



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Influencia del tamaño de partículas de hule reciclado en las propiedades  
mecánicas del pavimento asfáltico modificado,  
Nuevo Chimbote - 2018”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Jhan Carlo VALVERDE VALDERRAMA

**ASESOR:**

Mgr. Gonzalo Hugo DÍAZ GARCÍA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura vial

CHIMBOTE – PERÚ

2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don(a) VALVERDE VALDERRAMA, JHAN CARLO cuyo título es: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE - 2018

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el/los estudiante(s), otorgándole(s) el calificativo de: 1.6.....(número) .....DIECI SEIS.....(letras).

Chimbote, miércoles, 11 de julio de 2018



.....  
Dr. CERNA CHAVEZ RIGOBERTO

PRESIDENTE



.....  
Mgtr. DÍAZ GARCÍA GONZALO HUGO

SECRETARIO



.....  
Mgtr. SOLAR JARA MIGUEL ANGEL

VOCAL



Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	--	--------	-----------

## **DEDICATORIA**

A Dios al que me regalo la vida, sabiduría, fuerzas y así poder tener una gran oportunidad de concluir mi meta planeada para lograr mi gran objetivo.

A mis padres Marco Valverde Velásquez y Raquel Valderrama Alayo, las personas más trascendentales de mi vida, que me impulsaron a luchar por mis objetivos deseados.

A Nuestros Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, porque ellos nos brindaron la base primordial de conocimientos y respaldo para tener una excelente formación como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme acompañado en el trayecto de mi formación Profesional, dándome fortaleza, firmeza y tenacidad para poder alcanzar ser un profesional exitoso y así nunca desistir del proyecto.

Gracias a la Universidad César Vallejo, por permitirme formarme en una gran casa de estudios prestigiosa y tener unos excelentes Docentes con mucha ética y valores en cada clase que nos proporcionaban y nos orientaban.

Agradezco a mi asesor, el Ing. Gonzalo Hugo Díaz García, por hacerme un alumno con moral, instruyéndome paso a paso como seguir con mi plan de Investigación sin quedarme atrás y apoyándome en todas las interrogantes que se presentaban a través de la indagación de nueva información.

Para concluir dar las gracias ampliamente a mis padres quienes persistieron incondicionalmente acompañándome, avalándome económicamente y gracias a ellos por hacer posible mi deseo brindándome la oportunidad de tener una excelente educación en todo el lapso de estos 5 años de formación académica de mi carrera Profesional.



## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Jhan Carlo Valverde Valderrama con DNI N° 76807851, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Nuevo Chimbote, 11 de Julio del 2018



---

Jhan Carlo Valverde Valderrama

D.N.I N° 76807851

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada **“Influencia del tamaño de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico, Nuevo Chimbote – 2018”**, con el propósito de determinar la influencia del hule reciclado en las propiedades iniciando en el cemento asfáltico para luego determinar su influencia en las propiedades de estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas. La presente tesis se desarrolla mediante capítulos que a continuación se especifican:

En el capítulo I, en la introducción se expone la realidad problemática, los trabajos previos que nos aportan apoyo y sostén para nuestra investigación, así como también temas relacionados a la presente investigación, y continuamente se presenta la formulación del problema, hipótesis, así mismo se justifica el estudio que se está desarrollando, y terminando la sección con los objetivos, mencionando el general y los específicos. El capítulo II, comprende el Método donde se describe el diseño de investigación, las variables y su operacionalización, así como también la población, la muestra, la técnica e instrumentos de recolección de datos, acompañado de la validez y confiabilidad. En el capítulo III, se realizaron los análisis y presentación de resultados por medio de los objetivos planteados con anterioridad, los cuales se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio. Y por último se elabora la discusión de los resultados adquiridos para vincularlo con la teoría y trabajos previos mencionados en la introducción. Finalizando la presente investigación con las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1. Realidad Problemática .....	11
1.2. Trabajos previos.....	13
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	16
1.3.1. Partículas de hule reciclado .....	16
1.3.1.1. Polímeros .....	16
1.3.1.2. Compatibilidad del polímero con el asfalto.....	16
1.3.1.3. Hule reciclado de llanta.....	17
1.3.1.4. Procesos para la obtención del hule molido.....	18
1.3.1.5. Propiedades típicas de los compuestos del hule de llanta .....	19
1.3.1.6. Composición química de las llantas .....	19
1.3.1.7. Aplicación de granos de hule en el asfalto:.....	21
1.3.1.8. Interacción del caucho y el betún asfáltico.....	22
1.3.2. Asfalto .....	26
1.3.2.1. Composición Química.....	26
1.3.2.2. Interacción química de los componentes del asfalto .....	28
1.3.2.3. Tipos de asfaltos.....	30
1.3.2.4. Propiedades mecánicas y ensayos para caracterizarlos.....	31
1.3.2.4.1. Ensayo de penetración .....	31
1.3.2.4.2. Punto de ablandamiento .....	32
1.3.2.4.3. Recuperación elástica .....	32
1.3.2.4.4. Estabilidad y fluencia .....	33
1.3.3. Elaboración de Mezclas bituminosas por el método Marshall.....	33
1.3.3.1. Fabricación de las briquetas de ensayo.....	33
1.3.4. Asfaltos modificados .....	34
1.3.4.1. Agentes modificadores del asfalto .....	35
1.3.4.2. Variables que afectan la interacción del caucho y asfalto .....	36

1.4. Formulación de problema.....	37
1.5. Justificación del estudio.....	37
1.6. Hipótesis.....	38
1.7. Objetivos.....	38
II. MÉTODO .....	40
2.1. Diseño de Investigación.....	40
2.2. Variables, operacionalización.....	40
2.3. Población y muestra .....	42
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	43
2.4.1. Técnica: .....	43
2.4.2. Instrumento: .....	43
2.4.3. Validez y confiabilidad del instrumento:.....	44
2.5. Método de análisis de datos .....	51
2.6. Aspectos éticos .....	51
III. RESULTADOS.....	52
3.1. Caracterización de las partículas de hule reciclado .....	52
3.2. Determinación del porcentaje de partículas de hule reciclado .....	57
3.3. Elaboración de mezclas asfálticas.....	70
3.4. Resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.....	73
3.5. Análisis de resultados sobre la influencia de las adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento con asfalto modificado en comparación con las propiedades del pavimento asfáltico tradicional. ....	78
IV. DISCUSIÓN .....	82
V. CONCLUSIONES .....	88
VI. RECOMENDACIONES .....	90
VII. REFERENCIAS .....	91
VIII. ANEXOS.....	94

## RESUMEN

La presente investigación está orientada en determinar la “Influencia del tamaño de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, Nuevo Chimbote - 2018”. Para lo cual se evaluó primero 06 muestras de cemento asfáltico modificado con adiciones de hule reciclado de 10%, 15% y 20% en el asfalto, el hule fue triturado por máquinas de molido de caucho en granulometría de 0.50mm-2.85mm aplicando las normas internacionales como la ASTM D-6114 para su caracterización por vía húmeda. Seguidamente se analizaron las mezclas asfálticas modificadas en caliente con el Método Marshall con los porcentajes que mejor respuesta mecánica obtuvieron.

Así mismo se hizo uso del método No experimental para la obtención de resultados y el tipo de investigación fue Correlacional. La población y muestra se determinó que está conformada por el cemento asfáltico PEN 60-70 (15 litros) en la primera etapa de modificación por vía húmeda y por un total de 36 briquetas de asfalto para la segunda etapa de elaboración de las mezclas asfálticas modificadas, aplicándose los protocolos de laboratorio para los ensayos de Penetración (MTC E-304), Punto de ablandamiento (MTC E-307) y Recuperación elástica (MTC E-320) dentro de los cuales se evaluó consistencia, susceptibilidad térmica y grado de recuperación elástica, para luego analizar el comportamiento del pavimento asfáltico antes cargas de tránsito (Estabilidad) y la deformación adquirida (Flujo) según la norma del MTC E-504.

Concluyendo que el tamaño de partículas y el porcentaje de hule reciclado que mayor influencia positiva tienen reflejado en buenos resultados sobre las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico es con el diámetro de 0.85mm con adición de un 20% de hule reciclado aumentando el grado de recuperación elástica hasta un 82.50%, elevando el punto de ablandamiento hasta 75°C y trabajando esto en conjunto en las mezclas asfálticas se logró un variación de estabilidad de hasta +120.97% con respecto a la muestra patrón.

**PALABRAS CLAVES:** Hule reciclado, Pavimento asfáltico, Propiedades mecánicas.

## ABSTRACT

The present investigation is oriented to determine the "Influence of recycled rubber particle size on the mechanical properties of the modified asphalt pavement, Nuevo Chimbote - 2018". For which first 06 samples of modified asphalt cement were evaluated with additions of recycled rubber of 10%, 15% and 20% in the asphalt, the rubber was crushed by grinding machines of rubber in granulometry of 0.50mm-2.85mm applying the International standards such as ASTM D-6114 for wet characterization. Next, the modified asphalt mixes were analyzed with the percentages that obtained the best mechanical response.

