tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado a una condición uniforme, libre de materia orgánica y minerales extraños. El asfalto es un aglutinante fuertemente adhesivo, resistente a cargas dinámicas y flujos bajo estrés térmico o permanente. Mezclado con áridos, forma la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras. Cuando se utiliza asfalto en carreteras, una de sus funciones es evitar que el agua de lluvia penetre en las capas subyacentes del pavimento, haciéndolo menos susceptible a la humedad; En otras palabras, funciona como un agente impermeabilizante.



Figura N° 1: Filtración del agua de lluvia.
Fuente: Internet 2013.

El asfalto utilizado para la pavimentación de carreteras tiene un comportamiento semisólido a temperatura ambiente y debe ser calentado hasta el punto de poder fluir, para ser mezclado con los áridos. Sin embargo, existen aglutinantes excesivamente blandos llamados "asfalto líquido" que se clasifican como asfalto de curado rápido, curado medio y curado lento. El asfalto no solo se usa para la construcción de carreteras, también se puede usar como impermeabilizante y curado de grietas. Estos tipos de asfaltos se denominan Asfaltos Oxidados y se obtienen sometiendo el asfalto natural a procesos de deshidrogenación a determinadas temperaturas.

Composición del asfalto. Al mirar el asfalto, es muy fácil asumir que su composición es muy simple, ya que a primera vista se percibe como un material homogéneo en cuanto a color, textura y apariencia general, pero aunque los componentes son pocos, sus proporciones pueden variar por su origen, produciendo cambios notables en sus características. El modelo que mejor describe la configuración del asfalto es el modelo micelar, que consta de dos fases: una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que envuelve y solubiliza los asfáltenos, denominados máltenos. Los máltenos y el asfalto existen como islas flotantes en el tercer componente del asfalto, los aceites (Figura. N° 2).

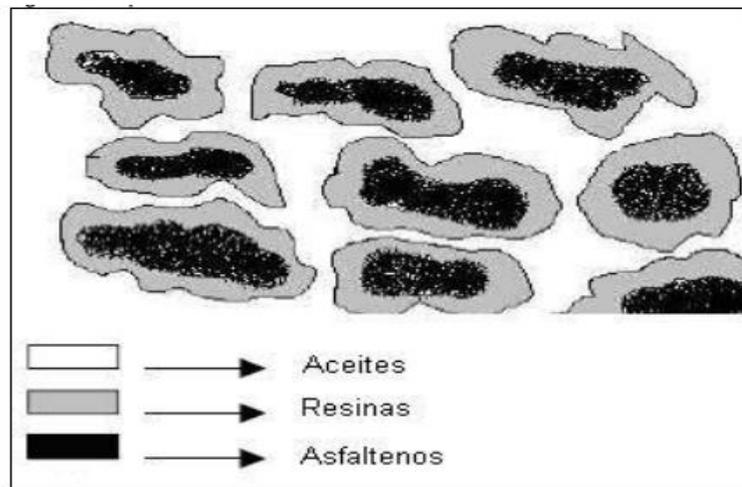


Figura N° 2: Morfología de los Ligantes Modificados con sbs.
Fuente: Reológica de los asfaltos 2014

Composición de las mezclas asfálticas

Ligante asfáltico: El asfalto es un material de pavimentación, de color negro, de consistencia semisólida a temperatura ambiente, líquido a temperatura de mezcla del asfalto (entre 100 ° C y 160 ° C) en el que el componente principal es el betún obtenido como residuo del crudo. refinación de petróleo. (ECOPETROL BARRANCABERMEJA, 2014) El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de soportar altas tensiones instantáneas y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Es una sustancia plástica que confiere una flexibilidad controlable a las mezclas de

áridos con los que habitualmente se combina. Como aplicación de estas propiedades, el asfalto puede realizar las siguientes funciones en la construcción del pavimento:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo insensible a la humedad y eficaz contra la penetración de agua de precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre los áridos, capaz de resistir la acción de rotura mecánica producida por las cargas del vehículo. También mejora la capacidad de carga de la estructura, lo que permite reducir su espesor.

El asfalto es un componente natural de la mayoría de los aceites, en los que se disuelve. El crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto. Procesos naturales similares han dado lugar a depósitos de asfalto natural, en algunos de los cuales el material está prácticamente libre de cuerpos extraños, mientras que en otros se mezcla con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias.

a) **Origen y Producción del asfalto:** En el 300 a. C. El asfalto se utilizó exactamente en Egipto en los embalses. En 1802 d.C., la piedra asfáltica se utilizó en Francia para pavimentar pisos, puentes y aceras. Luego, en 1876, Washington, D.C., construyó el primer pavimento de asfalto utilizando asfalto de mar importado. Hasta 1900, la mayor parte del asfalto utilizado procedía de fuentes naturales. Por la misma época, se descubrió que después del proceso de refinación de algunos crudos, quedaba en las torres de destilación un residuo negro y pegajoso, similar al del asfalto natural. Se descubrió que una sustancia era un excelente aglutinante y, dado que su precio era más bajo que el del asfalto natural, gradualmente comenzó a ser ampliamente utilizado. Hasta 1912, la cantidad de asfalto de petróleo utilizado correspondía a la de asfalto natural. Actualmente, alrededor del noventa y cinco por ciento (95%) de todo el asfalto proviene de la refinación de petróleo.

b) **Índice de calidad de los ligantes asfálticos:** Para identificar los indicadores de calidad del asfalto exigidos por el MTC 2007, es necesario anexar la Tabla N°1.

Tabla N° 1: Características del cemento asfáltico clasificado por penetración

○ *Cemento Asfáltico 60/70*

Tipo	AASHTO(M20)			ASTM (D946)			MTC			NTP (321.051)		
	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.	Método	Min.	Máx.
CARACTERÍSTICAS												
Penetración												
a 25° C, 100 gr, 5 seg, 0.1 mm	T-49	60	70	D-5	60	70	MTC-E304	60	70	321.033	60	70
Punto de inflamación												
(Copa abierta Cleveland, °C)	T-48	232	-	D-92	232	-	MTC-E312	232	-	16:05-013	232	-
Ductibilidad												
a 25° C, 5cm/min, cm	T-51	100	-	D-113	100	-	MTC-E306	100	-	16:05-009	100	-
Solubilidad												
en Tridorcebilen, % masa	T-44	99.0	-	D-2042	99.0	-	MTC-E302	99.0	-	16:05-012	99.0	-
Ensayos en el Residuo obtenido de película fina												
3.2 mm, 163° C, 5 hrs.	T-179			D-1754			MTC-E316			D-1754		
Penetración												
en residuo, % del original	T-49	54	-	D-5	52+	-	MTC-E304	52	-	321.033	52+	-
Ductibilidad												
a 25° C, 5 cm/min, cm	T-51	50	-	D-113	50	-	MTC-E306	50	-	16:05-009	50	-
Pérdida por calentamiento												
% masa	-	-	0.8				-	-	0.8			
Índice de susceptibilidad térmica												
							-	-1.0	+1.0			
Ensayo de la Mancha												
(opcional)	T-102	Negativo					MTC-E314	Negativo				

Fuentes: (Repsol) 2017.

Propiedades principales de los cementos asfálticos.

- A. **Durabilidad:** Muestra que tanto dura en un cemento asfáltico sus características cuando es comprometido a procesos normales de envejecimiento y degradación.
- B. **Adhesión y Cohesión:** Es la capacidad del cemento asfáltico de adherirse a los agregados en la mezcla de pavimentación. La cohesión es la capacidad del cemento asfáltico para sujetar los agregados firmemente en el pavimento terminado.
- C. **Índice de Penetración:** Proporciona un criterio para medir la susceptibilidad del cemento asfáltico a los cambios de temperatura. Se mide indirectamente y más

comúnmente como un resultado de cálculo especial que se realiza con los resultados de penetración y el punto de ablandamiento.

- D. **Penetración:** Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar la consistencia de materiales asfálticos sólidos o semisólidos donde el único o principal componente es el asfalto. La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro, hasta la cual una aguja estándar penetra verticalmente en el material bajo condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. La prueba se realiza normalmente a 25 ° C (77 ° F) durante 5 segundos y con una carga de movimiento total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden utilizar otras condiciones previamente definidas.
- E. **Viscosidad:** Este método describe el procedimiento para determinar la viscosidad del asfalto (bitumen), con viscosímetros capilares de vacío a 60° C (140° F). Se aplica a materiales con viscosidades en el rango de .0036 a 20000 Pa s (0.036 a 200000 Poises). El tiempo que se tarda en inducir al vacío un volumen fijo de líquido a través de un tubo capilar se mide en condiciones de vacío y temperatura estrictamente controladas. La viscosidad en Poises se calcula multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro.
- F. **Punto de Ablandamiento:** Como los cementos asfálticos no tienen un punto de fusión definido, por ser materiales termoplásticos, se ha definido un punto de ablandamiento convencional, determinando por la temperatura a la que alcanza un determinado estado a la fluidez a la cual el asfalto no puede soportar una carga de una bola de acero dentro de un anillo, por lo que la prueba también se denomina de anillo y bola.
- G. **Ductilidad de los materiales asfálticos:** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida. El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones

determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura. Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 50 ± 2.5 mm por minuto y la temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$); aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente.

Agregados o materiales pétreos: Este es un material mineral duro e inerte usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica. El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras del pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

Clasificación del agregado pétreo: Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción el agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75 mm (No.4 y No.200) y llenante mineral la que pase el tamiz de 75 mm (No.200). El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra

definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad.

Ensayos a los materiales pétreos: Para verificar con el cumplimiento de las normas internacionales y nacionales, a los agregados se les debe realizar una serie de ensayos de laboratorio, los cuales son:

Llenante mineral: Es un material fino que se adiciona preferiblemente a mezclas asfálticas en caliente. Este puede ser de orígenes diversos y de una naturaleza, tal que su afinidad al agua sea muy variable. Existen funciones principales de los llenantes que pueden favorecer a las propiedades finales de la mezcla. Dentro de estas ayudas se tiene:

- Proporcionar estabilidad frente a los agentes exteriores principalmente a la acción nociva del agua, debido a la reducción parcial de la porosidad lo cual impermeabiliza las mezclas impidiendo el paso del aire y del agua.
- Algunos mejoran la afinidad con el Ligante asfáltico, atenuando la acción de desplazamiento del agua sobre el betún.
- Otras llenantes pueden atenuar la reacción de oxidación inerte al envejecimiento del asfalto.

Una adición apropiada de la llenante adecuado, contribuye a aumentar la consistencia del asfalto, lo cual se traduce en un aumento de las propiedades cohesivas y de resistencia a las mezclas, modificando la naturaleza viscosa del ligante.

Triturado de restos de llantas (GCR): El grano de caucho reciclado (GCR) obtenido de llantas usadas puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

Los ligantes y mezclas con asfalto caucho se postulan como una excelente alternativa ambiental en la disposición de desechos de llantas, el efecto de la miga de goma en el

rendimiento de la mezcla era claramente beneficioso ya que las mezclas con los más altos porcentajes de goma de miga tenían la mayor resistencia a las deformaciones plásticas.

La miga de caucho se puede incorporar en mezclas bituminosas en una de dos maneras; mediante el proceso seco o el proceso húmedo: En el proceso seco, se añade el polvo de neumático para el mezclador de planta de asfalto como si se tratara de otro tipo de agregado, por lo tanto modificar directamente las propiedades de la mezcla. Por el contrario, en el proceso húmedo, se añade el polvo de neumático para el aglutinante de betún. De esta manera, en primer lugar, modifica las propiedades del betún, y cuando se añade este aglomerante modifica a la mezcla. La principal diferencia entre estas dos técnicas es que el método húmedo modifica más eficazmente las propiedades del aglutinante ya que las partículas de caucho miga interactúan directamente con él.



Figura N° 3: Gramo de caucho reciclado

Fuentes: (Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica) 2017.

Tabla N° 2: Valores recomendados con uso de gramo de caucho reciclado

Variables	Unidad	Mínimo	Máximo
Cantidad GCR	% sobre el peso del ligante	10	20
Tiempo de Reacción	min	55	75
Velocidad de agitación en Laboratorio	min	100	750
Temperatura de Mezclado	°C	155	170

Fuentes: IDU 2010.

Tipos de mezclas Asfálticas

Mezclas Asfálticas en Frío: El Ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión Mezclas. (BOTASSO, OSCAR REBOLLO, ADRIÁN CUATTROCCHIO, & CECILIA SOENGAS, Julio 2008).

Mezclas Asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en

contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados.

Diseño De Mezclas Asfálticas

Métodos de diseño más conocidos:

Método Marshall (1930's): El método de diseño de mezcla de asfalto, desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial y luego adaptado para su uso en las carreteras. Básicamente, utiliza la estabilidad y la tasa de nulidad como pruebas.

Salvo cambios en las especificaciones, el método no ha sido modificado desde la década de 1940. Método SUPERPAVE (1993): El método AAMAS sirve como punto de partida para el método SUPERPAVE: contiene el diseño de un nuevo mezclador volumétrico completo, con rendimientos basados en predicciones por modelización y pruebas de laboratorio, fisuración por fatiga y fisuración por baja temperatura. Los modelos de predicción de desempeño se completaron exitosamente hasta el año 2000. El diseño de mezcla volumétrica en SUPERPAVE se está implementando actualmente en varios estados de Estados Unidos, debido a la interconectividad entre las propiedades volumétricas de la mezcla, asfalto caliente y su correcto funcionamiento. Tiene sus resultados, ahora se ha cambiado la aceptación en control de calidad a caracterización volumétrica. SUPERPAVE promete un método de prueba de laboratorio o basado en el rendimiento que se puede utilizar para determinar la resistencia a la deformación plástica de los pavimentos.

Método Marshall: La prueba Marshall es el método tradicional utilizado para la cuantificación, evaluación y control de calidad de mezclas asfálticas en Colombia y otros países del mundo. Aunque las pruebas de estabilidad y flujo no evalúan las propiedades básicas de una mezcla asfáltica, es una prueba rápida y fácil que requiere equipos básicos al alcance de cualquier laboratorio.

Sin embargo, la existencia de una amplia variedad de equipos de prueba, así como su uso frecuente y generalizado, ha demostrado que en algunos casos el método estandarizado no se observa estrictamente, especialmente por las características de la prensa, mandíbula y tasa de aplicación. de la carga.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de ciertos factores sobre la estabilidad y la fluencia obtenida en la prueba de Marshall. Donde, los factores o variables a analizar son la tasa de aplicación de la carga, el tamaño y la forma del sujetador y el método de medición de la fuerza aplicada y las deformaciones resultantes. La prueba Marshall es un método tradicional aplicado para cuantificar, evaluar y verificar la calidad de las mezclas asfálticas en nuestro país y alrededor del mundo.

Si Aunque la prueba de fluencia y estabilidad no evalúa ninguna propiedad fundamental de la mezcla asfáltica, es una prueba que requiere equipos básicos al alcance de cualquier laboratorio de construcción. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. (USCOE) comenzó a evaluar diferentes métodos de diseño de mezcla de asfalto en caliente para su uso en el diseño de pavimentos de aeropuertos. El ímpetu proviene del aumento de la carga de las ruedas y la presión de los neumáticos de los grandes aviones militares.