Likewise, the Non-experimental method was used to obtain results and the type of research was Correlational. The population and sample was determined to be made up of asphalt cement PEN 60-70 (15 liters) in the first stage of wet modification and for a total of 36 asphalt briquettes for the second stage of preparation of the modified asphalt mixtures, applying the laboratory protocols for the Penetration tests (MTC E-304), Softening point (MTC E-307) and Elastic recovery (MTC E-320) within which consistency, thermal susceptibility and degree of recovery were evaluated. elastic, to then analyze the behavior of the asphalt pavement before traffic loads (Stability) and the acquired deformation (Flow) according to the standard of the MTC E-504

Concluding that the size of particles and the percentage of recycled rubber that have the greatest positive influence are reflected in good results on the mechanical properties of the asphalt pavement is with the diameter of 0.85mm with the addition of 20% of recycled rubber increasing the degree of elastic recovery up to 82.50%, raising the softening point to 75°C and working together on the asphalt mixtures, a stability variation of up to + 120.97% was achieved with respect to the standard sample.

**KEYWORDS:** Recycled rubber, asphalt pavement, mechanical properties.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

En la actualidad a nivel internacional los pavimentos asfálticos son impuestos a exigencias mayores que en años anteriores. El tráfico continuo que va en aumento cada día, las cargas más pesadas y la mayor presión que ejercen los neumáticos son factores que propician un desgaste más rápido de las carpetas asfálticas así como también de desprendimiento de agregados en ellas.

“Esto una de las problemáticas más importantes y considerable en el desarrollo vial del país; por lo que se ha necesitado la incorporación de aditivos y métodos para mejorar el comportamiento físico y mecánico de las capas de rodadura, también de estudios y propuestas dirigidos a establecer las razones fundamentales y los orígenes que dan principio a estas fallas. En nuestro país, debido a la variedad de climas se necesitan de estructuras de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades particulares y especiales para centrarse en las expectativas de cada región. Es así que el conocimiento de las causas que propician estas deformaciones permanentes y de las circunstancias climáticas en el Perú, facultará anteponerse y prever un desgaste apresurado de los pavimentos asfálticos en nuestro país” (Huamán, 2011, p.13).

Si nos ponemos a pensar en los abundantes neumáticos en desuso que tenemos acumulados en el Perú, seguramente han visto esas llantas viejas amontonadas en botaderos a cielo abierto, o tirados en las calles, o simplemente arrumbadas en el fondo de muchas casas. Eso es todo un problema, primero ambiental, porque ese material demora 600 años por lo menos en degradarse, pero además, es un problema sanitario porque todos esos focos funcionan como criaderos ideales de mosquitos transmisores del dengue. Entonces surge la pregunta de por qué en el país no reciclamos esas llantas, cuando en Brasil mismo se las está

empleando hace tiempo para mejorar las carreteras, un rubro de la infraestructura que tenemos tan atrasado nosotros. No solo en Brasil, en varios países desarrollados se pican los neumáticos y se extrae su caucho, para preparar la mezcla asfáltica con la que se pavimenta calles y rutas.

El problema se empeora en nuestro país debido a que no se observa un modelo consolidado de gestión y reutilización de estos desechos fuera de uso (neumáticos), al ignorar el valor añadido que se le puede dar a este material reciclado en usos de ingeniería, se tiende a quemarlos al aire libre, provocando problemas de salud en la población, además no se está teniendo en cuenta direccionar una idea de reciclaje, dándole una disposición adecuada, asegurando que haya un tratamiento ambientalmente responsable, jerarquizando la gestión de estos residuos.

“En simultáneo en las regiones no se halla una acertada gestión y control constante de los desechos sólidos locales fuera de uso, la gran parte de municipios no satisfacen los requerimientos constitucionales mínimos que previenen el impacto negativo del hábitat ambiental y al bienestar de las personas. Es Huaraz la provincia que más contamina en la región, lidera el listado con 8 puntos, seguida de Trujillo con 5 puntos en cuanto a municipios desaprobados” (OEFA, 2014, p.219).

“En el caso de Nuevo Chimbote en los últimos años se observa esta problemática del desuso de los neumáticos, además el desgaste de las principales avenidas del distrito, como pistas de gran y mediana envergadura se han deteriorado de manera preocupante, generando un escenario intolerable para los choferes, pasajeros y peatones debido al fastidio para trasladarse a puntos distintos. Es así que pobladores del distrito ven esto como un problema desagradable, que influye en el aspecto “peligro-vida” y en reflejo de la cara del distrito, por esto se ansia investigar el componente que nos proporcione efectividad y productividad en relación a mejorar el pavimento asfáltico” (Romel, 2009, párr.15).



## **1.2. Trabajos previos**

### **Antecedentes**

A continuación se hace referencia a determinados precedentes que ayudarán a entender el proyecto de investigación, de autores que hicieron investigaciones, aportes; a nivel internacional, nacional y local acerca del problema que abarca este proyecto:

#### **A nivel Internacional.**

Según Antonio, Páez García y Alberto, Valarezo Vargas (2015), en su tesis titulada “Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de caucho pulverizado por vía húmeda”, para optar por el Título de Ingeniero Civil, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Empleó la metodología de tipo Correlacional – No experimental, tomando como muestra de estudio áridos de la mina de Pingulmi, y ligante AC-20 de la refinería de Esmeraldas, para el diseño de las mezclas bituminosas con y sin adición de hule de 0.25mm en el cemento asfáltico, conformadas por 72 briquetas, es así que en la investigación se modificó el asfalto mediante un taladro a una temperatura máxima de 170°C por 20 minutos. Teniendo como objetivo analizar y evaluar las propiedades del asfalto modificado y que los resultados obtenidos sean analizados para la fabricación de mezclas bituminosas para rodadura con la aplicación de hule triturado. Concluyendo que la estabilidad de la mezcla asfáltica decrece y la viscosidad aumenta al adicionar el caucho en 1%, 1.5% y 2%, obteniendo como resultado que esta se vuelva más flexible, proporcionando una menor resistencia a las deformaciones y fisuras a corto plazo.

Según Mario, Chamorro Molina (2017), en su tesis titulada “Estudio de las propiedades mecánicas del asfalto modificado con polvo de caucho reciclado incorporado por vía húmeda y por vía seca frente al asfalto flexible sin modificación”, de la Universidad Central del Ecuador, para

optar por el título de Ingeniero Civil. La metodología empleada fue Científica Experimental. Donde el objetivo principal de la investigación fue realizar una comparación, contrastando las propiedades del asfalto convencional y el asfalto modificado con polvo de caucho de 0.84mm o tamiz de la malla N°20 y 2.38mm o tamiz de la malla N°18 adicionado mediante la vía húmeda y vía seca, para luego examinar el comportamiento de una mezcla óptima que ayude en proyectos viales económicos. Llegando a la conclusión más relevante que la recuperación elástica en el asfalto-caucho es mayor al 30%, que supera ampliamente al 6% de recuperación que presenta la mezcla convencional, es así que la modificación proporcionará una buena recuperación evitando una fatiga térmica en la carpeta asfáltica después de la aplicación de cargas producidas por el tráfico y por la vía seca determina que la adición de porcentajes mayores a 1% hace descender el módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

### **A nivel Nacional**

Danfer, Pereda Rodríguez y Nahum, Cubas Parimango (2015) en su tesis titulada “Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales”, de la Universidad Privada Antenor Orrego, para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. El método de investigación que usaron fue Correlacional – No experimental. Con el propósito de demostrar mediante ensayos de laboratorio que un asfalto modificado con el uso de caucho reciclado de neumáticos con granulometría de 0.50mm – 0.85mm tiene un mejor comportamiento físico-mecánico y posee ventajas económicas frente a los asfaltos convencionales. Llegando a la conclusión que cuando se utiliza el caucho reciclado de llantas, el punto de ablandamiento se dilata hasta 19°C más y la penetración disminuye en 19mm, certificando que el asfalto ejercerá un buen comportamiento trabajando a elevadas temperaturas, además demostrando que el asfalto modificado tiene un 37% más de recuperación elástica frente al 5% de un asfalto convencional.

Sergio, Quispe Espinoza (2006) en su tesis titulada “Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificadas con caucho”, de la Universidad Nacional de Ingeniería, para optar por el título de Ingeniero Civil. Usando la metodología de investigación de tipo Experimental. Teniendo como objetivo verificar y estudiar una nueva alternativa de mezcla bituminosa de diseño MAC-02 basada en la adición de partículas de caucho de granulometría de 0.30mm hasta 0.60mm obtenido del área de investigación de la Universidad De Arizona, mostrando sus propiedades, usos, ventajas estructurales, económicas y ambientales, evaluando el comportamiento de la mezcla asfáltica con un ligante PEN 60/70 modificado con 18% de partículas de caucho con respecto al peso material bituminoso. Donde se concluye que en la primera etapa de estudio, el cemento asfáltico es mucho más viscoso que el ligante convencional, además el valor de penetración en el caso del ligante modificado disminuyó al 50% de su valor, lo cual refleja la más alta viscosidad del mismo.