El primer trabajo del Ejército de los Estados Unidos en 1943 fue desarrollar "un aparato simple para el diseño y control de mezclas asfálticas". El método más prometedor eventualmente se convirtió en el Método de Estabilidad Marshall desarrollado por Bruce G. Marshall en el Departamento de Carreteras de Mississippi en 1939. Luego

se agregó una medida de deformación a la prueba de estabilidad original de Marshall para ayudar en la detección de un contenido de asfalto excesivamente. Este metodo adjunta se recomendó finalmente para aprobar por el Ejército de los EE.UU debido a que:

- Permite valorar el total de la muestra en lugar de sólo una parte de ella.
- Es una prueba rápida.
- El equipamiento esta compacta, ligero y portátil.
- El método para compactación produce densidades razonablemente cerca de las densidades de campo.

Elaboración de la mezcla asfáltica metodología Marshall: Después de haber realizado las pruebas correspondientes al material granular y verificar que cumple con las especificaciones mínimas se procede a encontrar una dosificación de estos materiales que cumpla con los parámetros establecidos por la norma AASTHO-ASTM-MTC, teniendo en cuenta que la mezcla objeto del proyecto es una Mezcla Densa en Caliente.

Propiedades Consideradas Para El Diseño De Mezclas: Las mezclas asfálticas en caliente trabajan de una mejor manera debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

- Estabilidad: La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable

es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

Tabla N° 3: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: MTC 2017

Durabilidad: La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de

agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

- **Impermeabilidad:** La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

Influencia del Triturado: El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

- **Trabajabilidad:** La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

- **Flexibilidad:** Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada bajo contenido de asfalto.

Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos

Características de las mezclas asfálticas: Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

Densidad: La densidad de una mezcla compactada se define como su unidad de masa (la densidad volumétrica de la mezcla). La densidad es una propiedad muy importante porque una alta densidad en el pavimento terminado es esencial para el rendimiento a largo plazo. En el análisis y las pruebas de diseño de mezclas, la densidad de una mezcla comprimida generalmente se expresa en kilogramos por metro cúbico. La densidad se calcula multiplicando la densidad total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg / m³). La densidad referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto

se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

Vacíos De Aire: Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

Vacíos en el Agregado Mineral: Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están

recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

Contenido De Asfalto En Mezclas Bituminosas: La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla. La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo

de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

Elaboración de muestras para ensayos de una mezcla asfáltica: Las muestras de prueba de mezcla de asfalto se pueden preparar asegurándose de que cada tipo contenga cantidades de betún ligeramente diferentes. El rango de contenido de betún utilizado en la muestra de prueba se determina en base a la experiencia previa con grados de mezcla. Esta gama proporciona al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de betún en la mezcla final. Las proporciones de agregados en la mezcla se desarrollaron en base a los resultados del análisis de medición de partículas.

Pruebas a las mezclas asfálticas: Los ensayos sobre muestras de asfalto pueden ser de dos tipos, el primero, para evaluar las propiedades volumétricas debido a los diferentes equipos de compactación utilizados; En segundo lugar, se evaluarán los parámetros de resistencia de la mezcla bituminosa mediante diversas pruebas mecánicas con el fin de determinar la influencia de la compactación en diferentes condiciones de daño. (DIEGO ALVAREZ HERNADEZ y ARROYO ORTIZ, 2008).

Pruebas Volumétricas: Un factor que debe tenerse en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica es el de las proporciones volumétricas de los componentes, el ligante asfáltico y el agregado. A continuación, se describen las pruebas que más influyen en los resultados de la volumetría y los parámetros.

- Gravedad específica de los agregados (G_{agr}): Este método de prueba se usa para determinar la densidad de la proporción esencialmente sólida de cantidad de partículas de agregado y provee un valor promedio representativo de la muestra, se evalúa según norma (ASTM D1188 AASHTO T 85)
- Gravedad específica de la mezcla compacta (G_{mb}): Esta prueba se realiza para estimar el grado de densificación que tendrá la mezcla asfáltica colocada en la estructura del pavimento. Debe tenerse en cuenta que esta densificación es el valor estimado que tendrá la mezcla asfáltica después de un tiempo de hacerse colocado en el pavimento. Esto debido a que el pavimento después de ser colocado, sigue sufriendo densificación debido al paso de los vehículos.
- Gravedad teórica máxima de la mezcla (G_{mm}): La determinación de la gravedad teórica máxima de la mezcla asfáltica, es posiblemente la prueba de laboratorio más importante para definir las características volumétricas de la mezcla asfáltica, debido a que el cálculo del volumen de vacíos es la proporción que existe entre el G_{mb} y el G_{mm} , se obtiene según el método.

Esta figura se debe efectuar con un aparato que extraiga todos los vacíos de la mezcla succionándolos con una bomba de vacío.

Pruebas Mecánicas: Estas pruebas dan una indicación acerca de cómo se comportará estructuralmente la mezcla, teniendo en cuenta correlaciones dadas por la norma. Estas pruebas se describen a continuación. (DIEGO ALVAREZ HERNANDEZ & ARROYO ORTIZ, 2008)

Prueba de estabilidad y flujo Marshall: Esta prueba se realiza con el propósito de conocer los valores los valores de cohesión (estabilidad) y fricción (flujo) de la mezcla asfáltica, mediante la aplicación de una carga a deformación controlada de 50.8

mm/min. Esta prueba es solamente para probetas fabricadas con el martillo Marshall y consiste en sumergir la probeta en baño maría a una temperatura de 60°C de 30 a 40 minutos, para después ensayarla en la maquina Marshall: los valores obtenidos se utilizan para la determinar el contenido óptimo de asfalto, este método se describe en la norma AASHTO T-245 ASTM D-1559

- **Escogencia de la dosificación óptima de asfalto:** Se escoge la granulometría óptima de la mezcla que presente una curva equidistante a las dos curvas de límites superior e inferior. A esta se le adiciona una cantidad de asfalto tal que lleve a la mezcla a tener la mejor calidad posible.

Cálculo del porcentaje óptimo de llenante mineral: Un diseño de mezcla asfáltica se compone de una serie de ensayos de prueba y error donde por medio de tanteos se asume una cantidad específica de materiales pétreos y se le adicionan diferentes porcentajes asfalto para calcular su contenido óptimo. De esta misma forma hay que asumir una proporción de llenante mineral deseable para poder calcular la cantidad total en una mezcla. El objetivo es alcanzar una estabilidad de 23mm libras al ensayar las briquetas en la prensa Marshall, teniendo en cuenta que el 85% de esta son 1950 libras que es la estabilidad mínima que permite la norma para tráfico pesado y el 85% es la tolerancia máxima exigida al ensayar muestras individuales de la mezcla. Así se garantiza un rango de seguridad bastante alto durante la etapa de producción de la mezcla en planta.

Estabilidad y Flujo de Mezclas Asfálticas: El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

A. Estabilidad: La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. Los requisitos de estabilidad solo pueden

establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. Como indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad. (UDEP, 2008).

B. Flujo: La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito. (UDEP, 2008)

Definición de polímero: Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

- Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).

- **Elastómeros:** Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudo plásticas con poca elasticidad.

A. **¿Qué es un asfalto modificado?** :Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

B. **Principales modificadores utilizados en el Asfalto:** Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

POLÍMERO TIPO I: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo tribloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno- Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno- Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimento Con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

POLÍMERO TIPO II: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

POLÍMERO TIPO III: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil- Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS: Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, Reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia, y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con los elastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación

molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto que se utiliza.

¿Por qué se modifican los asfaltos?: Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular aunado al exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo, con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además, con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados”.

Modificación del asfalto: La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías carreteras. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el

fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (roderas), de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado, disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

La modificación del asfalto es un procedimiento que se utiliza para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los ligantes en la construcción de carreteras.

Este proceso se hace con la adición de polímeros que sean compatibles con el asfalto y que mejoren la resistencia a la deformación y al deterioro producido por las cargas vehiculares y los factores ambientales.

En general, al agregar modificantes poliméricos al asfalto, se obtienen ligantes mucho más viscosos y rígidos que los convencionales, capaces de disminuir el ahuellamiento cuando las mezclas están colocadas en lugares de altas temperaturas; y por otro lado, disminuir la fisuración y la fatiga de las mezclas, haciéndolas más elásticas cuando se encuentran en servicio a bajas temperaturas.

Polímeros. Moléculas conformadas por unidades más simples llamadas monómeros. Las propiedades físicas y mecánicas de un polímero dependen de la distribución espacial de las cadenas monoméricas que lo componen, pudiendo presentarse como elementos rígidos o elásticos. Su adición al asfalto depende del grado de compatibilidad con éste, y tiene el fin de mejorar las propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles en diferentes condiciones de servicio, buscando economía y durabilidad en las carreteras. Cuando se incorporan materiales poliméricos al asfalto, éste forma cadenas tridimensionales o lineales y hace que la mezcla asfáltica adopte elásticos o rígidos, según la cadena polimérica que se adicione.

Clases de polímeros: Según la disposición de su estructura los polímeros se clasifican en:

Elastómeros: cadenas lineales carentes de forma definida. Al ser sometidos a procesos de vulcanización su estructura se modifica tornándose reticular, con comportamiento elástico. Al adicionar este tipo de polímero a una mezcla asfáltica “se observó un incremento en la resistencia a la deformación, se disminuyó el módulo de rigidez, aumentó la durabilidad de la mezcla y se incrementó la flexibilidad del asfalto”.

Plastómeros: este tipo de polímero es más duro que un elastómero, hace posible “el aumento de la resistencia a la deformación y evita la disminución de la adherencia aumentando la durabilidad” cuando se adiciona a una mezcla asfáltica. El efecto en la flexibilidad del asfalto no es considerable, lo que lo hace poco recomendable en temperaturas elevadas.

Poliestireno. Plástico obtenido a través de la unión de monómeros por medio de un proceso térmico denominado polimerización, con el fin de conformar moléculas de mayor tamaño. El monómero base es el estireno, que se obtiene calentando el metilbenceno en presencia de un catalizador.

El resultado de la polimerización pura del estireno es el poliestireno cristal, que es transparente, frágil y de baja resistencia. Con la adición de caucho aumenta la resistencia de éste material, pero su cualidad traslucida disminuye a medida que aumenta el contenido de goma. Se utiliza generalmente para la fabricación de estuches y envases desechables.

Otro tipo de poliestireno es el poliestireno expandido que “consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas que forma burbujas que reducen la densidad del material” Su color característico es el blanco debido a la refracción de la luz; además, presenta excelentes capacidades de aislamiento térmico, por lo que es ampliamente utilizado en la construcción y en el transporte de alimentos perecederos.

A partir de la fundición del poliestireno cristal y con la inyección de gas se obtiene el poliestireno extruido, que posee también características aislantes, pero tiene un mejor

comportamiento frente a la humedad, razón por la cual es utilizado en la construcción de cubiertas.

Caucho vulcanizado. Es el resultado de combinar caucho natural con azufre a elevadas temperaturas, para mejorar su elasticidad y resistencia. Éstas últimas condiciones se mantienen incluso a bajas temperaturas, a diferencia del caucho natural, que tiende a rigidizarse y quebrarse. Por otro lado, después del proceso de vulcanización el caucho se vuelve resistente a los solventes convencionales y soporta temperaturas por encima del punto de carbonización de la materia orgánica.

Dada su alta resistencia a la abrasión y al calor, el caucho vulcanizado se utiliza en la fabricación de llantas para vehículos automotores; además, por ser impermeable y flexible se utiliza en la fabricación de mangueras para la conducción de sustancias agresivas.

Reología del asfalto. “Hace referencia a la variación de las propiedades de flujo a través del tiempo de aplicación de una carga, e incluye una propiedad muy importante como lo es la viscosidad”. Cuando el asfalto es sometido a altas temperaturas llega a comportarse como un fluido viscoso, mientras que a las temperaturas de servicio éste se comporta como un sólido. El flujo de viscosidad en cualquier líquido puede considerarse como un proceso térmico, en el cual las moléculas tienen que sobrepasar una barrera de energía para desplazarse a un sitio adyacente. Algunas fallas en los pavimentos están directamente relacionadas con las características reológicas de los ligantes utilizados; por ejemplo, cuando una mezcla tiene problemas de adherencia ligante – agregado, se debe a que el asfalto utilizado tiene viscosidades muy bajas. Cuando hay un aumento de la viscosidad y de la consistencia del ligante, se pueden presentar fisuras en los pavimentos a causa del incremento de la rigidez.

Mezcla asfáltica. Es aquella constituida por ligante asfáltico y agregado pétreo con una gradación definida y constante; en la que las proporciones de cada componente definen las características físicas de la mezcla en sí. Se utilizan principalmente en la

construcción y mantenimiento de vías como carpeta de rodadura o como bases subyacentes a ésta. Los agregados pétreos son los materiales granulares que se utilizan en la fabricación de mezclas asfálticas y son los que resisten las cargas del tránsito sobre éstas.

El desempeño de los pavimentos se debe necesariamente a las propiedades de los agregados utilizados en las mezclas. Las características más relevantes de los pétreos son:

Tamaño: el tamaño del agregado define la clase de mezcla y el tipo de superficie que tendrá el pavimento. Los grandes tamaños del agregado (75mm) pueden utilizarse como subcarpetas portantes bajo mezclas superficiales más finas (9.5 a 19mm).

Forma: la forma de las partículas del agregado tiene gran influencia en el entrapado de las mismas; por ejemplo, la fricción entre ellas aumenta cuando las partículas tienen formas angulares, lo que en la mezcla se refleja en un aumento de la resistencia a la deformación.

Textura: esta condición le da al agregado la capacidad de entrar más en contacto con el ligante asfáltico, aumentando la adherencia entre partículas. **Dureza:** de esta propiedad depende la resistencia del agregado a la abrasión de los agentes ambientales y de las cargas del tránsito.

Método Marshall. El método Marshall es netamente empírico y se basa en el principio de “ensayo y error”; fue formulado en 1943 por Bruce Marshall, del Departamento de Autopistas del Estado de Mississippi y mejorado luego de una extensiva investigación por parte del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos. Aunque el método originalmente fue diseñado para mezclas con agregados pétreos de tamaño máximo 25mm (1”), fue modificado y desarrollado para agregados con tamaños máximos superiores a 35mm (1.5”).

Este método se emplea para dosificar mezclas en caliente de agregados pétreos y ligante asfáltico. Permite el diseño de mezclas en laboratorio, y el control de éstas en campo, para poder verificar las correctas proporciones de ligante y agregado.

Los aspectos que evalúa el método son:

- La estabilidad para garantizar la respuesta de la mezcla asfáltica a las exigencias del tránsito cuando se encuentra puesta en servicio.
- La cantidad de asfalto presente en la mezcla para asegurar el recubrimiento y la adherencia entre los agregados y la perfecta impermeabilización de las capas subyacentes de los pavimentos.
- Control de los vacíos con aire presentes en la mezcla después de haber sido compactada, como una reserva para las deformaciones producidas por las cargas del tránsito.

Los ensayos de la metodología Marshall se hacen con moldes de prueba de 4" de diámetro y 2 ½" de alto, que sirven para formar muestras de la mezcla asfáltica que se compacta en caliente dentro de los moldes. El principal fin de la realización de estas muestras es analizar densidad, vacíos, estabilidad y flujo. La estabilidad es la máxima resistencia a la carga que puede soportar la mezcla; mientras que el flujo es la deformación total que se produce en la mezcla desde la carga inicial hasta la carga máxima.