### **A nivel Local**

Ronald, Miranda Alvino (2012); en Chimbote, en su tesis titulada, “Propuesta técnica de un método constructivo de carreteras no pavimentadas integrando polímeros al sistema tradicional para minimizar la incidencia de patologías a nivel nacional”. Empleando en su investigación la metodología de tipo Correlacional – No experimental. Tuvo como objetivo principal unir las bondades del proceso constructivo de carreteras no pavimentadas y el uso de polímeros para la capa de rodadura consistente en utilizar todo el proceso de construcción de carreteras no pavimentadas hasta la penúltima capa y luego en la capa final aplicar el uso de polímeros en la cual se usa parte del afirmado mezclado con el polímero y se compacta. Teniendo como conclusión de su investigación un mejoramiento sobre las propiedades de resistencia, a través de la estabilización del suelo con polímero adaptado para carreteras, de esta manera protegiendo así la integridad estructural y la condición operacional de la superficie.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Partículas de hule reciclado**

##### **1.3.1.1. Polímeros**

Para López (2004), se puede definir a un polímero simplemente “como una macromolécula que se forma por la unión de muchas pequeños patrones constitucionales reiterativos (pcr) llamados monómeros, es decir son uniones de distintos monómeros que dan lugar a un polímero, mediante una fase de transformación química llamada “polimerización” (p.1).

“En el presente trabajo se utilizó un tipo de polímero elástico: el hule (residuo de llanta)” (p.1).

##### **1.3.1.2. Compatibilidad del polímero con el asfalto**

Los polímeros que se usan en el asfalto se distribuyen en la matriz asfáltica y específicamente el polímero SBS, el que se usa en asfalto modificado en caliente, éstos crean una red que aporta una serie de ventajas que no tiene el asfalto convencional, el principal factor preponderante es la recuperación elástica, es un factor que el asfalto convencional no contiene, por ser dúctil.

“Los asfaltos modificados con polímeros constan de dos fases: la primera cuya composición está integrada por diminutas fracciones de polímeros y la siguiente específicamente por asfalto. Por lo tanto, si la concentración de polímeros es baja, esto da lugar a una matriz o un seno continuo de material viscoso en donde se localiza esparcido el polímero” (Riaño, 2013 p.40).

“La principal alteración que genera la adición de las macromoléculas poliméricas a los asfaltos es la modificación en la relación de viscosidad – temperatura (especialmente en el factor de temperatura de rendimiento de las mezclas bituminosas), de esta forma se logra mejorar el comportamiento físico-mecánico del asfalto cuando haya cambios de temperatura” (Vera, 2014, p.50).

“Los asfaltos que serán los más compatibles con los polímeros son los cuales tengan mayor porcentaje en fracciones aromáticas y resinas, estos permiten que el polímero se disuelva y se adhiera de manera exitosa. Por otro lado los asfaltos que tengan un porcentaje alto de asfáltenos y saturados son los menos probables a ser compatibles con el polímero” (Pereda y Cubas, 2015, p.36).

#### **1.3.1.3. Hule reciclado de llanta**

El hule es un elemento natural o sintético que se identifica por sus propiedades de elasticidad y repelencia al agua. El hule natural se adquiere de un fluido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en diversas plantas. El hule sintético se elabora por medio de hidrocarburos establecidos (Quispe, 2006, p.21).

El neumático está ideado y concebido para resistir, el caucho concretamente esta vulcanizado, es decir que contiene unos enlaces de azufre, los cuales han reforzado las cadenas poliméricas entre sí, las hacen muy estables, de ahí que el neumático no se degrada fácilmente.

“El hule es un modificador de asfalto, influye en la mejora de la flexibilidad y resistencia a la tensión en las mezclas asfálticas, disminuyendo así que se generen deformaciones por variación

de temperaturas. Es elaborado con base en el resultado de la molienda de neumáticos, este hule es empleado en carpetas asfálticas delgadas de granulometría abierta” (Vera, 2014, p.48).

“De momento, se emplean distintos métodos para valorizar y darle un uso agregado a los neumáticos desechados, uno de ellos es mediante la producción granulométrica de caucho, para emplearlos como materia prima en la modificación de mezclas bituminosas. La obtención del hule proveniente del reciclaje es mediante la molienda mecánica de las llantas, aislándolo de los otros elementos que presenta, como las fibras textiles y el acero” (Ramírez, 2006, p.15).

#### **1.3.1.4. Procesos para la obtención del hule molido**

**Sistema mecánico (ambiental)**, con este proceso, el reciclado de neumáticos de hule es molido o procesado a una temperatura ambiente, eliminando primeramente los cinturones de acero para luego introducirlo en el equipo triturador que contiene una serie de cuchillas que granulan el hule. Este método mecánico es solicitado peculiarmente para proveer partículas irregularmente formadas, rasgadas, con áreas superficiales para dar origen a la interacción con el asfalto (Quispe, 2006, p28).

**Sistema criogénico**, en este método se hace uso de nitrógeno líquido para congelar el producto entero de llantas para luego pasarlo por un molino que pulveriza el neumático separándolo magnéticamente del metal y la fibra, posteriormente es introducido por un sistema de tamices donde se procede a su separación por tamaños. Este sistema es utilizado para disminuir el tamaño del hule previo a la molienda a temperatura ambiente (Quispe, 2006, p28).

### **1.3.1.5. Propiedades típicas de los compuestos del hule de llanta**

“Todos los productos elaborados con caucho SBR (Styrene-ButadieneRubber), ofrecen las siguientes propiedades: Poseen elevada resistencia al fisuramiento por fatiga, limitada rigidez a la rotura, adquieren elevada resistencia a gases oxidantes, también presenta un cierto declive físico propio del envejecimiento por efecto de oxidación, es así que, el material se estima idóneo para estar al aire libre, no es compatible con el agua, poseedor de una virtuosa resistencia al deterioro, particularmente a aquel que responda esencialmente a esfuerzos de desgaste por fricción” (Ramírez, 2011, párr.2).

### **1.3.1.6. Composición química de las llantas**

“La composición de las llantas está básicamente estructurado por tres productos, que lo conforman de la siguiente manera: primero está el caucho, presentado de forma natural o artificial, luego está el encordado de acero, y por último, la fibra textil. De la misma manera que estos tres productos se utilizan para la fabricación de los neumáticos, también existe una parte del caucho en el cual su composición se basa principalmente en un conjunto de polímeros (elementos químicos de alta carga molecular) entre ellos podemos mencionar el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más frecuente de todos, el estireno-butadieno, cuyo origen son los hidrocarburos. Ver tabla N° 01” (Pereda y Cubas, 2015, p.63).

“Aunque su composición química es variable según la clase de neumático y el lugar en donde es fabricado, para esto se muestra en la Tabla N° 02 los distintos compuestos químicos que dan forma a un neumático, junto a sus respectivos porcentajes” (Pereda y Cubas, 2015, p.63).

Tabla N° 01: Componentes de la Llanta

<b>MATERIAL</b>	<b>LLANTAS AUTOMÓVILES Y CAMIONETAS</b>	<b>LLANTAS CAMIONES Y MICROBUSES</b>
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo	28%	28%
Acero	14-15%	14-15%
Fibra textil, suavizantes, oxidos, antioxidantes, etc	16-17%	16-17%
Peso promedio	8,6 kg	45,4 kg
Volumen	0.06 m3	0.36 m3

Fuente: Rubber Manufacturers Association

Tabla N° 02: Composición química de la Llanta

<b>ELEMENTO</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>
Carbono (C)	70%
Hidrógeno	7%
Azufre (S)	1-3%
Cloro (Cl)	0.2 – 0.6%
Hierro (Fe)	15%
Óxido de Zinc (ZnO)	2%
Dióxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	5%
Cromo (Cr)	97 ppm
Níquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio	5-10 ppm
Talio	0-2 – 0.3 ppm

Fuente: Combustibles alternativos, Holderbank 1997



### 1.3.1.7. Aplicación de granos de hule en el asfalto:

“Para la correcta aplicación del hule que proviene de los neumáticos reciclados y desechados, existen dos métodos por el cual este material puede ser aplicado o incorporado en las mezclas asfálticas:” (Ramírez, 2006, p.18).

“**Proceso Húmedo**, el hule interactúa con el material cementante, para de esta manera modificarlo, de tal forma que el material granulado de caucho se combine con el bitumen, generando un producto de mezcla asfáltica modificada denominada asfalto-caucho, esta es empleada de igual forma que se utiliza un cemento asfáltico modificado.