A. Estructura de los Asfaltos Modificados: Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existen una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros. El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de

las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

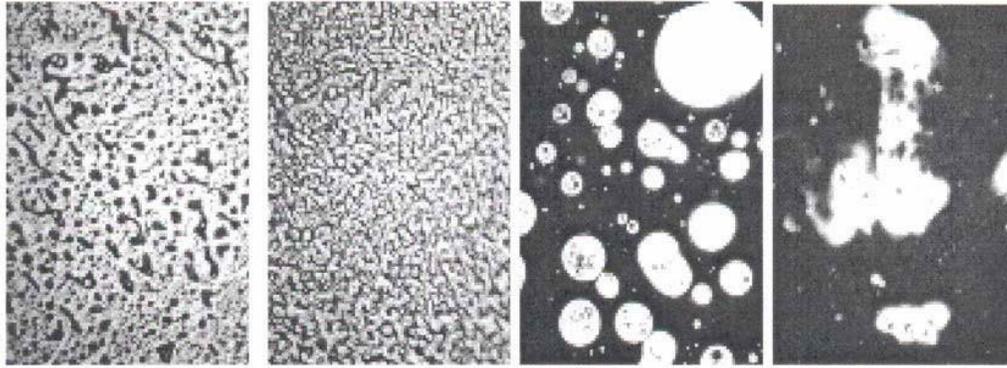
B. Compatibilidad de los Polímeros: Para que los asfaltos modificados con polímeros funcionen de manera óptima, se debe hacer una selección cuidadosa del asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenamiento. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptimo para mejorar las propiedades reológicas, por lo que el polímero también actúa solo como un relleno (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.); y por debajo de eso, se vuelven altamente solubles y aumentan la viscosidad sin mejorar la elasticidad y durabilidad.

Si se agrega un polímero a dos asfaltos diferentes, las propiedades físicas de los productos finales pueden ser muy diferentes. Para ser más eficaz, el polímero debe formar una red continua de trabajos en el asfalto; Para hacer esto, la química del polímero y el asfalto deben ser compatibles.

Los polímeros compatibles crean rápidamente asfalto estable utilizando técnicas de procesamiento convencionales. Estos sistemas convencionales de preparación de asfalto modificado con polímeros son tanques de mezcla grandes con palas agitadoras de funcionamiento lento o tanques de recirculación especiales con agitadores de corte mecánicos de alta velocidad.

El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En las microfotografías de la Figura 3, nos muestran polímeros del tipo SB o SBS en diferentes asfaltos (el blanco es polímero y el negro es asfalto). Los dos primeros representan una red polimérica continua con una estructura estable que no se separa, aprovechando las propiedades elásticas del polímero. Los dos siguientes no están reticulados, se separan durante el almacenamiento y, por lo tanto, no tienen el mismo aumento beneficioso en varias propiedades.



AC-20 Madero Con Reacción	AC-20 Tula Con Reacción	AC-20 Tula Sin Reacción	AC-20 Salamanca Sin Reacción
------------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------------

Figura N° 4: Microfotografía (Emulsiones Asfáltica, Gustavo Rivera E.)
Fuente: estudio de la reología del asfalto 2010

Algunos productores de asfalto polimerizado utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto. Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de las roderas, el desprendimiento de pétreos el agrietamiento térmico o fluencia de la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

Definición de términos básicos (Glosario)

- **Reología:** Parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología es una parte de la mecánica de medios continuos
- **Agregado:** El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-bases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje.

- **Ligante:** Sustancia química que se aplica a un sustrato adecuado para crear una capa entre éste y el subsiguiente, o entre la superficie y el yeso que se le aplica. También llamado material ligante.
- **Temperatura:** La Temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee
- **Fatiga:** La fatiga es el proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que ocurre en un material sujeto a tensiones y deformaciones variables en algún punto o puntos y que produce grietas o la fractura completa tras un número suficiente de fluctuaciones.
- **Rigidez:** Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie
- **Fisuramiento:** Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes, que se hace en un cuerpo sólido, especialmente un hueso o un mineral.
- **Máltenos:** Los máltenos son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición. Están constituidos por anillos aromáticos, nafténicos y con muy pocas cadenas parafínicas.
- **Asfáltenos:** Los asfáltenos son una familia de compuestos químicos orgánicos del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y por tanto, los de mayor punto de ebullición.
- **GCR:** Gramo de Caucho Reciclado

Fisuración: Con respecto de Agnusdei y Raul Zerbino (2011, p.06) Nos menciona que, “La fisuración es un fenómeno complejo que puede ser causado por varios factores. Se asocia con tensiones inducidas en el pavimento producto de las cargas de tránsito, variaciones de temperatura o una combinación de ambas. Una mezcla asfáltica, a partir de contener un ligante asfáltico, tiene un comportamiento visco elástico. Si una mezcla asfáltica es sometida a una deformación que se mantiene constante en el tiempo una tensión se induce en la misma. Dependiendo de la temperatura, esa tensión se disipará más o menos rápido. Esto se conoce como

relajación. A altas temperaturas la relajación se produce en pocos minutos mientras que puede llevar horas, o incluso días, a bajas temperaturas del pavimento”.



Figura N° 5: Tipo de Fisuras en el pavimento asfáltico.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

Deformación permanente: Según Néstor Huamán Guerrero, Carlos M. Chang Albitres (2016, p.25) nos menciona que, “desde el punto de vista mecanicista, existen dos tipos de falla principales en las mezclas asfálticas, que son la deformación permanente y la fisura miento por fatiga. La deformación permanente es generada por deformación plástica del concreto asfáltico y/o por deformación de la subrasante”.



Figura N° 6: Deformación Permanente.
 Fuente: Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

El ahuellamiento que se debe por falla de la subrasante se genera por la constante carga al suelo natural, donde es afectada debajo de la capa asfáltica la cual cede y se deforma figura 7 - a.

Y otro tipo de ahuellamiento es por la acumulación de deformación en la capa asfáltica, cuya resistencia al corte es demasiado baja para soportar las cargas pesadas a la cual son sometidas, figura 7 - b.

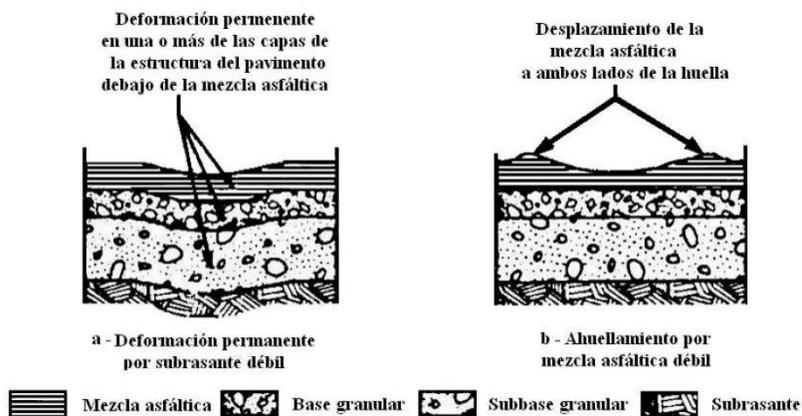


Figura N° 7: Tipos de Ahuellamiento.
 Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

El rol del asfalto: Según Jorge Agnusdei y Raul Zerbino (2011, p.9), nos dice que:

“El asfalto tiene una interesante propiedad con la variación de temperatura, su susceptibilidad térmica. A bajas temperaturas el ligante tiene el comportamiento de un sólido elástico mientras que a altas temperaturas el mismo es el de un fluido viscoso puro. En el medio se produce una transición entre los dos estados presentando un comportamiento visco-elástico, Debido a esto es importante tener en cuenta las condiciones de temperatura a las que será expuesto el pavimento, a bajas temperaturas se tendrá una mezcla que puede sufrir fisuración y a altas temperaturas ahuellamientos”

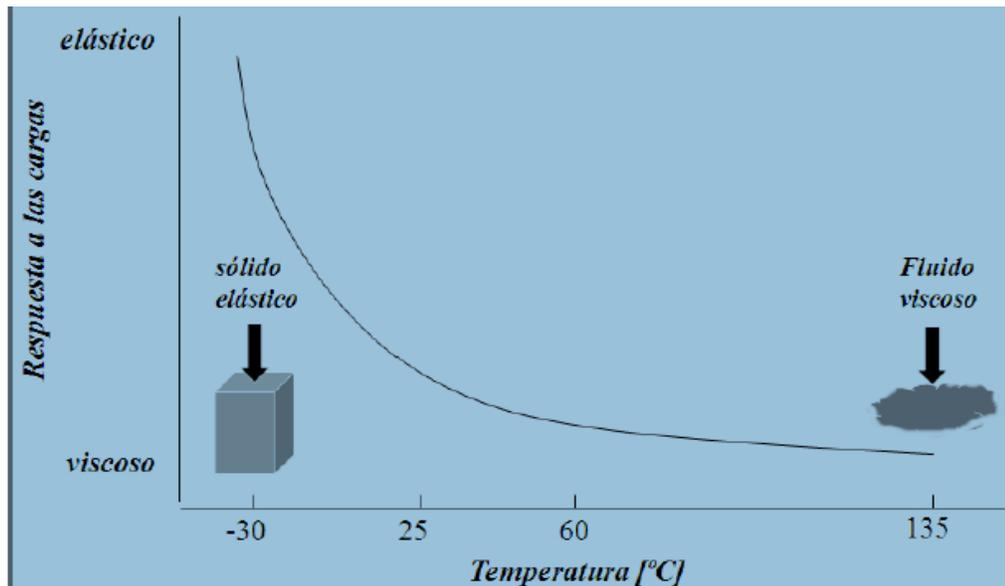


Figura N° 8: Cambio de Comportamiento del Asfalto en Función a la Temperatura.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

Módulo Elástico: Según S. Minaya & A. Ordoñez (2015, p.68) nos menciona que:

“El parámetro que se utiliza en la estimación de deformaciones bajo cargas estáticas es el módulo de elasticidad. El módulo elástico relaciona los esfuerzos aplicados y las deformaciones resultantes. El nivel de esfuerzos aplicado al suelo a través de la estructura del pavimento es mínimo comparado con la deformación en falla, por ello se asume que existe una relación lineal entre los esfuerzos y las deformaciones”

Factores que intervienen en el desarrollo de deformaciones permanentes:

Producto de las mayores tensiones impuestas por las cargas de tránsito y las mayores temperaturas en la superficie del pavimento las deformaciones permanentes de la capa asfáltica se producen en los 8 a 10 cm superiores del paquete del pavimento. Por debajo las tensiones y la temperatura son mucho menores.

El diseño de la mezcla altera en gran medida la respuesta de la misma frente al ahuellamiento. Las propiedades volumétricas de la mezcla así como la elección adecuada de los materiales, agregados y asfalto, en función de las condiciones de tránsito y el clima pueden influir para que esta sea más o menos resistente a las deformaciones permanentes. A continuación, se hace una reseña de los diferentes factores que intervienen en el desarrollo de las deformaciones permanentes en las mezclas asfálticas.

Propiedades volumétricas de la mezcla: Para tener un buen comportamiento de la mezcla asfáltica se necesita no sólo que esté realizada con buenos materiales, además éstos deben estar combinados de manera que el comportamiento sea óptimo. De allí que numerosas propiedades de la mezcla deben ser tenidas en cuenta. Entre ellas aparecen el porcentaje de vacíos, los vacíos del agregado mineral y el porcentaje de asfalto.

Porcentaje de vacíos: El porcentaje de vacíos óptimo de diseño de una mezcla asfáltica densa debe estar entre 3 y 5 % según la metodología Marshall y en un 4 % según el programa Superior Performance Pavement (Superpave) de Estados Unidos (manual Asphalt Institute, 1996).

Con contenidos de vacíos menores de 3%, para el porcentaje óptimo de ligante, la mezcla asfáltica puede exudar y/o ahuellarse sobre todo con altas temperaturas. Esto es debido a que las cargas del tránsito deforman la estructura del pavimento y el

mastico de asfalto-finos es movido entre la estructura de agregados pétreos hacia la zonas de vacíos. Si estos vacíos son escasos, el escape de este mastico se produce hacia la superficie en forma de exudación. El mismo no reingresa posteriormente en la estructura de la mezcla y la falta del mastico produce deformaciones permanentes bajo el tránsito debido al acomodamiento de la estructura pétreo de agregados gruesos sin contención por parte de aquel.

Porcentaje de asfalto: El contenido de asfalto está relacionado con el contenido de vacíos. La estabilidad Marshall, a pesar de no ser un parámetro relevante en el comportamiento de las mezclas frente al ahuellamiento, muestra cómo afecta el contenido de ligante al comportamiento mecánico de las mezclas. Hasta cierto valor la estabilidad aumenta con incrementos en el contenido asfáltico; a partir de dicho valor, la estabilidad de la mezcla disminuye con nuevos incrementos de asfalto. Esto se debe al efecto lubricante que produce el exceso de asfalto sobre las partículas de agregado reduciendo el contacto entre las partículas de agregado y por lo tanto disminuyendo la fricción interna de la mezcla. Por tanto, se tendrá una mezcla más deformable y con riesgo de exudación.

Granulometría de la mezcla: Las mezclas tradicionales se producen en base a granulometrías densas. Estas mezclas, en condiciones extremas de servicio, pueden ser susceptibles de ahuellarse. Para que una mezcla sea resistente al ahuellamiento debe existir un contacto íntimo entre las partículas gruesas, más resistentes y de mayor fricción interna. El mismo concepto es aplicado en las mezclas SMA (Stone Mastic Asphalt o Stone Matrix Asphalt) o microaglomerados (figura 2.6). La cantidad de agregado de menor tamaño debe ser tal que pueda ser colocado en el espacio que dejan los agregados más gruesos, sin interferir en su contacto entre partículas, y así sucesivamente con los tamaños más finos.



Figura N° 9: Mezcla Tipo Micro Aglomerado.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

Para una banda granulométrica y un tamaño máximo la granulometría puede estar más cerca del límite superior (mezcla fina, figura 2.7) o del límite inferior (Mezcla gruesa, figura 2.8). La mezcla será menos susceptible al ahuellamiento cuanto la granulometría se aproxime al límite inferior del huso en los tamaños medios. En el estudio del proyecto Superpave se recomienda que a medida que el nivel de tránsito aumenta, la granulometría se acerque al límite inferior de la banda en los tamaños finos (a partir del tamiz No 4 [4,75 mm] o el No 8 [2,36 mm]) (manual Asphalt Institute, 1995).

Cuando hay un exceso de arenas de tamaño medio, la mezcla puede ser inestable en condiciones extremas de servicio. Esto produce una deformación paulatina de la mezcla, y un acomodamiento interno de las partículas, acercándose unas a otras hasta que las partículas gruesas quedan en contacto, de modo que proveen suficiente fricción interna, y la deformación se detiene

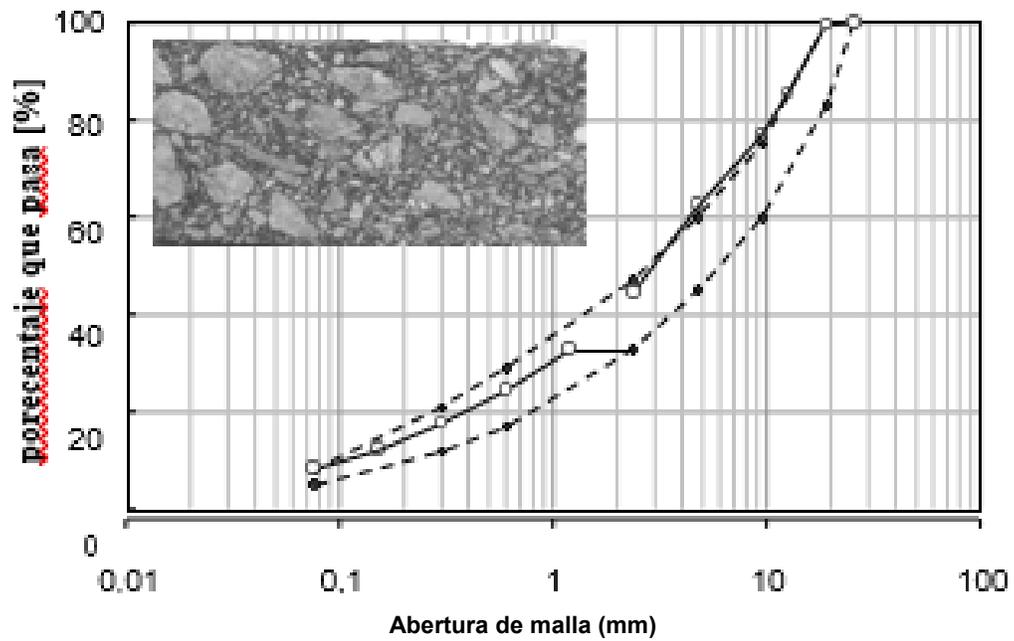


Figura N° 10: Granulometría Mezcla Densa Fina.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

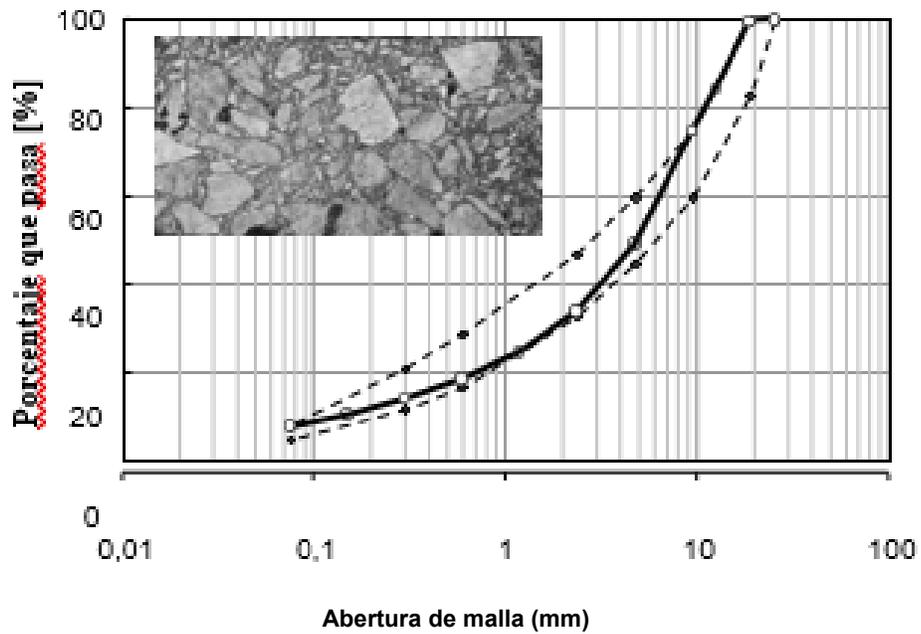


Figura N° 11: Granulometría Mezcla Densa Gruesa.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

Efecto del agua, daño por humedad: El daño por humedad se genera por la presencia de agua en contacto con el pavimento. El agua genera una pérdida de resistencia y durabilidad de la mezcla asfáltica debido a que favorece el desprendimiento de la película de asfalto de la superficie del agregado pétreo. El efecto deletéreo del agua se ve incrementado además por las temperaturas elevadas y la acción del tránsito.



Figura N° 12: Desprendimiento del Ligante del Agregado por Efecto de la Humedad.
Fuente: Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas, 2011

Problema general: ¿Existe una relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?

Problemas específicos: ¿Como se presenta la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?

¿Cómo se presenta el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?

¿Cuál es la relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?

Justificación del Estudio: La durabilidad o vida útil de los pavimentos ha sido un tema de preocupación nacional debido al alto porcentaje de deterioro que tienen las vías. La mezcla asfáltica constituye un elemento de gran importancia por conformar la capa expuesta a mayor detrimento, por esto, ha estado sujeta a un gran número de investigaciones en busca de métodos para modificarla y así lograr mejoras en sus características.

Buscando soluciones a los requerimientos de la mezcla asfáltica, con los factores de temperatura y viscosidad se ha encontrado la posibilidad de emplear modificadores que hacen parte de los desechos no biodegradables, que mejorarán las condiciones de la mezcla en servicio frente a factores ambientales y climatológicos, y al mismo tiempo reducirán el impacto ambiental de estos desperdicios.

Se justifica el desarrollo de este proyecto dentro las líneas de investigación de Diseño de Infraestructura Vial, teniendo en cuenta que la inclusión de una llenante sobre una mezcla puede traer ventajas físicas y económicas sobre las capas de rodadura en pavimentos flexibles, además beneficios ambientales que colaboren con el desarrollo sostenible de medio ambiente. Asfaltos modificados, se estudió el efecto de incorporar aditivos químicos en estos ligantes y el comportamiento de las mezclas tibias fabricadas con ellos. En estudios anteriores se concluye que los ensayos de adherencia son los más adecuados para caracterizar la calidad de las mezclas asfálticas fabricadas a temperaturas reducidas.

Hipótesis general: Existe una relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Hipótesis específicas: Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y y la incorporación del caucho con Ahuellamiento por fallas en la subrasante con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con la Deformación Permanente por Uso con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Objetivos generales: Determinar la influencia de la incorporación del Caucho, sobre la deformación de la carpeta asfáltica y evitar el deterioro del pavimento con las propiedades físicas de mezclas asfálticas, mediante la metodología Marshall, para establecer su uso en el diseño y la construcción de pavimentos flexibles en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Objetivos específicos: Identificar la deformación de la carpeta asfáltica con respecto a la incorporación del caucho a mezcla asfáltica con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Identificar la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con respecto a la Ahuellamiento por fallas en la subrasante con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

Identificar la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con respecto a la Deformación Permanente por Uso con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018

II. MÉTODO

2.1. Diseño, tipo, nivel y enfoque de investigación

Diseño de investigación: La investigación a realizarse es de diseño no experimental y correlacional. Es **no experimental** ya que no se va manipular la variable independiente.

Según Agudelo, Aigner y Ruiz (2008, p.39), Nos indica: En un estudio no experimental es donde se investiga mediante situaciones existentes siendo analizadas con detalle por el investigador. Además, en la investigación no experimental las variables independientes ya se han producido, además el investigador no tiene ningún tipo de control ni influencia en esta situación porque ya sucedieron, al igual que sus consecuencias

Por último, es de tipo **correlacional**, ya que las variables a estudiar tienen relación entre sí.

Según Hernández, Fernández, Baptista (2003, p.121), nos menciona: Este tipo de estudio tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables (en un contexto en particular).

Tipo de investigación: Se considera que la investigación es de tipo **aplicada** porque se da debido a un problema en un determinado momento y que aqueja el día a día en nuestra sociedad

Según Ander (2011, p.43) nos indica: La investigación aplicada busca el conocer para hacer, para actuar (modificar, mantener, reformar o cambiar radicalmente algún aspecto de la realidad social). Le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías.

Nivel de investigación: Este proyecto de investigación será de nivel explicativo, porque se llegará a analizar los efectos y fenómenos de la variable.

Según Cegarra, 2011, p.12), con respecto a método científico, nos menciona.

A través de la observación o experimentando se tiene a explicar científicamente cómo o por qué se produjo aquel. La explicación puede ser más o menos completa y con mayor o menor grado de aproximación, pero siempre pretende mejorar el conocimiento cimentando nuevas bases para ulteriores avances.

Enfoque: Según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.10), sostienen: Que un estudio cuantitativo se basa en antecedentes y se usa para enriquecer creencias.

2.2. Variables y Operacionalización

Variables: Nos manifiesta Rojas, (2002, p 182), “puede definirse como una característica, atributo propiedad o cualidad que: a) puede darse o estar ausente en los individuos, grupos o sociedades... por su posición en una hipótesis o correlación las variables pueden clasificarse en independientes, dependientes o intervinientes.”

Variable Independiente: Deformación de la carpeta Asfáltica

Variable Dependiente: Deterioro del Pavimento

Operacionalización de las variables: Según Fidias G, (2006, p.62), en su artículo, nos manifiesta lo siguiente acerca de la operacionalización:

Operacionalizar significa el proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores.

Tabla N° 4: Operacionalización de la variable independiente: Deformación de la carpeta Asfáltica

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Deformación de la carpeta Asfáltica	Jorge O. (2011), la deformación permanente es el deterioro caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original.	Es la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga que son irre recuperables.	Tipos de deformación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deformación permanente por la subrasante débil. ✓ Deformación por la mezcla asfáltica débil.
			Causa de la deformación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deformación Plástica de la mezcla asfáltica ✓ Deformación Permanente por Uso

Fuente: Propio

Tabla N° 5:Operacionalización de la variable dependiente: Deterioro del Pavimento

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Deterioro del Pavimento	Según Adolfo Montiel (2010) La mejor forma de identificar las fallas del pavimento y determinar porqué se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año, preferiblemente al comienzo de la primavera.	El deterioro del pavimento es la fisura o el mal comportamiento del Pavimento debido al distintos factores como es el caso de la temperatura el ahuellamiento.	Fisuras y grietas	✓ Fisuras y grietas por fatiga ✓ Fisura y grietas en bloques
			Deterioro Superficial	✓ Parches deteriorados ✓ Baches en la carpeta asfáltica

Fuente: Propio

2.3. Población y Muestra

Población: Según Guadalupe (2007, p.8) Nos menciona: “Las características y la amplitud de la población a estudiar son determinadas por cada investigador dependiendo tanto de los objetivos de su investigación como de las posibilidades de acceso a los elementos que integran, así como de los recursos con que cuenta para realizar su labor”.

La población de la investigación está conformada por todas las avenidas principales del distrito de Puente Piedra en la Ciudad de Lima.

Muestra: Según la Real Academia Española (2017), define Muestra como: “Porción extraída de un total por métodos que permiten considerarla como representativa”.

Para la muestra se escogió la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra.

Muestreo: Para Mejía (2005, p.115), define el muestreo No Probabilístico “A aquella investigación que es necesario identificar a la muestra con criterios intencionados”.

Siguiendo la Premisa anteriormente mencionada el proyecto de investigación se usa un muestreo no probabilístico ya que la muestra fue seleccionada por el investigador.

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad

Técnicas de Recolección de Datos: En las técnicas de recolección de datos, Fidas Arias (2006, p.67), nos manifiestan en su artículo que: “Las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general”.

En la presente investigación tiene como técnica la observación directa donde la finalidad es obtener la mayor cantidad de información.

Instrumentos de recolección de datos: En los instrumentos para la recolección de datos, Fidas Arias (2006, p.68), define que: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso dispositivo o formato (ya sea en papel o digital), que se utilizara para obtener, registrar y guardar información”.

Para la recolección de datos se decidió elaborar pruebas directas con el objetivo de investigación.

Confiabilidad de la Investigación: Al tratarse de una investigación con fichas y apuntes, desarrollada netamente por el investigador, la confiabilidad se dará mediante la aprobación de un profesional o profesionales en ingeniería civil, especialista en la

rama que abarca el estudio, muy aparte el uso de software que es confiable debido a sus usos anteriores y a la empresa que lo respalda.

Validez de la Investigación: Scribano (2007), señala en su artículo: “La validez y confiabilidad de una investigación cualitativa hay que tener en cuenta dos formas de entablar dichas pretensiones y de evaluarlas: una mirada interna y otra externa. Una visión externa se refiere a los respaldos que existen para nuestras interpretaciones fuera del proceso mismo de indagación”

La valides para el instrumento que utilizaremos en la investigación, se dará bajo el juicio de expertos.

2.5. Método de Análisis de Datos

El Método de análisis de datos, Peersman (2014, p.2), define que: “La planificación de la recolección de datos tiene que comenzar por revisar en qué modo se usan los datos existentes”.

Por lo que esté presente proyecto tenemos que analizar cada variable con sus respectivas dimensiones.

2.6. Aspectos Éticos

Declaro que:

- La tesis de mi autoría
- Teniendo en cuenta la norma vigente estandarizada en el Reglamento de Grados y Títulos por la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, no habido plagio por parte del autor.

- Los datos que se presenten serán veraces, no serán copiados ni falsificados, por lo que los resultados serán un aporte para investigaciones futuras.
- Asumiré toda responsabilidad de hallarse falsedad o copia en los datos que presentare en dicho proyecto y me someteré a las normas establecidas, por la Universidad Cesar Vallejo, si se diera el caso.

III. RESULTADOS

Breve descripción de la zona a investigar

Población: Según fuente del INEI la población del Distrito de Puente Piedra es de 233,602 habitantes aproximadamente.

Situación Actual: En la Población del sector cercado, se ha encontrado deficiencia de acceso a los sectores donde habitan, lo cual resuelta en insuficiente infraestructura ya que sus calles se encuentran a nivel de terreno natural, los cuales no brindan una continuidad en el servicio, siendo necesario consolidar las buenas prácticas avanzando y desarrollar un sistema de circulación compuesta por pista y veredas y accesos peatonales que mejoren el tránsito o desplazamiento peatonal de los transeúntes de la zona.



Figura N° 13: Situación actual del Pavimento.
Fuente: Elaboración propia.

Descripción De La Zona De Estudio: Las vías internas del presente proyecto, en la actualidad se encuentran con asfalto y la mayor parte de sus calles se encuentran con deformación en la carpeta asfáltica a nivel de la rodadura, generando un tremendo malestar a la población que transita diariamente por la Av. Buenos Aires.

La Av. Buenos Aires, cuenta con los servicios de Agua y Desagüe, electricidad, también cuentan con servicios de educación.

Topografía: La Av. Buenos Aires para el trazado de las pistas y veredas se ha tenido en cuenta el levantamiento topográfico existente y cotas de las edificaciones existentes, que han servido como referencia para determinar los niveles de la vía peatonal.

Clima: El distrito de Puente Piedra es en general una zona de típico clima costero, con escasa presencia de lluvias durante todo el año, con temperatura que, según datos estadísticos del SENAMHI, arrojan los siguientes resultados:

Temperatura máxima	:	30°C.
Temperatura mínima	:	15°C.
Temperatura promedio	:	22°C.

Ubicación:

Región	:	Lima
Departamento	:	Lima
Provincia	:	Lima
Distrito	:	Puente Piedra

El proyecto se encuentra ubicado en el Distrito de Puente Piedra, Provincia y Departamento de Lima, específicamente en el Sector cercado.