Para generar la agrupación homogénea del asfalto y el caucho, es imprescindible tener parámetros de temperatura y tiempos establecidos de tal manera que estos materiales puedan reaccionar dentro de un estanque o recipiente. Usualmente, las mezclas elaboradas por este método son desarrolladas a temperaturas entre 180° y 210° por 1 a 4 horas, de esta forma ambos materiales tanto el caucho como el ligante puedan activar sus componentes químicos a estas temperaturas e interactuar de manera positiva o negativa, dependiendo de los resultados” (Ramírez, 2006, p.18).

“Para la elaboración de las mezclas asfálticas convencionales incorporándole distintos porcentajes de caucho, usualmente se emplean tamaños de granos de caucho de diámetro de 0.85mm, esta adición se realiza en un estanque con agitación. Para esto, los porcentajes de adición son entre 18 a 24% con respecto al peso del ligante” (Ramírez, 2006, p.18).

**“Proceso Seco**, mediante este método la incorporación se hace en el mezclador, a la vez que se fabrica la mezcla bituminosa, es decir se hecha una mezcla alternaria por así decirlo, que sería el árido, el material bituminoso (ligante) y el caucho. Este es un producto bastante válido, sobre todo se debe cuidar el almacenamiento, en este proceso el hule reciclado es dispuesto como una proporción del árido fino, de un 1 a 3 % del peso total de los agregados de la mezcla. Este procedimiento comprende etapas en donde primero el caucho se suma como un material auxiliar de una reducida fracción del árido fino, si bien se trata el material como un árido, este no puede valorarse como un material inerte, pues va a interactuar con el ligante al momento de elaborarse la mezcla asfáltica. Esta fase es llamada “digestión” del caucho, esta interacción puede realizarse dejando la mezcla en el horno, en un intervalo de temperatura de 150 a 170° C, pudiendo transcurrir de 1 a 2 horas, anticipándose a la compactación de la briqueta” (Fajardo y Vergaray, 2014, p.62).

#### **1.3.1.8. Interacción del caucho y el betún asfáltico**

Para lograr la interacción se pone en contacto el betún con las partículas de caucho, en donde tenemos factores y componentes que influyen como es la temperatura, el betún y el caucho. Al combinar estos elementos comienza una interacción, la cual va a durar todo el periodo que el betún y el caucho estén juntos a altas temperaturas, ocurriendo en esta interacción que las fracciones más volátiles, más ligeras del betún van a interaccionar a nivel superficial creando una especie de superficie de gel, que va penetrando poco a poco en las partículas de caucho, esto depende de la temperatura y la agitación a que estos materiales están sometidos.

Es importante saber que si prolongamos el tiempo en que se está mezclando el betún y el caucho, llega un momento en que prácticamente el caucho desaparece, sabemos que es un efecto, pero ya la partícula física llega incluso a desaparecer. Entonces se pasa de una partícula física a una partícula desaparecida. Además para distintos tiempos de mezclado se observará un porcentaje de caucho que queda, mientras más elevada la temperatura, se va perdiendo más caucho, entonces después de este proceso el caucho ya no aparecerá en el filtro, el betún lo absorbe periódicamente como avance el tiempo de mezclado, esto se ve a nivel micromolecular.

En cuanto a las características del betún, estas sufren cambios en el proceso progresivo de interacción con el caucho, en general se va a tener un primer periodo, en el que se está hablando de una mezcla física, el caucho está prácticamente como si se tratase de partículas en suspensión, entonces a partir de ahí, ya comienza un periodo de tiempo en donde las propiedades se ven beneficiadas. Pero si transcurre demasiado tiempo, elevada temperatura, demasiada energía de agitación, entonces se va a llegar a un momento en que las propiedades comienzan ya una rama descendente en el proceso que se ha denominado “degradación de la partícula”.

La importancia que tiene “la digestión” a efectos de ingeniería de asfalto, es que si el caucho no tiene suficiente digestión se presentará una mala compactibilidad, baja resistencia al agua, y disgregación de la mezcla asfáltica, es decir uno de los aspectos más importantes de las mezclas con caucho es la digestión, se debe llegar a un estado razonable en el que las partículas de caucho se deben de haber rodeado de un gel mitad caucho, mitad betún.

Además uno de los componentes que presenta el hule en su compleja composición es el hierro en interacción con el material asfáltico, según el investigador Jeoffroy Etienne en su libro “Construction and Building Materials”, nos habla sobre el uso de nanopartículas de hierro para la curación de materiales bituminosos accionada magnéticamente. Es así que demuestra que la cicatrización de microgrietas es crucial para recuperar las propiedades mecánicas y extender el tiempo de servicio de los materiales bituminosos. Sin embargo, el cierre de grietas a menudo es desafiado por la eficiencia y la repetibilidad del proceso de curación o su viabilidad técnica y económica para aplicaciones a gran escala. Estudiándose un método innovador para cerrar micro-grietas en materiales bituminosos mediante el uso de nanopartículas de hierro activadas magnéticamente como agentes de calefacción. El calentamiento se genera a través del denominado efecto de hipertermia con la exposición de las nanopartículas a un campo magnético oscilante externo. Cuando se mezclan en una fracción de bajo volumen de 1% dentro del betún, las nanopartículas generan suficiente calor para disminuir la viscosidad del material circundante y así promover el cierre de grietas. El ácido oleico se utiliza para recubrir las nanopartículas de hierro y permitir su distribución homogénea en el betún, es así que en contraste con el calentamiento relativamente lento de los aditivos conductores eléctricos, encontró que las nanopartículas de hierro preincorporadas en el betún permiten el cierre de grietas en unos pocos segundos cuando se someten a condiciones similares de campo magnético. Esto representa una nueva forma eficiente de sanar el daño en los pavimentos de carreteras termoplásticos en presencia de agregados minerales. (p.497)

Por otro lado está la aparición de azufre en el caucho, haciendo que la cantidad de azufre que reaccionará con el material asfáltico dependerá de la composición y de la temperatura del asfalto. Se ha demostrado que el azufre del material reciclado como en el caso del caucho reacciona predominantemente con la fracción aromática del asfalto, ya sea adicionándole a la molécula, la reacción es principalmente de adición, produciendo un incremento de la fracción polar aromática en la fase asfáltica, es decir provocando una variación de las moléculas que proporcionan las características de dureza al cemento asfáltico por lo tanto volviéndolo más viscoso a medida que la temperatura va bajando, haciéndolo de tal manera un material susceptible a la temperatura (e-asphalt, 2005, p.1).

Con respecto al óxido de silicio se observaron que los asfaltos modificados con aditivo de sílice presentan enlaces poco compatibles con el asfalto demostrando un aumento de la propiedad de penetración en el cemento asfáltico y una disminución de estabilidad en la mezcla asfáltica (Andino, 2016, p.146).

### 1.3.2. Asfalto

El asfalto se puede definir como el residuo de la refinera de petrleo, es el producto despus de que se han sacado los combustibles y lubricantes, adem1s de ser un derivado del petrleo que se aprovecha en la construcci3n de calzadas, esto es mezclado con un 95% de 1ridos (piedra), su forma m1s convencional son las carpetas asf1lticas para hacer carreteras.

“La Asociaci3n Americana de Ensayo de Materiales lo presenta como un producto viscoso para pavimentaci3n, de pigmentaci3n negra y densidad que se puede modificar, por lo cual su resistencia depende de la temperatura al cual este expuesto. Expone que el estado del asfalto a temperatura ambiente puede variar de s3lido a semis3lido, y de otra forma cuando su temperatura se incrementa se vuelve acuoso, este estado hace posible la combinaci3n con los agregados y estos sean envueltos en su totalidad durante el proceso de mezclado” (Ordo1ez y Minaya, 2006, p1rr.4).

#### 1.3.2.1. Composici3n Qu1mica

Los compuestos qu1micos por los cuales est1n constituidos los asfaltos son principalmente cadenas de mol1culas que se originan de elementos que se muestran a continuaci3n en la Tabla N1 03 y sus porcentajes de concentraci3n.

Tabla N1 03: Composici3n qu1mica del asfalto

<b>Elemento</b>	<b>Concentraci3n (%)</b>
Carbono	82- 88%
Hidr3geno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Ox1geno	0-1.5%
Nitr3geno	0- 1%

Fuente: Pereda y Cubas 2015

“Existen diferentes formas para catalogar al conjunto de grupos que conforman el asfalto. Una de las más comunes se habla de un análisis SARA (saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos), es la que separa el asfalto en fase asfáltica y fase maltena.” (Vera, 2014, p.32).

“Asfáltenos: Su estructura es una molécula muy compleja, tiene alto peso molecular, básicamente de naturaleza aromática con escasos ramales que se forman a través de uniones con otras macromoléculas. Estos compuestos contribuyen a la susceptibilidad térmica y a la viscosidad. Así mismo los aromáticos dispersan mejor a los asfáltenos en la fase maltena, proporcionando características de dureza al asfalto. Normalmente el contenido de asfáltenos varía de 5 a 25 % en peso del asfalto” (Wulf, 2008, p.16).