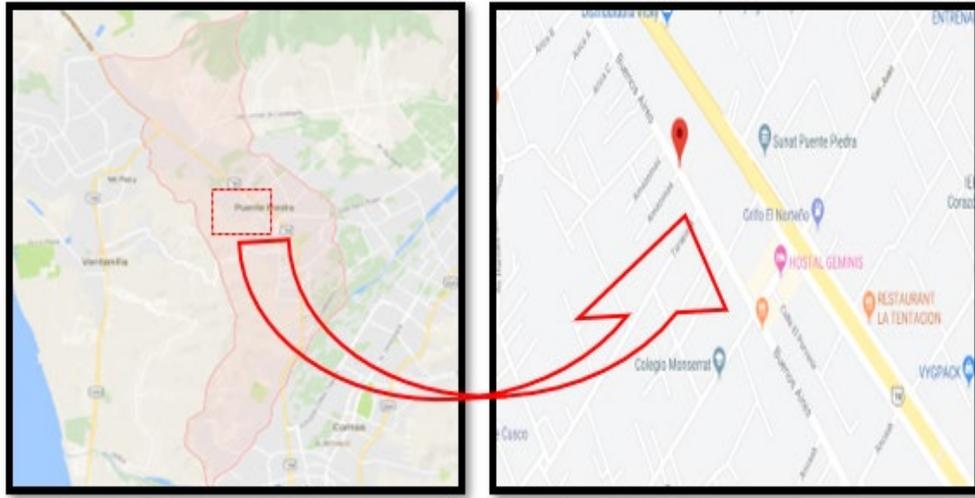


Figura N° 14: Ubicación del Proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Vía De Accesos: El proyecto de investigación que realice se encuentra a la altura del kilómetro 31.50 de la carretera Panamericana Norte, por la Av. San Juan, del Distrito de Puente Piedra.

Técnicas de recolección de información

Recolección de Información Primaria

Esquema de formatos para laboratorio: Se buscaron y organizaron los formatos más adecuados para la obtención y digitalización de datos que generalmente se usan los laboratorios convencionales para registrar los ensayos, además se elaboraron las hojas de cálculo para proceder al diseño de mezclas y su análisis posterior.

Obtención de materias primas: Se obtuvo el material de llanta reciclada en grano molido conocido comercialmente como GCR en un bulto de 40 Kg. Es importante mencionar que este material fue comprado por la dificultad de realizar los procesos de separación de partículas que componen la llanta y los neumáticos, en los laboratorios de la Universidad. Pero es importante resaltar brevemente el proceso de trituración, para que sea tenido en cuenta en pro de futuras investigaciones. El proceso es enteramente mecánico, inicialmente se hace el destalonado, que extrae el anillo de

alambres de acero encontrados en el interior de la llanta. Luego se da un proceso de Lavado y desinfección, en este proceso se limpia las llantas con una mezcla jabonosa, para después ser limpiadas y puestas a secar. Posteriormente se hace un almacenamiento, para llevar a cabo un triturado Primario, donde se utiliza la trituradora primaria que como su nombre lo indica realiza la primera trituración, esta máquina cuenta con dos ejes con cuchillas de corte rotantes que reducen la llanta a pedazos de aproximadamente 300mm. Continuando con el Triturado Secundario en donde reduce trozos de 300mm a 50mm a través de una acción análoga a la anterior, esta trituradora cuenta con una parrilla metálica para la calibración del tamaño del material en la salida. Para ir obteniendo los tamaños que comercialmente se están usando, se lleva a cabo después el proceso de Granulado, llegando a reducir los pedazos provenientes de la trituradora secundaria a un tamaño de 16mm. Además de estas trituraciones se continúa con el Desmetalizado que consiste en la separación magnética, contando con un imán a través del cual se recoge cualquier material ferroso presente, esa operación separa el acero presente en las llantas. Luego una criba o cernidor rotativo también llamado tamiz se encarga de separar la fibra de nylon de los granos de caucho, para poder pulverizar el caucho si se hace necesario ya sin presencia de acero, y fibra de nylon, llegando hasta un grano de 0.5mm. (Green Tire, 2014)

Caracterización: Se procedió a un análisis detallado para obtener una caracterización de cada uno de los elementos que conformaron los 2 tipos de mezclas a estudiar (mezcla patrón y mezcla con incorporación del triturado de restos de llantas), como es el caso de los agregados, el modificador y del ligante asfáltico. Todo ese análisis fue posible, haciendo uso de las normas y ensayos de laboratorio establecidos por AASHTO

Los ensayos usados en una mezcla convencional que se realizaron son los siguientes: Humedad Natural, gravedad específica, equivalente de arena, peso unitario, desgaste en la máquina de los ángeles, solidez de sulfatos, partículas planas y alargadas,

porcentaje de caras fracturadas y gradación. En donde en esta última se buscó la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo, comprobando los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 µm (No.200). Es importante señalar que para el material conocido como GCR a incorporar en la mezcla modificada se le realizó una gradación como a cualquier otro agregado, teniendo en cuenta que este fue su uso dentro de la mezcla.

Combinación de materiales: Después de haber obtenido una caracterización totalmente aceptable de cada uno de los materiales, se obtuvo el aval para poder realizar una mezcla asfáltica con ese tipo de agregados pétreos. Entonces fue posible iniciar con el proceso de combinación de agregados preestablecido, haciendo uso de las exigencias granulométricas de la norma MTC, la cual establece un rango de valores que se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla N° 6: Rango de Granulometría

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 -100	100	-
12,5 mm (1/2")	67- 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N° 40)	14 - 25	17- 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	8 -17	8 -17	9 -19
75 µm (N° 200)	04 - 8	04 - 8	05 - 10

Fuente MTC 2017

Preparación de muestra Patrón y de la mezcla modificada con incorporación de GCR para el análisis de la investigación: Las briquetas se compactaron mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes fue de 75 por cada cara de la briketa, recibiendo un total de 150 golpes.

Por otra parte, para la preparación de las briquetas con incorporación de GCR se realizó un procedimiento semejante, elaborando 3 briquetas para cada variación del % con contenido de GCR. Los valores porcentuales de GCR establecidos para esta investigación fueron de 1.5%, 2.5% y 3.5%, para un total de 9 briquetas con GCR.

Preparación de Briquetas

Equipos y materiales necesarios: Para la obtener una preparación y constitución de las muestras de la mezcla asfáltica fue indispensable hacer uso de los siguientes elementos de laboratorio:

- **Tamices:** Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados para la mezcla que se va a diseñar. Dispositivo para moldear probetas: Se utilizó un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde posee un diámetro interior de 101.6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76.2 mm (3");
- **Extractor de Probetas:** Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión.

Equipos para ensayos a Compresión

- **Mordazas y medidor de deformación:** Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") maquinado con exactitud. El medidor de deformación consiste en un deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0.25 mm (0.01").
- **Prensa:** Para la rotura de las probetas se empló una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8 mm

por minuto (2"/min.). su capacidad de carga mínima deberá ser de 40 kN. Medidor de la estabilidad: La resistencia de la probeta en el ensayo se midió con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 22.2 kN (2265 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 44.5 N (4.54 kgf) hasta 4.45 kN (454 kgf) y 111.2 N (11.4 kgf) hasta 22.2 kN (2265 kgf). Las deformaciones del anillo se mediaron con un deformímetro graduado en 0.0025 mm (0.0001").

- **Elementos de calefacción:** Para calentar los agregados, el material asfáltico, el conjunto de compactación y a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.

Para la realización de los ensayos de Laboratorio y su posterior análisis fue obligatorio el uso del siguiente listado de ecuaciones

Para la densidad del agregado fino se usará:

$$d = \frac{\text{Masa de Material}}{\text{Volumen Ocupado}} \quad (1)$$

Densidad agregado grueso:

A: Peso seco

B: Peso muestra saturada sumergida

C: Peso muestra saturada y superficialmente Seca

$$Dg = \frac{A}{C-B} \quad (2)$$

Densidad específica:

$$G \text{ Bulk agregado} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} \quad (3)$$

Donde P1, P2 son los porcentajes en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado. G1, G2, G3, es el peso específico de los materiales a los que corresponden las fracciones anteriormente mencionadas.

- Para el cálculo de la gravedad específica máxima teórica de la muestra para cada uno de los porcentajes de asfalto.

$$G_{\text{mas Agregados}} = \frac{100}{\frac{\% \text{Agregados}}{G_{\text{Agregados}}} + \frac{\% \text{Asfalto}}{G_{\text{Asfalto}}}} \quad (4)$$

Dónde: % agregados = 100 - % asfalto

- Luego la gravedad específica efectiva

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (5)$$

- Porcentaje de asfalto Absorbido:

$$P_{ba} = \frac{G_b(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb} \times G_{se}} \times 100 \quad (6)$$

- Volumen de briquetas:

$$\text{Volumen} = \text{Pes Superf. seco} - \text{Peso Sumergido} \quad (7)$$

- Porcentaje de Asfalto efectivo:

$$Pbe = Pb - \frac{Pba \times Ps}{100} \quad (8)$$

- Porcentaje de Vacíos:

$$VAM = 100 - \frac{Pmb \times Ps}{Gsb} \quad (9)$$

Donde Ps: Porcentaje de agregado respecto al peso de toda la mezcla

- Porcentaje de Vacíos de Aire:

$$Va = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (10)$$

- Porcentaje de vacíos lleno de ligante asfáltico:

$$VFA = \frac{VAM - Va}{VAM} \times 100 \quad (11)$$

Ensayos de laboratorio para determinar la estabilidad y flujo: Se colocaron las probetas en un baño de agua durante 30 minutos, manteniendo el baño o el horno a $60^\circ \pm 1^\circ \text{ C}$ ($140^\circ \pm 1.8^\circ \text{ F}$). Se retiraba la respectiva probeta del baño de agua y se colocaba centrada en la mordaza inferior; luego se montaba la mordaza superior con el medidor de deformación. Se aplicó posteriormente, la carga sobre la probeta con la prensa a una carga de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurría la falla, es decir cuando se alcanzó la máxima carga. Se anotó el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo en Kgf y el valor del flujo para cada una de las briquetas ensayadas en unidades de 0.001", llevadas posteriormente a mm. El valor total en kgf que se necesitó para producir la falla de cada muestra se registró como su valor de Estabilidad Marshall. Se anotó cada lectura en el medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Ese el valor del "flujo" para la probeta, expresado en mm, que indica la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. El procedimiento completo, a partir de la sacada

de la probeta del baño de agua, se debía completar en un período no mayor de 30 segundos.

3.1. Resultados de los Ensayo de Laboratorio del Asfalto convencional de la Av. Buenos Aires del distrito de Puente Piedra

Análisis Granulométrico: El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño.

Tabla N° 7: Análisis Granulométrico

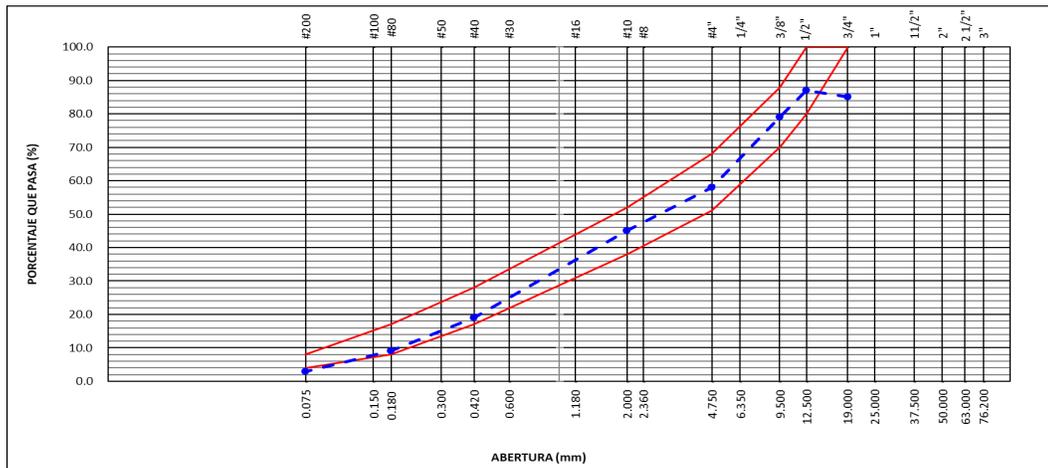
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)								
TAMIZ	ABERTURA	Peso	Porcentaje			Formula de trabajo	ESPECIFICACIÓN MAC-2	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ASTM	mm	Retenido	Retenido	Acumulado	Pasante			
3"	76.200							
2 1/2"	63.000							Peso total 7989.0 g
2"	50.000							Fracción finos : 0.0 g
1 1/2"	37.500							
1"	25.000							
3/4"	19.000				85.0		100 100	
1/2"	12.500	1032.2	12.9	12.9	87.1		80 100	
3/8"	9.500	634.5	7.9	20.9	79.1		70 88	
1/4"	6.350							
# 4	4.750	1695.2	21.2	42.1	57.9		51 68	Observaciones :
# 8	2.360							Según especificación técnica MTC EG-2013 (Sección 423)
# 10	2.000	1034.9	13.0	55.0	45.0		38 52	Pavimento de concreto asfáltico en caliente.
# 16	1.180							Mezcla agregados diseño asfalto MAC-2
# 30	0.600							
# 40	0.420	2066.9	25.9	80.9	19.1		17 28	Arena zarandeada 49.0 %
# 50	0.300		0.0		100.0			
# 100	0.150							Grava triturada 35.0 %
# 200	0.075	487.4	6.1	97.0	3.0		4 8	Cemento portland 1.0 %
>200		237.5	3.0	100.0				

Fuente: Propio

Curva Granulométrica: Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia

homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

Tabla N° 8: Curva Granulométrico



Fuente: Propio

Ensayos Marshall al Asfalto Convencional de la Av. Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra

Este método es aplicable sólo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm.

Ensayo Marshall (ASTM D1559) 4.5% C.A

Se realiza el ensayo con un 4.5% de contenido de cemento asfaltico

Tabla N° 9: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 4.5% C.A

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					40.19			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					54.36			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1190.8	1193.6	1195.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1193.7	1195.5	1198.6		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				689.7	690.1	689.3		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				504.0	505.4	509.3		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.363	2.362	2.347	2.357	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.553			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				7.5	7.5	8.1	7.7	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.748			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.45			
22	% de Asfalto Efectivo					3.12			
23	Relación Polvo/Asfalto					1.0			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.7	14.7	15.3	14.9	14
25	% Vacios llenos con C.A.				49.2	49.0	47.0	48.4	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				13.0	13.0	12.0	12.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1952	1886	1001		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				2030	1753	1001	1595	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				6248	5394	3338	4993	1700 - 4000

Fuente: Propio

Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.0% C.A

Se realiza el ensayo con un 5.0% de contenido de cemento asfáltico

Tabla N° 10: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.0% C.A

TAMCSES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.0			
2	% Grava > Nº4 en peso de la Mezcla					39.98			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					54.07			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1191.2	1191.3	1194.2		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60''(gr)				1193.2	1193.5	1196.7		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				690.2	693.1	692.2		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				503.0	500.4	504.5		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.368	2.381	2.367	2.372	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.523			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				6.1	5.6	6.2	6.0	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.735			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.28			
22	% de Asfalto Efectivo					3.79			
23	Relacion Filler/Betun					1.2			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.9	14.5	15.0	14.8	14
25	% Vacios llenos con C.A.				58.9	61.1	58.7	59.5	
26	Flujo 0,01*(0,25 mm)				13.0	14.0	14.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1383	1521	1561		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1438	1582	1623	1548	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4425	4519	4638	4527	1700 - 4000

Fuente: Propio

Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.5% C.A

Se realiza el ensayo con un 5.5% de contenido de cemento asfáltico

Tabla N° 11: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.5% C.A

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.77			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.79			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.94			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1192.9	1190.4	1192.9		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1194.9	1190.8	1194.6		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				694.0	694.0	693.7		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				501.0	496.8	500.9		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.381	2.396	2.382	2.386	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacíos = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				4.6	4.0	4.6	4.4	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.725			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.14			
22	% de Asfalto Efectivo					4.42			
23	Relacion Filler/Betun					1.4			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.9	14.4	14.9	14.7	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				69.2	72.2	69.3	70.2	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				14.0	15.0	14.0	14.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1336	1434	1282		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1389	1491	1333	1404	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3968	3976	3809	3918	1700 - 4000

Fuente: Propio

Ensayo Marshall (ASTM D1559) 5.5% C.A

Se realiza el ensayo con un 5.5% de contenido de cemento asfáltico

Tabla N° 12: Ensayo Marshall (ASTM D1559) 6.0% C.A

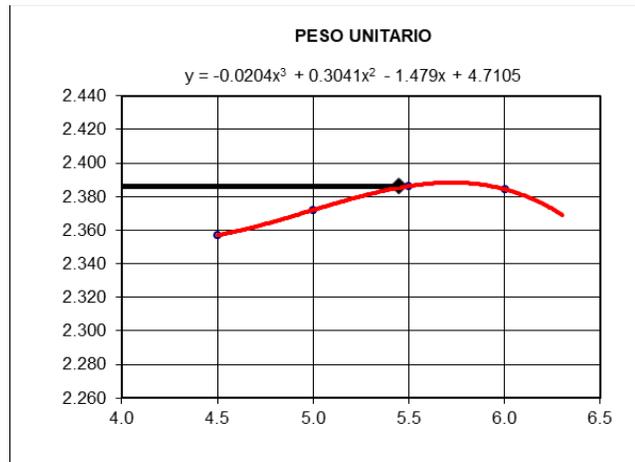
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.56			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.50			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.94			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1192.6	1191.9	1192.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1192.9	1192.1	1193.0		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				692.3	692.2	693.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				500.6	499.8	499.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.382	2.385	2.386	2.384	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.474			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				3.7	3.6	3.5	3.6	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.722			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.10			
22	% de Asfalto Efectivo					4.97			
23	Relacion Filler/Betun					1.6			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.3	15.2	15.2	15.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				75.8	76.2	76.6	76.2	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				16.0	15.0	15.0	15.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1336	1314	1327		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1389	1367	1380	1379	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3473	3645	3680	3599	1700 - 4000

Fuente: Propio

Determinación del Optimo de cemento Asfaltico, Curva de energía de Compactación constante

Peso Unitario

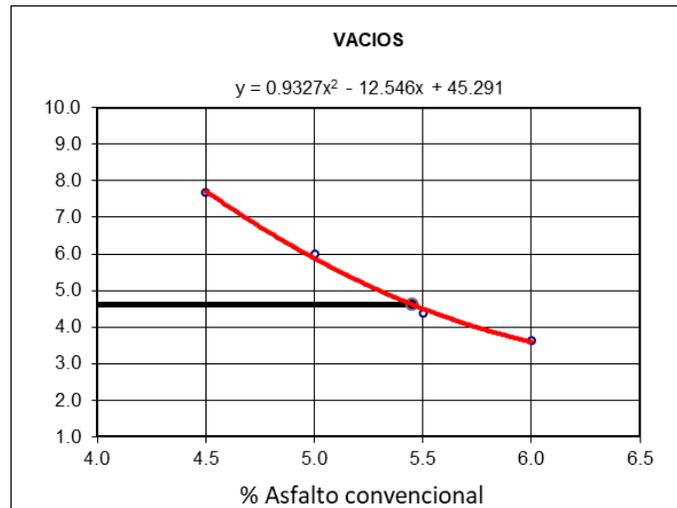
Tabla N° 13: Peso Unitario



Fuente: Propio

Vacios

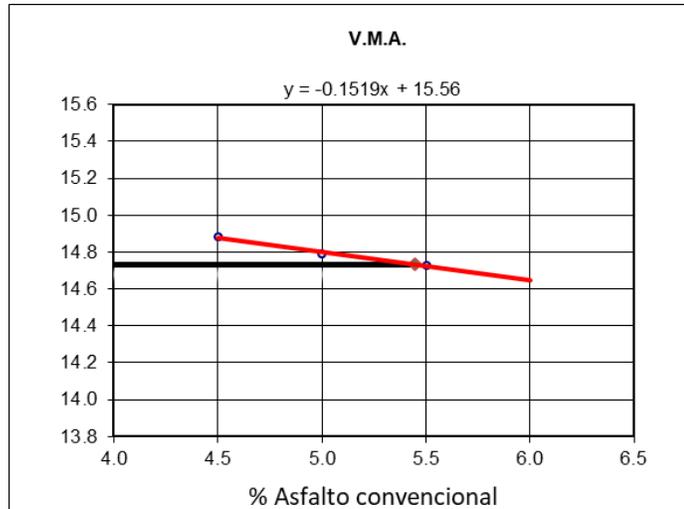
Tabla N° 14: Vacíos



Fuente: Propio

Valores Máximo Admisibles

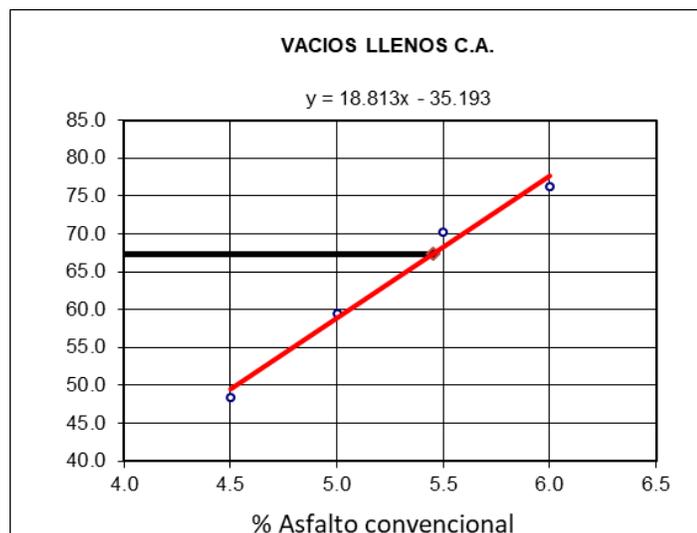
Tabla N° 15: V.M.A.



Fuente: Propio

Vacios Llenos Cemento Asfaltico

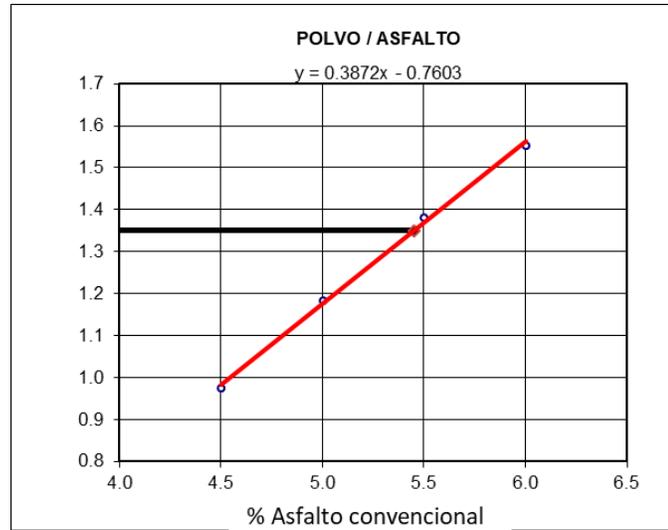
Tabla N° 16: Vacíos Llenos C.A.



Fuente: Propio

Polvo / Asfalto

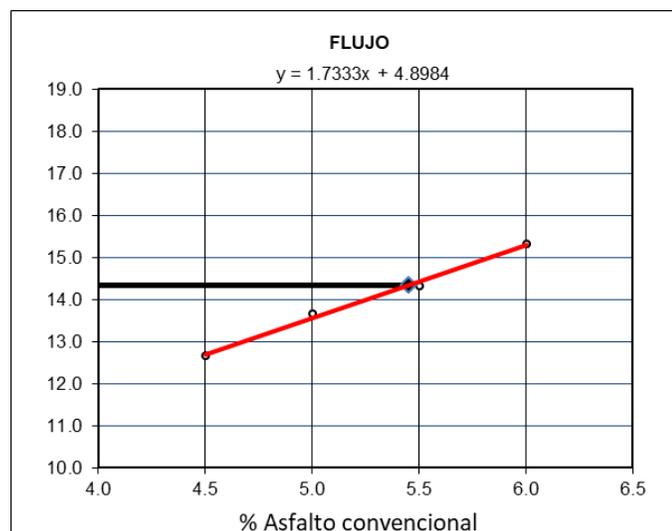
Tabla N° 17: Polvo / Asfalto



Fuente: Propio

Flujo

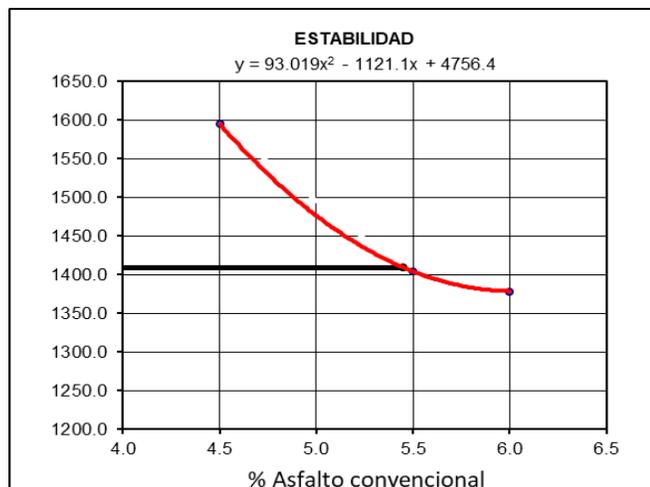
Tabla N° 18: Flujo



Fuente: Propio

Estabilidad

Tabla N° 19: Estabilidad



Fuente: Propio

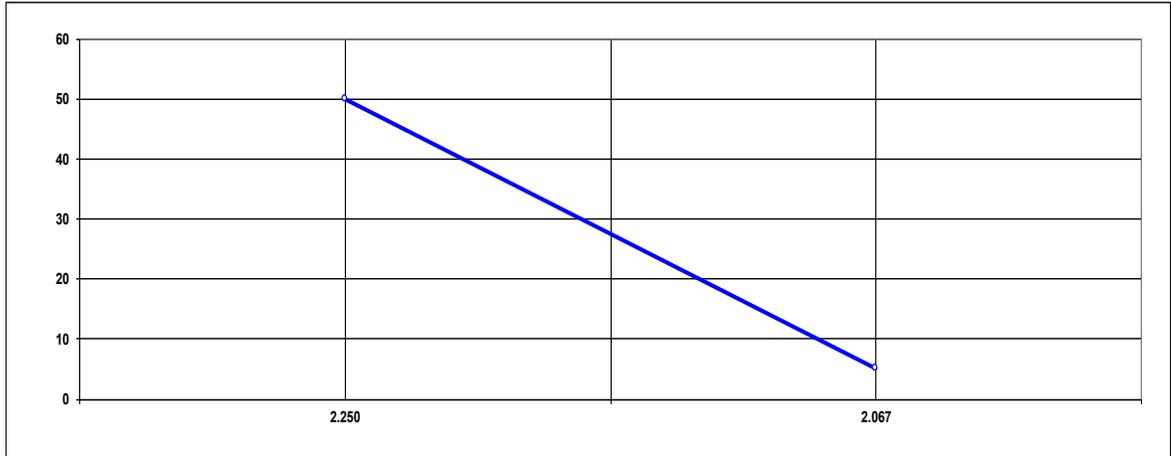
Características de la Determinación del Optimo de cemento Asfaltico

CARACTERISTICAS MARSHALL

GOLPES	75	75
% C. A.	5.45	
P. UNITARIO	2.386	
VACIOS	4.6	3 - 5
V.M.A.	14.7	14.0
V. LL.C.A.	67.3	
POLVO / ASFALTO	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	14	8 - 14
ESTABILIDAD	1409	8.15 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	3930	1700 - 4000

Índice de Compactibilidad

Tabla N° 20: Índice de Compactibilidad



Nº de Muestras	01	02	03	04
Nº de Golpes Marshall	50	50	5	5
1.- Peso Briqueta al Aire	1193.0	1185.1	1188.6	1189.9
2.- Peso Briqueta Saturada con Superf. Seca	1199.9	1190.2	1201.5	1201.6
3.- Peso por Desplazamiento	669.4	663.9	624.5	627.9
4.- Volumen de la Briqueta	530.5	526.3	577.0	573.8
5.- Peso Unitario (Gr./cc)	2.249	2.252	2.060	2.074
PROMEDIOS	2.250		2.067	

2.250	2.067
50	5

$$\frac{1}{0.183} = \text{GEB}(50) - \text{GEB}(5)$$

IC =	5.45
------	------

Fuente: Propio

Resistencia conservada (AASHTO T 283)

Tabla N° 21: Ensayo Resistencia Conservada (AASHTO T283)

N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	03	04	05	06
1	Diametro	10.15	10.17		10.15	10.15
2	Espesor	6.69	6.68		6.70	6.70
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.45	5.45		5.45	5.45
4	Peso Probeta al Aire	1189.0	1187.0		1187.0	1191.0
5	Peso de la Probeta Saturada (60°)	1190.0	1188.0		1188.0	1192.0
6	Peso de la Probeta en el Agua	680.0	678.0		678.0	679.0
7	Volumen de la Probeta	510.0	510.0		510.0	513.0
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.331	2.327		2.327	2.322
9	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)	6.6	6.7		6.7	7.0
10	Estabilidad sin corregir	276	289		221	228
11	Factor Estabilidad	1.00	1.00		1.00	1.00
12	Estabilidad corregida (kg)	276	289		221	228
13	Resistencia a la compresión	2.6	2.7			
14	Resistencia retenida	80	79			
15	Promedio Estabilidad (30 Minutos) (kg)	282				
16	Promedio Estabilidad (24 Horas) (kg)				225	
17	Resistencia conservada (%)				80	

Fuente: Propio

Gravedad Especifica Teórica Máxima (ASTM D2041)

Tabla N° 22: Ensayo Gravedad Especifica Teórica Máxima (ASTM D2041)

MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8190.0	8190.0	8190.0	8190.0	
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7720.0	7714.0	7708.0	7705.0	
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8920.0	8915.0	8911.0	8905.0	
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1200.0	1201.0	1203.0	1200.0	
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	470.0	476.0	482.0	485.0	
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.553	2.523	2.496	2.474	
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	

Fuente: Propio

Resumen de Diseño de Mezcla Por el Método Marshall

Tabla N° 23: Resumen de Diseño de Mezcla Por el Método Marshall

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.25	5.45	5.65	
PESO UNITARIO	kg/m ³	2.381	2.386	2.389	
VACIOS	%	5.1	4.6	4.2	3 - 5
V.M.A.	%	14.8	14.7	14.7	14
V. LL.C.A.	%	63.6	67.3	71.1	
POLVO / ASFALTO	%	1.3	1.3	1.4	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	14	14	15	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1434.5	1409.3	1391.6	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	4099.0	3929.8	3788.8	1700 - 4000
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Mpa		2.6		2.1
RESISTENCIA RETENIDA	%		80		75
RESISTENCIA CONSERVADA	%		80		80