“Máltenos: Son los más volátiles, los más livianos debido a su composición, estos compuestos reaccionan químicamente en la fase de envejecimiento del asfalto a elevadas temperaturas, transformándose en asfáltenos, poniéndose más duros, quebradizo, en donde se rompe con las cargas de tránsito. Los máltenos a su vez presentan dos compuestos: Están las Resinas; que son partículas de poca carga molecular, que tienen superior número de ramales en sus enlaces, también puede observarse la existencia de azufre y nitrógeno en sus eslabones, pero en pocas repeticiones. Y los Aceites: Son moléculas de consistencia molecular mínima, su serie de enlaces son de pobres ramificaciones y con limitados eslabones” (Vera, 2014, p.32).

### 1.3.2.2. Interacción química de los componentes del asfalto

La proporción de asfáltenos y máltenos que el material asfáltico presenta en su composición, pueden variar así como a la vez modificarse por temperaturas elevadas a la que está expuesto el ligante. Las diferentes interacciones que pueden observarse entre estos dos componentes incluye fases, las cuales se presentan como: primero está la evaporación de los componentes más volátiles por efecto de la combinación de moléculas de hidrocarburos con moléculas de oxígeno, esta combinación es denominada “oxidación”, seguido se encuentra la unión de dos o varias partículas interactuando entre sí por medio de una dinámica molecular para dar formación a una unidad de molécula definida, de esto se obtiene como efecto una molécula con más consistencia y más pesada, permitiendo la visualización de este proceso llamado “polimerización, así como estos cambios químicos, existen más efectos de interacción química formulados y diseñados para incidir e influenciar en el comportamiento de las propiedades del asfalto.

Desde un punto de vista más práctico en esta estructura compleja, esas mallas de cadenas de hidrógeno y carbono, que caracterizan a un betún asfáltico, podemos distinguir dos partes o dos compuestos, por un lado la partes más pesada lo que denominados asfáltenos, por otro lado la parte más ligera que es lo que denominamos máltenos.

“Los compuestos con menos presencia en porcentaje en el asfalto son el azufre, nitrógeno y oxígeno, estos son llamados heteroátomos, adheridos en distintas estructuras y en forma de diferentes compuestos a las moléculas de carbón e hidrógeno. Estas diferentes moléculas son denominadas polares debido al



encontrarse un desbalance de distintas fuerzas electro-químicas dentro de una misma molécula lo cual origina un dipolo.

Por consiguiente, cada molécula polar tiene peculiaridades tanto electro-positivas como electro-negativas, éstas generan interacciones a nivel molecular en el cemento asfáltico que tendrá una gran afectación en las propiedades físicas o “de ingeniería” en su comportamiento” (Argemi, 2017, párr.8).

“La funcionalidad está sujeta con el modo en que las moléculas de asfalto se relacionan e interactúan entre sí, o con las superficies o compuestos de otra materia prima. La absorción selectiva, explica el fenómeno de denudación o pérdida de adherencia en asfalto y el agregado” (Argemi, 2017, párr.9).

“Los componentes no-polares (no contienen alcohol, fenólico, tiol, carboxilio) de los asfaltos, trabajan como solventes o agentes de dispersión de las fracciones polares, importantes en la evaluación de cómo las fracciones polares influirán en las propiedades físicas y características de envejecimiento de los asfaltos” (Argemi, 2017, párr.10).

Como siguiente reacción se tiene un betún asfáltico original, éste mientras más moléculas aromáticas presente en su composición, más reactivo se vuelve, además se hace uso de aceites compatibilizantes, esto siempre y cuando la composición del betún no sea la correcta, depende mucho del tipo de betún y fabricante.

Es así que, cuanto más caucho se le aplica al betún, más difícil se vuelve el proceso de digestión, esto se debe a que este proceso es un fenómeno superficial, es decir, cuanto más partículas de caucho haya, menos betún habrá.

### 1.3.2.3. Tipos de asfaltos

De acuerdo con su utilización, es posible presentarlos en:

- a) “Cemento Asfáltico: Este tipo de asfalto es un material muy particular, es visco-termo-elástico, es decir cambia con la temperatura, a la vez tiene elasticidad, pero también tiene viscosidad, tiene ventajas y desventajas, por ejemplo, es bueno que cambie con la temperatura, pero se trata de que cambie la temperatura para poder mezclarlo, pero lo se busca es que no cambie en la temperatura de servicio, que se mantenga con una viscosidad lo más constante posible” (Wulf, 2008, p.18).
- b) “Asfaltos diluidos: Conocidos también como asfaltos fluidificados o cut-baks, se obtienen disolviendo el betún asfáltico en un aceite derivado del petróleo, por el contrario si es un aceite derivado del carbón mineral, se trata de un asfalto fluxado, estos productos permiten una facilidad de puesta en obra, pero finalmente lo que interesa es que después de todo el tratamiento solo quede el betún asfáltico, ese proceso de evaporación del disolvente es lo que se conoce con el término de “curado”; dando origen a los asfaltos de curado rápido (RC-250), de curado medio (MC-30) y de curado lento (LC)” (Wulf, 2008, p.18).
- c) Emulsión asfáltica: Es una dispersión coloidal de betún asfáltico en agua, es decir, mediante medios mecánicos se consigue que en el agua haya una dispersión de pequeños glóbulos de bitumen. Las emulsiones normales se caracterizan porque el tamaño de glóbulos de bitumen están entre 5 y 8  $\mu\text{m}$ , el proceso de separación del agua y el betún es lo que se conoce con el término de rotura y se produce

porque se desarrollan unas series de procesos físico-químicos de distintos tipos, según el tipo de emulsión. Además del agua y el betún asfáltico en la fabricación de las emulsiones se emplean unas sustancias que se denominan “emulsionantes”, son unos aditivos que regulan el proceso de rotura, dan un carácter polar a partículas de betún para conseguir la mayor afinidad posible del ligante con la superficie de los agregados.

#### **1.3.2.4. Propiedades mecánicas y ensayos para caracterizarlos**

“La importancia que tienen las propiedades y los ensayos para medirlos son fundamentales para la validez de un cemento asfáltico, es por eso que estos ensayos deben estar en rangos mínimos y máximos establecidos por la normatividad peruana actual, referidos a cada prueba a realizarse, para dar una conclusión de que estos puedan representar buenos resultados, según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, como también las normas de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales. A continuación se describen ensayos empleados para determinar las especificaciones en las propiedades mecánicas del asfalto con la normativa peruana actual” (Minaya y Ordoñez, 2006, p.53).

##### **1.3.2.4.1. Ensayo de penetración**

“Este ensayo en definitiva lo que trata de demostrar es a una temperatura ambiente a 25°, cuánto penetra una aguja cargada con peso de 100 gramos; se deja introducir libremente en el ligante asfáltico durante cinco segundos, el resultado del ensayo es lo que se denomina “penetración”, que se expresa en décimas de milímetros, de manera que si la penetración es más baja, nos está indicando que el ligante tiene una alta

consistencia a temperatura ambiente, y por el contrario si la penetración es más alta, la consistencia a temperatura ambiente será menor” (Minaya y Ordoñez, 2006, p.55).

#### **1.3.2.4.2. Punto de ablandamiento: ASTM D-36, AASHTO T-53**

“Aporta una afinidad respecto a la rugosidad del asfalto (blando-duro), la utilización de agua depende de la temperatura del asfalto cuando alcanza un punto de ablandamiento menor a 80°C, por otro lado se hace uso de glicerina a partir de un punto de ablandamiento alcanzado a temperatura mayor a 80°C. Para esto se emplean materiales externos (anillo y bola), controlando el incremento de temperatura de 5°C por minuto” (Pereda y Cubas, 2015, p.74).

#### **1.3.2.4.3. Recuperación elástica**

“Consiste en determinar las bondades de un bitumen al aplicársele una carga, para observar que este pueda retornar a su posición original, el ensayo consiste en que el asfalto sea elongado, a una distancia máxima de 10 cm, después de esa distancia se realiza un corte justo en el centro del ligante para determinar su capacidad de recuperación elástica, los ligantes asfálticos son presentados como tiras en agua, luego de una hora se mide el espacio de vacío que queda entre corte y corte para determinar el porcentaje de recuperación elástica. En el Perú se empezó en el 2005 con los asfaltos modificados, se alcanzó hasta un 85% de recuperación con respecto a un asfalto convencional (8%). Es un método de ensayo favorable para corroborar que el producto fue incorporado a la patrón original tiene propiedades elásticas” (Pereda y Cubas, 2015, p.75).

#### **1.3.2.4.4. Estabilidad y fluencia**

“Consiste en determinar primero el parámetro de densidad de las briquetas, posteriormente las briquetas (1200 gr), sumergiéndolas en un recipiente con agua a 60°C por 45 minutos, simulando de esta manera la temperatura más alta de servicio que pavimento asfáltico pueda soportar, aplicándosele una carga a la muestra hasta que ésta rompa, la rotura representa la carga máxima que la biqueta llegará a soportar. La fluencia mide valores altos y bajos, frágil y rígido con respecto a la deformación irre recuperable de la muestra elaborada, representado a la deformación en campo del asfalto sometido cargas vehiculares” (Cáceres, 2007, p.10).