Fuente: Propio

3.2. Ensayos Marshall al Asfalto convencional de la Av. Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra + los Gramos de Caucho Reciclado (GCR)

Análisis de Gramo de Caucho Reciclado (GCR) (ASTM C33): Teniendo como base la combinación de materiales de la muestra patrón, se dio inicio a la elaboración de la mezcla modificada con las incorporaciones de GCR. Para evitar cambios bruscos en el comportamiento granulométrico de la combinación inicial, se procedió a disminuir inicialmente el porcentaje de llenante mineral el cual tiene un valor preliminar de 5.45%; Todo esto se puede ver a continuación:

Tabla N° 24: Análisis de Gramo de Caucho Reciclado (GCR) (ASTM C33)

AGREGADO FINO (ASTM C33) - CAUCHO NORMAL							
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP"	ASTM "LIM INF"
4"	101.60 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.05 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.53 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
# 4	4.75 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	95.00	100.00
# 8	2.36 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	80.00	100.00
# 16	1.18 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	50.00	85.00
# 30	0.59 mm	23.1	4.39	4.39	95.61	25.00	60.00
# 50	0.30 mm	256.2	48.65	53.04	46.96	5.00	30.00
# 100	0.15 mm	221.4	42.04	95.08	4.92	0.00	10.00
# 200	0.07 mm	23.8	4.52	99.60	0.40	0.00	5.00
Fondo	0.01 mm	2.1	0.40	100.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propio

Características Físicas del GCR:

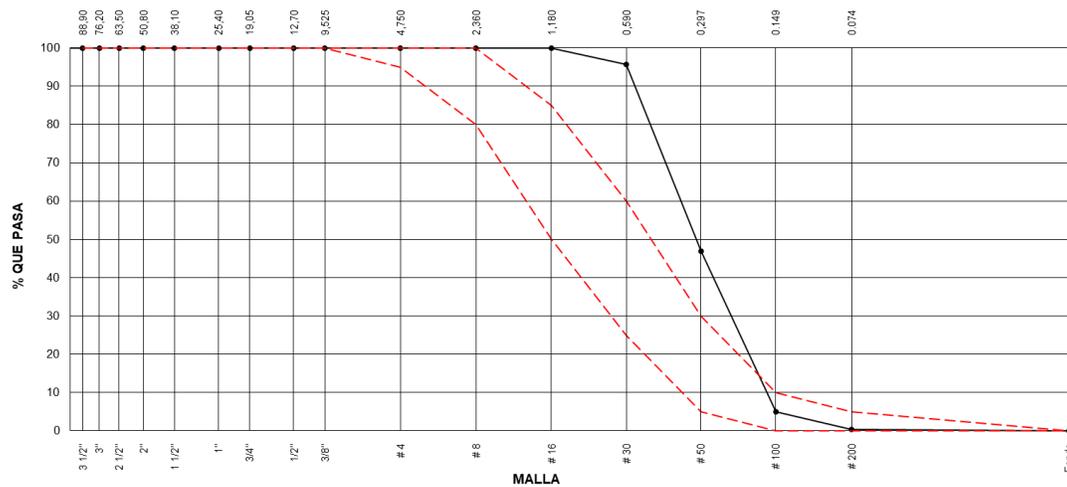
Tabla N° 25: Características Físicas de GCR

P. Especif. de Masa Seco (gr/cm ³)	0.818
P. Especif. de Masa SSS (gr/cm ³)	0.818
P. Especif. de Masa Aparente (gr/cm ³)	0.818
P. Unitario Compactado (kg/m ³)	528
P. Unitario Suelto (kg/m ³)	445
Humedad de absorción (%)	0.0
Tamaño Máximo	-
Tamaño Máximo Nominal	-
Módulo de Fineza	1.53
% < Malla N° 200 (0.75 μm)	0.00

Fuente: Propio

Análisis Granulométrico de GCR

Tabla N° 26: Análisis Granulométrico de GCR



Fuente: Propio

Porcentaje Optimo De Asfalto + 1.5% de Caucho

Tabla N° 27: Porcentaje Optimo De Asfalto + 1.5% de Caucho

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					53.82			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc					4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briketa cm								
12	Peso de la briketa al aire (gr)				1177.3	1179.0	1184.7		
13	Peso de la briketa al agua por 60 (gr)				1179.0	1180.3	1185.9		
14	Peso de la briketa desplazada (gr)				678.8	677.6	681.2		
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc) = (13-14)				500.2	502.6	504.7		
16	Peso especifico Bulk de la Briketa = (12/15)				2.354	2.346	2.348	2.349	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				5.7	6.0	5.9	5.9	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.650			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.03			
22	% de Asfalto Efectivo					4.48			
23	Relacion Filler/Betun					1.40			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				16.0	16.3	16.2	16.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				64.4	63.1	63.4	63.6	
26	Flujo 0,01" (0,25 mm)				16.0	16.0	15.0	15.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1497	1484	1527		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1557	1544	1588	1563	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3892	3859	4235	3996	1700 - 4000

Fuente: Propio

Porcentaje Optimo De Asfalto + 2.5% de Caucho

Tabla N° 28: Porcentaje Optimo De Asfalto + 2.5% de Caucho

TAMCOES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					52.87			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					1.89			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc					4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueeta cm								
12	Peso de la briqueeta al aire (gr)				1199.1	1192.5	1197.1		
13	Peso de la briqueeta al agua por 60° (gr)				1200.1	1193.8	1198.6		
14	Peso de la briqueeta desplazada (gr)				695.5	693.5	694.8		
15	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (13-14)				504.6	500.3	503.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (12/15)				2.376	2.384	2.376	2.379	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				4.8	4.5	4.8	4.7	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.660			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.89			
22	% de Asfalto Efectivo					4.61			
23	Relacion Filler/Betun					1.44			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				15.5	15.3	15.5	15.4	14
25	% Vacios llenos con C.A.				69.2	70.6	69.1	69.6	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				14.0	15.0	14.0	14.3	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1500	1548	1539		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1560	1610	1601	1590	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4458	4293	4574	4442	1700 - 4000

Fuente: Propio

Porcentaje Optimo De Asfalto + 3.5% de Caucho

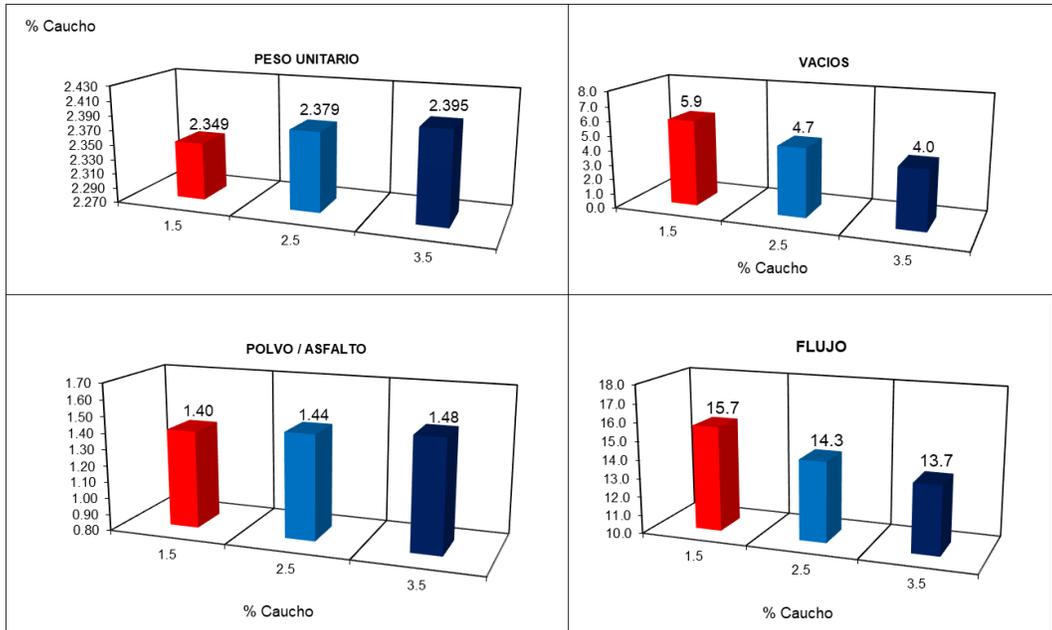
Tabla N° 29: Porcentaje Optimo De Asfalto + 3.5% de Caucho

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	85.0	87.1	79.1	57.9	45.0	19.1	9.1	3.2
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					51.92			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					2.84			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc					4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1196.1	1210.2	1197.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1197.7	1211.5	1198.1		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				700.1	704.1	698.5		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				497.6	507.4	499.6		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.404	2.385	2.396	2.395	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.496			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				3.7	4.4	4.0	4.0	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.670			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.74			
22	% de Asfalto Efectivo					4.75			
23	Relacion Filler/Betun					1.48			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.9	15.5	15.1	15.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.				75.2	71.4	73.7	73.4	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				14.0	14.0	13.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1558	1536	1546		
28	Factor de estabilidad				1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1620	1597	1608	1608	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4630	4563	4946	4713	1700 - 4000

Fuente: Propio

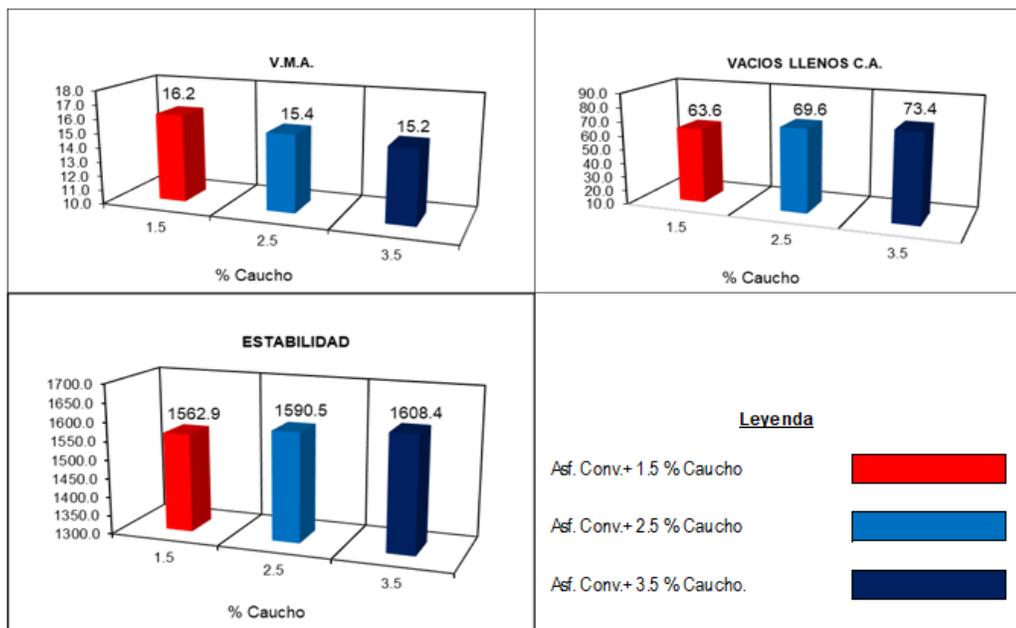
Comparativo Variando el % de GCR (Grafico de Barras)

Tabla N° 30: Comparativo Variando el % de GCR (Grafico de Barras)



Fuente: Propio

Tabla N° 31: Comparativo Variando el % de GCR (Grafico de Barras)



Fuente: Propio

Resumen de Los Ensayos Marshall de Asfalto Modificado con GCR

Tabla N° 32: Resumen de Los Ensayos Marshall de Asfalto Modificado con GCR

Parámetros de diseño					Especificación EG 2013
Caucho	%	1.5	2.5	3.0	
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.45	5.45	5.45	
PESO UNITARIO	kg/m ³	2.349	2.379	2.395	
VACIOS	%	5.9	4.7	4.0	3 - 5
V.M.A.	%	16.2	15.4	15.2	14
V. L.L.C.A.	%	63.6	69.6	73.4	
POLVO / ASFALTO	%	1.4	1.4	1.5	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	15.7	14.3	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1562.9	1590.5	1608.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3990.5	4438.5	4707.4	1700 - 4000

Fuente: Propio

Comparación de Resultados: Con el fin de analizar y comparar resultados de un producto que se maneja en las carreteras de la región y el modificado para esta investigación como se había expresado con anterioridad; al tomar la mezcla patrón con un 5.45 % de asfalto optimo, se realizó una comparación con los valores más representativos para las estabilidades y flujos obtenidos para ambos casos, resaltando los resultados obtenidos para las mezclas con incorporación de GCR en un 1.5% y 2.5 % los cuales fueron los únicos satisfactorios. Todo esto con el fin de identificar las variaciones de estabilidad entre diferentes proporciones y dosificaciones de los agregados con respecto a la muestra patrón. En este caso solo se tomaron los dos primeros porcentajes de mezcla modificada porque los valores superiores a 1.5% en la incorporación de GCR presentan altos rangos en la perdida de la estabilidad.

Es posible ver que la adición de grano de caucho a medida que se aumenta su contenido se va ejerciendo una pérdida de estabilidad sobre la mezcla asfáltica. Para definir cuál de los valores de estabilidad fue el óptima se tomó como referencia simplemente la ecuación de correlación de ambas graficas; obteniendo mejores resultados con relación al porcentaje de incorporación de GCR del 1.5%.

IV. DISCUSIÓN

Discusión de Resultados Obtenidos: Se observó y analizó que las partículas de gramo de caucho reciclado en proporciones y tamaños determinados, cumplen como agregado en la medición de la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas, porque al proporcionar dicho material en la elaboración de mezclas asfálticas satisface con los parámetros establecidos por las normas del MTC que las rigen.

La influencia que trae la incorporación del uso del triturado de llantas como un agregado de la mezcla asfáltica, un porcentaje de 5.45 % de asfalto y una dosificación preestablecida trajo el aumento en su volumen a medida que se introduce este nuevo material, proporcionando un incremento en los vacíos de los agregados y además volviendo por lo tanto un pavimento mucho más poroso, todo esto gracias a la mezcla con el ligante asfáltico y absorbiendo gran parte de este material dejando ver que se necesitaría un poco de más asfalto para cumplir con recubrimiento total de cada uno de los materiales que conforman la mezcla.

Debido a los constantes residuos que generan el caucho de llanta, el presente trabajo buscó implementar los cauchos reciclados como material de agregado, esto traerá consigo la disminución de contaminación de dicho material, por lo consiguiente se contribuye al reciclado de estos materiales y darle un uso mas

La resistencia a la compresión de las muestras (briquetas) fue disminuyendo al incrementarse la incorporación de las partículas de gramo de caucho reciclado, esto se debió a que dicho material generaba mayores porcentajes de vacíos en las partículas de agregado mineral lo cual no permitía una buena compactación de la muestra.

V. CONCLUSIONES

Conclusiones de los Resultados Obtenidas: Fue establecido un procedimiento de diseño con el uso de un 5.45% de asfalto 20% de agregado pasa 3/4", 35% triturado pasa 1/2", 20% de arena lavada zarandeada, otro 20% en arena triturada y un 1.5 % de GCR, al cumplir con los valores de estabilidad y flujo establecidos por la norma MTC

Se identificó que solo las muestras (briquetas) con el 1.5% y 2.0% de caucho reciclado cumplieron con los valores superiores de 900kg de estabilidad.

El valor de la Resistencia a la compresión de las muestras (briquetas) disminuyen con respecto al incrementarse el porcentaje de GCR.