### **1.3.3. Elaboración de Mezclas bituminosas por el método Marshall**

#### **1.3.3.1. Fabricación de las briquetas de ensayo**

En el método Marshall se fabrican mediante impactos unas briquetas de mezclas que tienen unas determinadas características, en primer lugar se establecen cuáles son las características volumétricas de la mezcla, luego se fabrican distintas mezclas con contenidos diferentes de ligante y se determina la densidad aparente, para después en función de peso específico de los áridos y del ligante se calculan los vacíos en el agregado mineral, tras la compactación.

Seguidamente derivamos a llevar el ensayo mecánico de rotura de las briquetas que se realizan en unas determinadas condiciones de temperatura y de velocidad de aplicación de la carga y mediante este ensayo mecánico se determinan otros dos parámetros, lo que se llama estabilidad Marshall o carga en rotura, y lo que se denomina deformación Marshall, que es lo

que se ha cortado el diámetro de la briqueta hasta el momento de dicha rotura, los resultados se representan gráficamente.

Las briquetas son preparadas con el siguiente proceso:

- “Previamente se calientan los agregados a 140°C y el asfalto, cumpliéndose ciertos requisitos de los agregados, como, durabilidad y tamaño de partículas, para luego cubrirse completamente por el ligante. Este proceso reproduce el mezclado y calentamiento que sucede en una planta de asfalto” (Cáceres, 2007, p.8).
- “Los moldes (collarín, molde, y la base) tienen que estar previamente calientes a 140°C, seguido las mezclas bituminosas se introducen en los moldes previamente calentados, para compactarlas usando el martillo Marshall, este a su vez también tiene que estar precalentado, para evitar el enfriamiento de la superficie mezcla” (Cáceres, 2007, p.8).
- “La cantidad de golpes por ambas caras a los que debe estar sometida la mezcla es de acuerdo del nivel de tránsito para el cual se está diseñando la muestra” (Cáceres, 2007, p.8)

#### **1.3.4. Asfaltos modificados**

Un asfalto modificado, es aquel que pasa por un proceso de tipo aditivado de algún material polimérico (elastómero o plastómero), logrando una estación de mezcla, el cual enriquece las propiedades mecánicas-físicas iniciales del asfalto convencional, es así que se suele reemplazar el asfalto convencional, cuando se necesitan prestaciones especiales, de ahí la importancia de tratar de llegar al uso del polímero, el cual protege de todos los agentes externos (oxígeno, rayos solares,

agua y carga vehicular) al asfalto, aportando mayor susceptibilidad térmica y mayor elasticidad, obteniendo como producto un ligante asfáltico modificado, llamados también “nuevos asfaltos” (Vera, 2014, p.45).

#### **1.3.4.1. Agentes modificadores del asfalto**

Actualmente existen dos agentes modificadores de asfalto, entre los cuales tenemos:

“Los elastómeros, estos materiales presentan conexiones entre sus cadenas que reaccionan al producirse una deformación externa, generando un cambio en la posición de las cadenas, por lo que el material se deforma, pero cuando cesa esa acción exterior, debido a las uniones entre las cadenas, estas recuperan su disposición inicial y el material recupera su forma. Los principales elastómeros empleados para la modificación de asfaltos son: SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), son polímeros de consistencia líquida y SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), éstos son sólidos” (Elizondo, Salazar y Villegas, 2010, p.85).

“Por otra lado, los plastómeros (plásticos) se agrupan en conexiones densas tridimensionales, estos polímeros proporcionan una fuerza a una edad prematura, para soportar cargas pesadas, con la debilidad de quebrantarse al momento de ser deformados, debido a su rigidez, provocando la fatiga acelerada del pavimento. Los más frecuentes es el EVA (etilvinilacetato), el polietileno (PE) y el polipropileno (PP)” (Marín, 2004, p.37).

#### 1.3.4.2. Variables que afectan la interacción del caucho y asfalto

Los principales factores que influyen en la interacción del mezclado de estos materiales son:

**La granulometría del caucho;** cuanto más fino es más rápidamente se completa la digestión o avanza la digestión hacia un lado suficiente (aceptable).

**Mezclador empleado;** cuanta más energía se le aplica más rápidamente se alcanzará un nivel de digestión aceptable.

**Tiempo y temperatura de fusión;** cuanto más tiempo y más temperatura se utiliza, realmente más avanza la digestión.

**Sedimentación;** las partículas de caucho al estar vulcanizadas están maniatadas no pueden lanzarse enlaces unas a otras ni con el betún de tal manera que si no se adiciona algún ingrediente, entonces realmente no se forma una red, y al no formarse una red el producto tiende a sedimentar. Esto es un problema específico de la vía húmeda.

**“Tamaño de las partículas;** Es necesario tener un tamaño óptimo y homogéneo de partículas para asegurar una buena compactación de la briqueta, mediante la buena compenetración tanto del agregado con el asfalto a través de la matriz líquida” (Ramírez, 2011, p.35).

**“Condición de los materiales;** se cita a la naturaleza física del material, es decir, cómo se encuentra organizada su estructura y los componentes de este, un agente muy significativo en este medio es la rigidez superficial la cual nos señala el humedecimiento entre superficies de los materiales” (Ramírez, 2011, p.35).



#### **1.4. Formulación de problema**

¿Cómo influye la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado en el Distrito de Nuevo Chimbote – Ancash 2018?

#### **1.5. Justificación del estudio**

La presente investigación se justifica debido a las notables fallas de los pavimentos asfálticos convencionales con propiedades mecánicas insuficientes para la transitabilidad, nos brinda el paso a investigar y dar uso opcional del hule reciclado de llantas para sustituir algunos aditivos, incorporando el material como agente modificador de las propiedades mecánicas del asfalto convencional, sin embargo en la actualidad dicho material no está siendo aprovechado de manera productiva, por ende existe una preocupación de su uso de manera sostenible. Disminuyendo de esta manera la afectación del medio ambiente, a darle otra alternativa de uso a dichos residuos y a minimizar la descontrolada contaminación ambiental, logrando así un desarrollo sostenible.

Por otro lado, en el Perú no existen investigaciones que permitan tener una logística en cuanto al reciclado de llantas en desuso. Siendo así que la escasa información y difusión de este tipo de asfalto modificado con residuo de hule reciclado hace que nuestro país no esté a la vanguardia en cuanto a nuevas tecnologías en asfaltos modificados a comparación de los países cercanos como los casos de Colombia, Chile y Brasil; ante esta problemática surge la necesidad de evaluar y analizar el comportamiento mecánico de este tipo de asfalto comparándolo con el asfalto convencional.

Esta investigación se desarrolla en un impacto ingenieril, social y ambiental; ingenieril, porque al contar con pavimentos asfálticos que cumplan con su vida útil para los cuales fueron diseñados, se reducirán los costos de mantenimiento; es social a causa de los inconvenientes

estructurales que presentan los pavimentos asfálticos convencionales generando impactos negativos para los usuarios, de esta forma se mejora las vías de comunicación entre pueblos y personas; y ambiental, porque se hace necesario crear una responsabilidad ecológica, revalorizando los residuos de neumáticos como beneficios medioambientales en la construcción de carreteras, demostrando así un firme compromiso con el entorno a través de este proyecto de investigación.

## **1.6. Hipótesis**

La adición de las partículas de hule reciclado influye mejorando significativamente las propiedades mecánicas de un pavimento asfáltico, en el distrito de Nuevo Chimbote, Áncash - 2018.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, Distrito de Nuevo Chimbote - Áncash - 2018.

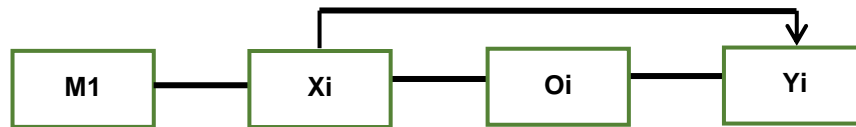
### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las partículas de hule reciclado, estableciendo porcentajes y diámetros a usar en cuanto al contenido de asfalto.
- Determinar el porcentaje de partículas de hule reciclado que mejore las propiedades mecánicas del cemento asfáltico convencional.
- Elaborar las mezclas de asfalto con la adición de partículas de hule reciclado a las mezclas de asfalto tradicional.
- Determinar las propiedades mecánicas de las mezclas de asfalto modificado y del asfalto tradicional.
- Analizar los resultados sobre la influencia de la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento con asfalto modificado y realizar una comparación con las propiedades del pavimento asfáltico tradicional.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de Investigación

La investigación a desarrollar es de tipo No experimental – Correlacional, buscando evaluar la correlación de dos variables: partículas de hule reciclado y las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, la investigación se desarrolló ingresando intencionalmente una variable que no existe generalmente en el asfalto convencional (partículas de hule reciclado).



**M1:** Briquetas de pavimento asfáltico

**Xi:** Tamaño de las partículas de hule reciclado

**Yi:** Propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado

**Oi:** Resultados

### 2.2. Variables, operacionalización

**Variable Independiente (VI):** Tamaño de las partículas de hule reciclado.

**Variable dependiente (VD):** Propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado.

#### 2.2.1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>(VI)</p> <p><b>Partículas de hule reciclado</b></p>	<p>“Son porciones granulares de polímero elástico de dimensiones muy reducidas a materia, fragmentos pequeños de materia que mantienen las propiedades químicas de un cuerpo”.</p> <p>(Autor)</p>	<p>Se trituró el hule reciclado en dos diámetros especificados por el autor (0.85mm y 2.00mm), luego se procede a caracterizarlo en porcentajes, luego de esto se realiza el mezclado con el asfalto para su modificación. Para esto se usó 10%, 15% y 20% de hule reciclado.</p>	<p>Cantidad de hule reciclado</p> <p>Composición</p>	<p>Diámetro de partícula</p> <p>Porcentaje en peso (10%, 15%, 20%)</p> <p>Análisis químico</p>	<p>De razón</p> <p>De razón</p>
<p>(VD)</p> <p><b>Propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado</b></p>	<p>“Son la que influyen directamente con la calidad y del material asfáltico en la capa superficial del pavimento, proporcionando condiciones adecuadas de rodadura con resistencia estructural mecánica en las demás capas de los firmes”.</p> <p>(Autor)</p>	<p>Luego de la modificación del ligante y las briquetas de asfalto, se procedió a medir su penetración, ablandamiento, recuperación elástica y estabilidad, luego se procesaron los protocolos obtenidos del laboratorio a través de la técnica de análisis documental.</p>	<p>Propiedades mecánicas</p>	<p>Penetración</p> <p>Punto de ablandamiento</p> <p>Recuperación elástica</p> <p>Estabilidad</p> <p>Fluencia</p>	<p>Nominal</p>

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Población

La población de la investigación se determinó que está conformada por el cemento asfáltico PEN 60-70 (15 litros) en una primera etapa del estudio y por 36 briquetas de asfalto para la segunda etapa del presente proyecto, ambos incorporados con diámetros de partículas de hule reciclado en porcentajes, las briquetas incluirán material asfáltico convencional y modificado.

### 2.3.2. Muestra

Así mismo la muestra fue la misma que la población pues primero se analizó el cemento asfáltico por la vía húmeda y seguidamente las briquetas de acuerdo a la exigencia del estudio como son la estabilidad y grado de deformación. Como se puede distinguir en el siguiente cuadro la población y muestra.

**TABLA Nº 04: PRIMERA ETAPA – CEMENTO ASFÁLTICO**

PROPIEDAD	DIÁMETRO Y PORCENTAJES DE PARTICULA DE HULE RECICLADO						MUESTRA 01
	0.85mm			2.00mm			
PENETRACIÓN	10%	15%	20%	10%	15%	20%	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	10%	15%	20%	10%	15%	20%	
RECUPERACIÓN ELÁSTICA	10%	15%	20%	10%	15%	20%	
	2.5 Lts	2.5 Lts	2.5 Lts	2.5 Lts	2.5 Lts	2.5 Lts	15 LITROS

**TABLA Nº 05: SEGUNDA ETAPA – BRIQUETAS A ENSAYAR**

PROPIEDADES	Diámetro y porcentaje de partícula de hule reciclado		MEZCLA PATRÓN	MUESTRA 02
	0.85mm	2.00mm		
ESTABILIDAD Y FLUENCIA	$X_1\%$	$Y_1\%$	SIN ADICIÓN	BRIQUETAS DE ASFALTO
Nº DE BRIQUETAS	12	12	12	36

**La unidad de análisis** fue primeramente el cemento asfáltico PEN 60/70 modificado y luego por conveniencia para el proceso realizaremos las briquetas cilíndricas con dimensiones de 4” de diámetro x 2 ½” de altura, las cuales serán elaboradas a partir de moldes para mezclas bituminosas para pavimentación y serán sometidas al ensayo de rotura en la prensa Marshall.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Técnica:**

Se utilizó la técnica del análisis documental recogiendo datos de los protocolos de los respectivos laboratorios que permitieron recaudar información generada por los ensayos y necesaria para procesar la interpretación de los mismos.

### **2.4.2. Instrumento:**

Los instrumentos que se usaron fueron las fichas de recopilación de datos (protocolos), es decir formatos instaurados por las normas peruanas y el Laboratorio de la Dirección de Estudios Especiales del MTC para los ensayos iniciales de Penetración (MTC E304-2016), Punto de Ablandamiento (MTC E307-2016) y Recuperación elástica (MTC E320-2016), además de los protocolos utilizados para los resultados finales aplicando el Ensayo Marshall realizado en el laboratorio de la Universidad César Vallejo (MTC E504-2016), realizándose en máquinas calibradas y con los instrumentos requeridos bajo normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

TÉCNICA	INSTRUMENTO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Análisis documental	Protocolos de laboratorio	Correlacional

### **2.4.3. Validez y confiabilidad del instrumento:**

En el presente proyecto de investigación se hizo uso de protocolos de laboratorio, siendo innecesaria su validez de juicio de expertos por ser formatos estandarizados según normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para cada ensayo a realizar.

### **2.4.4. Procedimientos**

#### **- PENETRACION (ASTM D-5)**

La penetración es la propiedad de consistencia y dureza del asfalto. Esta se determina mediante la introducción de una aguja normalizada de longitud de 55mm y diámetro de 1.00mm al cemento asfáltico considerándose el material usado. El valor final de la propiedad de penetración deriva del promedio de tres penetraciones al material ensayado.

#### **Equipos utilizados:**

- Penetrómetro
- Aguja de penetración
- Recipientes de prueba
- Termómetros
- Cronómetro

#### **Procedimiento de ensayo:**

Para el desarrollo del ensayo primeramente se limpia la aguja de penetración a usar, seguidamente se inserta el peso de 50g seleccionando una muestra de material asfáltico, para este caso se hizo uso del PEN 60/70 que será empleado para el diseño Marshall, éste se coloca sobre la estufa eléctrica y se deja calentar, para que pase de fase sólido a líquido es decir, que fluya para poderlo verter en los recipientes de aluminio, el tiempo



de calentamiento fue de 20 min aproximadamente, se vierte en estos dos moldes, y se tapa con unos conos de papel por 1 hora para enfriarlos, después de transcurrir ese periodo se extraen los conos y se llevan los moldes a un baño con agua para enfriarlos a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  por otra hora, al concluir ese periodo se trasladan los recipientes al penetrómetro para realizar las mediciones correspondientes añadiéndole una masa de 100 gr y acercando la aguja hasta la superficie del material, haciendo caer el mecanismo que libera la carga de penetración calculando un intervalo de 5 segundos, cuando se llega a ese tiempo se detiene el procedimiento y se toma la medida (distancia) de 3 penetraciones en cada recipiente expresada en décimas de milímetros.

#### - PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D-6084)

Para este ensayo se usaron las muestras de cemento asfáltico PEN 60/70 modificado con partículas de hule en 10%, 15% y 20% con diámetros de 0.85mm y 2.00mm. Se utilizó la norma ASTM D-6084 basándonos en la determinación de la temperatura a la que gradualmente el cemento asfáltico modificado se torna más blando y menos viscoso.

#### **Equipos utilizados:**

- Anillos de bronce
- Platos de base
- Bolas de acero ( $\varnothing=9.5\text{mm}$ , masa= 3.5gr)
- Guías de contacto de las bolas
- Termómetros
- Soporte de anillos y montaje
- Recipiente de vidrio ( $\varnothing=85\text{mm}$ , capacidad= 800ml)

### **Procedimiento de ensayo:**

Se calienta la muestra de material modificado de forma metódica por no más de 2 horas a una temperatura no mayor a 110°C, agitándola periódicamente para prevenir sobrecalentamientos localizados, asegurándose que este lo suficientemente fluida para poder verterla.

Luego se deben calentar los anillos sin la placa base y ahí se vierte el producto bituminoso dentro de ellos.

Una vez introducido el asfalto en forma líquida dentro de los anillos, este siempre debe sobrepasar los anillos para poder enraizar, entonces cuando el asfalto ya este a temperatura ambiente dentro de un intervalo estimado de 30 minutos se debe asegurar que quede liso.

Se ensambla el sistema de soporte colocando el anillo con la muestra de prueba y el termómetro dentro del vaso refractario.

Una vez introducida la esfera sobre la muestra, esta se calienta hasta que la esfera atraviese el cemento asfáltico produciendo una deformación del mismo y llegue a la base del vaso de agua.