Solo los flujos de las muestras con % de GCR de 1.5% fue aceptada al cumplir con los parámetros del MTC.

El porcentaje de vacíos de las muestras (briquetas) se incrementado a medida que fue aumentada el % de GCR.

VI. RECOMENDACIONES

Recomendaciones de los Resultados Obtenidos: Se presentó una limitación con algunas briquetas, que al parecer no fueron compactadas lo suficientemente, ocasionando un deterioro después de ser compactadas, gracias a la consistencia y propiedad elástica que le proporciono el GCR, por lo que se hizo necesario ser repetidas.

Una de las recomendaciones para el completo cumplimiento de los objetivos y evitar inconvenientes en el desarrollo posterior de la investigación, es el de realizar la compactación de cada una de las briquetas de la manera más perfecta posible, teniendo en cuenta que el GCR es un material mucho más flexible que los demás agregados y proporciona un mayor volumen a la briketa ocasionando una permeabilidad más temprana al momento de ser sumergidas en el baño María para luego ensayarlas en la maquina Marshall.

Otra recomendación muy importante es la del mezclado de los materiales después de ser incorporado el GCR, el cual absorbe en alguna medida el Ligante asfáltico y deja sin un total recubrimiento a algunos agregados. Se debe mezclar hasta que se tenga la certeza que todos los agregados pétreos estén completamente recubiertos por el asfalto.

VIII. BIBLIOGRAFÍAS

BIBLIOGRAFÍA

- Ramírez Palma N.I. (2006) Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco, Santiago de Chile: (S.N., 2006)
- Fajardo Chancay y Vergaray Huaman (2014). Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas, Lima, Perú: (S.N., 2014)
- Garcia Eiler L.M (2009), Reología de ligantes asfálticos mediante el viscosímetro brookfield: Medellín, Colombia: (S.N.,2009)
- SANCHEZ, A., & F. BELMONTE. (2009). Análisis de la reutilización de residuos procedentes de la industria del Silestone en la fabricación de mezclas asfálticas. Granada - España: (S.N.,2009)
- RAFAEL ALEXANDER CRESPIAN MOLINA, ISMAEL ERNESTO STA CRUZ JVEL, & PABLO ALBERTO TORRES. (2012). aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificacion grado de desempeño. San Salvador. (S.N.,2012)
- Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 12, p. 125-137. Diciembre 2009, Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad, temperatura: Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia) (S.N., 2009)

- HUMPIRI, Katia. Análisis Superficial de Pavimentos Flexibles para el Mantenimiento de Vías en la Región de Puno [en línea]. Tesis (grado de ingeniero civil), 2015. [consultado 2 Julio 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/426/P31-003.pdf>
- HUAMAN, Nestor. La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú [en línea]. Tesis (grado de ingeniería de Transportes), 2011. [consultado 2 Julio 2018]. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman_gn.pdf
- MIRO, R; PEREZ, F Y OLIVIER, M. Evaluación de la Resistencia A Las Deformaciones Plásticas de Mezclas Formuladas A Partir De La Normativa Española Y Francesa [en línea]. España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2010. [consultado 2 Julio 2018]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2854/miro_carreteras_7.pdf
- RONDON, Hugo y REYES, Fredy. Deformación Permanente de Materiales Granulares y Pavimento Flexible: Estado del Conocimiento [en línea]. Colombia: Revista Ingeniería Universidad de Medellín, 2009. [consultado 2 Julio 2018]. Disponible en: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/247/234>
- MORENO, Francisco. Deformación Permanente en Mezcla Asfáltica; Efecto de la reología del los Asfaltos, de la Temperatura y las Condiciones de Carga [en línea]. Tesis (Doctorado en Ingeniería), Argentina: Universidad de la Plata, 2011. [consultado 2 Julio 2018]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1457/2/_Deformaciones_permanentes_en_mezclas_asf%C3%A1lticas.pdf?sequence=7

RICO, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilo. Ingeniería De Suelos En Las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles Y Autopistas [en línea]. 1ra ed. México: Noriega Editores, 2005 [fecha de consulta 19 mayo 2017]. ISBN: 9681800540 Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?isbn=9681800540>

MEJÍA, Elías. Técnicas e Instrumento de Investigación [en línea]. 1ra ed. Lima: Centro de Producción Editorial e Imprenta de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005. [fecha de consulta 10 junio 2017] ISBN: 99728340805. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/000901135d4fadad0b8e7>

MALHOTRA, Naresh. Investigación de Mercados: Un enfoque Aplicado [en línea]. 4ta ed. Mexico: Pearson Educación de Mexico, S.A., 2004. [fecha de consulta 14 junio 2017] ISBN: 9702604915. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?isbn=9702604915>

Real Academia Española [en línea]. [fecha de consulta 10 junio 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?w=diccionario>

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso [en línea]. [fecha de consulta 16 junio 2017]. Disponible en: http://biblioteca.ucv.cl/site/servicios/documentos/metodologias_investigacion.pdf

SALKIND, Neil. Métodos de Investigación [en línea]. 3ra ed. México: Prentice Hall Hispanoamérica. S.A., 1999. [fecha de consulta 6 junio 2017] ISBN: 9701702344. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?isbn=9701702344>

IX. ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

Título: “DEFORMACION DE LA CARPETA ASFALTICA Y EL DETERIORO DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA BUENOS AIRES DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA – 2018”

Tabla N° 33: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Existe una relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?	Determinar la influencia de la incorporación del Caucho, sobre la deformación de la carpeta asfáltica y evitar el deterioro del pavimento con las propiedades físicas de mezclas asfálticas, mediante la metodología Marshall, para establecer su uso en el diseño y la construcción de pavimentos flexibles en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	Existe una relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	DEFORMACION DE LA CARPETA ASFALTICA	Tipos de deformación Causa de la deformación	Deformación permanente por la subrasante débil. Deformación por la mezcla asfáltica débil. Deformación Plástica de la mezcla asfáltica Deformación Permanente por Uso	MÉTODO: Científico TIPO DE INVESTIGACION: Aplicada NIVEL: Descriptivo Explicativo. DISEÑO: No experimental POBLACION: Las avenidas principales del Distrito de Puente Piedra MUESTREO: No probabilístico intensional.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS				
¿Como se presenta la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?	Identificar la deformación de la carpeta asfáltica y asfáltica la incorporación del caucho con respecto en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y con la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018				
¿Cómo se presenta el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?	Identificar la deformación de la carpeta asfáltica y asfáltica la incorporación del caucho con respecto a la Ahuellamiento por fallas en la subrasante en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el Ahuellamiento por fallas en la subrasante en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	EL DETERIORO DEL PAVIMENTO	Fisuras y grietas Deterioro Superficial	Fisuras y grietas por fatiga Fisura y grietas en bloques	MUESTRA: la Av. Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra INSTRUMENTOS: Ficha técnica
¿Cuál es la relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con el deterioro del pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018?	Identificar la deformación de la carpeta y asfáltica la incorporación del caucho con respecto a la Deformación Permanente por Uso en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018	Existe relación entre la deformación de la carpeta asfáltica y la incorporación del caucho con la Deformación Permanente por Uso en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018				

Fuente: Propio

Anexo 2: Fotos de Ensayos de Laboratorio



Fuente: Propio



Fuente: Propio



Fuente: Propio

Anexo 3: Certificación de Laboratorio

	INFORME	Código	AE-FO-176
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
		Fecha	30-04-2018
		Página	10 de 20

PROYECTO : Deformación de la carpeta asfáltica y el deterioro del pavimento en la Av. Buenos Aires en el distrito de Puente Piedra - 2018 REGISTRO N°: IGC19-LEM-530-02
SOLICITANTE : José Rikets Estacio Santamaría REALIZADO POR : R. Leyva
CLIENTE : José Rikets Estacio Santamaría REVISADO POR : J. Gutiérrez
UBICACIÓN DE PROYECTO : Realizado en las instalaciones de INGEOCONTROL FECHA DE ENSAYO : 07/12/19

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Identificación : Mezcla de agregados
Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO (RESUMEN)

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : PEN 80 / 70
 % óptimo de asfalto residual : 5.48 %

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño	-0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.25	5.45	5.65	
PESO UNITARIO kg/m ³	2.381	2.386	2.389	
VACIOS %	5.1	4.6	4.2	3 - 5
V.M.A. %	14.8	14.7	14.7	14
V. LL.C.A. %	63.6	67.3	71.1	
POLVO / ASFALTO %	1.3	1.3	1.4	0.6 - 1.3
FLUJO mm	14	14	15	8 - 14
ESTABILIDAD kN	1434.5	1409.3	1391.6	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO kg/cm	4099.0	3929.8	3788.8	1700 - 4000
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa		2.6		2.1
RESISTENCIA RETENIDA %		80		75
RESISTENCIA CONSERVADA %		80		80

INGEOCONTROL SAC					
TECNICO LEM	D:	JEFE LEM	D:	CQC - LEM	D:
Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:
	A:	 Neemi C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	A:	 Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	A:

	INFORME	Código	AE-FO-176
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
		Fecha	30-04-2018
		Página	6 de 6

PROYECTO : Deformación de la carpeta asfáltica y el deterioro del pavimento en la Av. Buenos Aires en el distrito de Puente Piedra - 2018 REGISTRO N°: IGC19-LEM-530-03
 SOLICITANTE : José Ríkels Estacio Santamaría REALIZADO POR : R. Leyva
 CLIENTE : José Ríkels Estacio Santamaría REVISADO POR : J. Gutiérrez
 UBICACIÓN DE PROYECTO : Realizado en las Instalaciones de INGEOCONTROL FECHA DE ENSAYO : 07/12/19

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : Mezcla de agregados
 Descripción : Asfalto convencional + Caucho

**DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO
(RESUMEN)**

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : PEN 60 / 70
 % optimo de asfalto residual : 5.45 %

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño				Especificación EG 2013
Caucho %	1.5	2.5	3.0	
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.45	5.45	5.45	
PESO UNITARIO kg/m3	2.349	2.379	2.396	
VACIOS %	5.9	4.7	4.0	3 - 5
V.M.A. %	16.2	15.4	15.2	14
V. LL.C.A. %	63.6	69.6	73.4	
POLVO / ASFALTO %	1.4	1.4	1.5	0.6 - 1.3
FLUJO mm	15.7	14.3	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD kN	1562.9	1590.5	1608.4	8.15
ESTABILIDAD/ FLUJO kg/cm	3990.5	4438.6	4707.4	1700 - 4000

INGEOCONTROL SAC					
TECNICO LEM Nombre y firma:  	D:	JEFE LEM Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196026 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.S	D:	CQC - LEM Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.S	D:
M:		M:		M:	
A:		A:		A:	

	INFORME		Código	AE-FO-176
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
			Fecha	30-04-2018
			Página	9 de 20

PROYECTO : Deformación de la carpeta asfáltica y el deterioro del pavimento en la Av. Buenos Aires en el distrito de Puente Piedra - 2018
 SOLICITANTE : José Rikets Estacio Santamaría
 CLIENTE : José Rikets Estacio Santamaría
 UBICACIÓN DE PROYECTO : Lima

REGISTRO N°: IGC19-LEM-530-02
 REALIZADO POR : R. Leyva
 REVISADO POR : J. Gutiérrez
 FECHA DE ENSAYO : 07/12/19

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : Mezcla de agregados
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8190.0	8190.0	8190.0	8190.0	
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7720.0	7714.0	7708.0	7705.0	
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8920.0	8915.0	8911.0	8905.0	
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1200.0	1201.0	1203.0	1200.0	
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	470.0	476.0	482.0	485.0	
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.553	2.523	2.496	2.474	
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	

Observaciones :



INGEOCONTROL SAC			
TECNICO LEM	D:	JEFE LEM	D:
Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:
	A:	 Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 195029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	A:
		 Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	

Anexo 4: Ficha De Recopilación De Datos

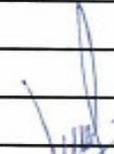
CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
Ficha de recopilación de datos				
	PROYECTO	"Deformación de la Carpeta Asfáltica y el Deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018"		
	AUTOR	Estacio Santamaria José Rikets		
I	INFORMACIÓN GENERAL			
	Región	Lima	Altitud	150 m.s.n.m
	Provincia	Lima	Coordenada	11°51'52.46"S
	Distrito	Puente Piedra		77° 4'44.63"O
II	ENSAYOS DE LABORATORIO			
	Extraccion de Nucleos de Carpeta Asfaltica			
	Diseño de MAC incorporando caucho al 1.5 %, incluye ensayos fisicos en los agregados			
II.1	Control de calidad de mezclas bituminosas			
	Estabilidad			
	Flujo			
	Rice			
	Densidad			
DATOS DEL PROFESIONAL				
	APELLIDOS Y NOMBRE	TELLO QUISPE CARLOS ENRIQUE		
	PROFESIÓN	ING. CIVIL		
	REGISTRO CIP N°	160074		
	E-MAIL	COEMTELLO		
	TELEFONO	942029670		



FIRMA Y DNI
CARLOS ENRIQUE
TELLO QUISPE
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 160074

CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Ficha de recopilación de datos				
	PROYECTO	"Deformación de la Carpeta Asfáltica y el Deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018"		
	AUTOR	Estacio Santamaria José Rikets		
I	INFORMACIÓN GENERAL			
	Región	Lima	Altitud	150 m.s.n.m
	Provincia	Lima	Coordenada	11°51'52.46"S
	Distrito	Puente Piedra		77° 4'44.63"O
II	ENSAYOS DE LABORATORIO			
	Extraccion de Nucleos de Carpeta Asfaltica			
	Diseño de MAC incorporando caucho al 1.5 %, incluye ensayos fisicos en los agregados			
II.1	Control de calidad de mezclas bituminosas			
	Estabilidad			
	Flujo			
	Rice			
	Densidad			
DATOS DEL PROFESIONAL				
	APELLIDOS Y NOMBRE	Arriaga Diaz Javier Eduardo		
	PROFESIÓN	Ing. Civil		
	REGISTRO CIP N°	71180		
	E-MAIL			
	TELEFONO			


JAVIER E. ARRIAGA DIAZ
 ING. CIVIL
 Reg. CIP. 71180

FIRMA Y DNI

CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Ficha de recopilación de datos				
	PROYECTO	"Deformación de la Carpeta Asfáltica y el Deterioro del Pavimento en la Avenida Buenos Aires del Distrito de Puente Piedra – 2018"		
	AUTOR	Estacio Santamaria José Rikets		
I	INFORMACIÓN GENERAL			
	Región	Lima	Altitud	150 m.s.n.m
	Provincia	Lima	Coordenada	11°51'52.46"S 77° 4'44.63"O
	Distrito	Puente Piedra		
II	ENSAYOS DE LABORATORIO			
	Extraccion de Nucleos de Carpeta Asfaltica			
	Diseño de MAC incorporando caucho al 1.5 %, incluye ensayos fisicos en los agregados			
II.1	Control de calidad de mezclas bituminosas			
	Estabilidad			
	Flujo			
	Rice			
	Densidad			
DATOS DEL PROFESIONAL				
	APELLIDOS Y NOMBRE	Padilla Piedra Santos R.		
	PROFESIÓN	ING. civil		
	REGISTRO CIP N°	51630		
	E-MAIL			
	TELEFONO	941724761		


 SANTOS RICARDO PADILLA PICHÉRI
 INGENIERO CIVIL
 CIP 51630

FIRMA Y DNI