### **- RECUPERACION ELÁSTICA (ASTM D-36)**

Con este ensayo se llega a medir el grado de elasticidad que presenta el cemento asfáltico modificado con partículas de hule reciclado de 0.85mm y 2.00mm con adición de porcentajes de 10%, 15% y 20% para de esta manera definir el mejor aporte hecho por el hule en referencia al comportamiento mecánico del asfalto.

### **Equipos utilizados:**

- Aparato de torsión
- Termómetro
- Cronómetro
- Estufa

**Procedimiento de ensayo:**

Se toma una cantidad de cemento asfáltico ligeramente mayor a lo que se va a utilizar en el recipiente de la muestra cuyo diámetro es de 57mm y altura de 35mm.

Se calienta la muestra seleccionada a una temperatura que no debe exceder los 130°C por un periodo de 30 minutos en un molde apropiado, agitándose de manera continua para que esta pase a un estado líquido para poder ser vertida de manera uniforme. Luego se procede a vaciar el material asfáltico en el molde de prueba del aparato de torsión hasta 10mm de aforo lo cual dispone el cilindro de su base inferior.

Se eliminan las burbujas atrapadas en la muestra mediante un encendedor que pasa por la superficie de la misma.

Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente por 90 min para realizar el vaciado de agua dentro del equipo hasta que cubra en su totalidad a las muestras a 25°C (baño maría).

Se introduce el pasador en la ranura del equipo girándolo a 180°C en 3-5 segundos, de tal manera que se sueltan las agujas y empieza el estado de recuperación.

**- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS (ASTM D-422)**

Se efectuó este ensayo para discernir con claridad los tamaños de las partículas de los agregados utilizados para el diseño como son el agregado fino y grueso empleando una serie de tamices de N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 para el material fino y 1/2", 3/8" y N°4 para el material grueso.

**Equipos utilizados:**

- Balanza electrónica de 0.1% de error
- Juego de tamices N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200
- Horno de secado a 110°C
- Tara o recipiente

### **Procedimiento de ensayo:**

Se selecciona una muestra representativa a través de la técnica de cuarteo de los agregados: apilando en forma de un cono y extendiendo el material hasta crear una base circular y dividir diametralmente el agregado en cuatro partes hasta obtener la cantidad de agregado fino (300 gr mínimo) y agregado grueso (2 kg), luego se procede a secar las muestras en el horno durante 24 horas.

Se agregan las muestras en los tamices encajados y ordenados de abertura decreciente para luego agitarlos manualmente por un periodo suficiente para que no quede masa de residuo sobre las mallas.

Para los cálculos; en un recipiente se pesa la cantidad de material retenido en cada malla y se suman los porcentajes acumulados retenidos de material de las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100 dividido entre 100.

### **- CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS (ASTM D-2216)**

Se efectuó este ensayo con el propósito de definir el contenido de humedad de los agregados utilizados en esta investigación para que de tal forma aseguremos la calidad de los mismos. Para la realización del ensayo se extrajeron muestras de la cantera Rubén aproximadamente 1000 gr y posteriormente fueron introducidas en el horno a 105°C de temperatura para el secado hasta que no tenga humedad por un tiempo de 24 horas.

Una vez secadas las muestras en el horno se deja enfriar y se vuelve a pesar la muestra seca determinando de esta manera el contenido de humedad (%) para ambos agregados empleados.

**Equipos utilizados:**

- Balanza con sensibilidad al 0.1 % de peso de la muestra
- Recipiente para la muestra
- Horno de secado a 110°C

**- ENSAYO DE METODO MARSHALL (ASTM D- 1559)**

Se efectuó este ensayo con la objetivo de determinar la estabilidad y flujo de las mezclas, pues estos valores son piezas importantes para la finalización de la investigación ya que de esto se derivarán las conclusiones finales del trabajo. En esta etapa de la investigación se realiza el diseño de mezcla asfáltica hasta todos pasos a seguir técnicamente para la elaboración de las briquetas convencionales y modificadas para la obtención de resultados comparativos tanto en el diseño de mezcla asfáltica convencional como en el diseño de mezcla modificada con partículas de hule reciclado.

**Equipos utilizados:**

- Moldes ensamblados para briquetas
- Martillo de compactación
- Horno
- Balanza
- Termómetro calibrado
- Máquina de carga a compresión
- Medidor de flujo

**Procedimiento de ensayo:**

Para la fabricación de las briquetas asfálticas se realizan mediante impactos la proporción diseñada de 40% de piedra y 60% de arena, compactando estos materiales en conjunto con el cemento asfáltico convencional PEN 60/70 y modificado.

Seguidamente derivamos a llevar el ensayo mecánico de rotura de las briquetas que se realizan en unas determinadas condiciones de temperatura y de velocidad de aplicación de la carga y mediante este ensayo mecánico de determinan los parámetros de estabilidad Marshall o carga en rotura, y lo que se denomina deformación Marshall, que es lo que se ha cortado el diámetro de la biqueta hasta el momento de dicha rotura, los resultados se representan gráficamente.

Las briquetas son preparadas con el siguiente proceso:

- Previamente se calientan los agregados a 140°C y el asfalto, cumpliéndose los requisitos de los agregados, como, durabilidad y tamaño de partículas, para luego cubrirse completamente por el ligante. Este proceso reproduce el mezclado y calentamiento que sucede en una planta de asfalto.
- Los moldes (collarín, molde, y la base) tienen que estar previamente calientes a 140°C, seguido las mezclas bituminosas se introducen en los moldes previamente calentados, para compactarlas usando el martillo Marshall, este a su vez también tiene que estar precalentado, para evitar el enfriamiento de la superficie mezcla.
- La cantidad de golpes por ambas caras fue de 75 para tránsito pesado a los que debe estar sometida la mezcla es de acuerdo del nivel de tránsito para el cual se está diseñando la muestra.

## **2.5. Método de análisis de datos**

El análisis de datos se realizó mediante una orientación cuantitativa, haciéndose uso del método de Análisis ligado a la hipótesis, porque la hipótesis planteada en la investigación tiene que ser objeto de una comprobación, empleado de acuerdo al tipo de investigación No experimental-Correlacional, basándonos en la obtención de datos recolectados de los ensayos realizados de alta confiabilidad de penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica, así como también posteriormente fue medido el grado de deformación por cargas de las mezclas bituminosas y la estabilidad de las briquetas asfálticas adicionándole hule reciclado.

Nos apoyamos en el uso de software como la hoja de cálculo de MS Excel 2016 la cual nos proporcionó gráficos de barras, dispersión y circulares en el procesamiento de datos.

## **2.6. Aspectos éticos**

El proyecto está realizado con compromiso del autor, que está bajo su responsabilidad la autenticidad de los resultados que se obtendrán en la investigación, confiándose del procesamiento de los datos en los respectivos ensayos de materiales y laboratorio, aplicadas a las respectivas muestras, de esta manera contribuyendo al respeto del medio ambiente y la propiedad intelectual de cada teoría recaudada de cada autor en el presente trabajo.

### **III.RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados alcanzados mediante la aplicación de los diferentes ensayos como fueron penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica, además del Ensayo Marshall, los datos fueron registrados en formatos facilitados por el laboratorio de la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también el Laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo donde se realizaron los ensayos y se evaluaron las variables de las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado y tamaño de las partículas de hule reciclado analizando la influencia de estas en el ligante y mezcla asfáltica.

#### **3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE HULE RECICLADO**

Para este caso las partículas de hule reciclado se caracterizó con ayuda de una máquina de molido de caucho en gránulos con un motor de 20 HP, arrojando granulometría de 0.50mm – 2.85mm y luego se ha tenido que hacer un cuarteo del material reciclado tratándolo para el desarrollo del proyecto como un agregado fino para el control de los diámetros y la uniformidad de los pesos en el Laboratorio de la Universidad César Vallejo con el propósito de conseguir una muestra representativa de 1187.10 gr aproximadamente, y luego se procedió a poner la muestra en los tamices y agitarlos, finalmente se tomaron los pesos de los tamices con muestra retenida en las mallas seleccionados N°10 y N°20, con estos datos se podrán calcular los pesos para adicionar al cemento asfáltico, el diámetro de partículas y finalmente el porcentaje que cada muestra de PEN 60/70 necesita para su respectivo mezclado por la vía húmeda.



**TABLA N°1. TAMIZADO DEL HULE RECICLADO**

<b>GRANULOMETRÍA HULE RECICLADO</b>					
<b>TAMIZ ASTM</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% QUE PASA</b>
N° 6	3.35	0	0	0	100
N° 8	2.38	452.90	38.15	38.15	61.85
N° 10	2.00	75.40	6.35	44.50	55.50
N° 12	1.68	27.30	2.30	46.80	53.20
N° 16	1.19	57.40	4.84	51.64	48.36
N° 20	0.85	339.50	28.60	80.24	19.76
N° 30	0.60	203.40	17.13	97.37	2.63
N° 50	0.30	24.80	2.09	99.46	0.54
Plato	-	6.40	0.54	100	0
		1187.10 gr			

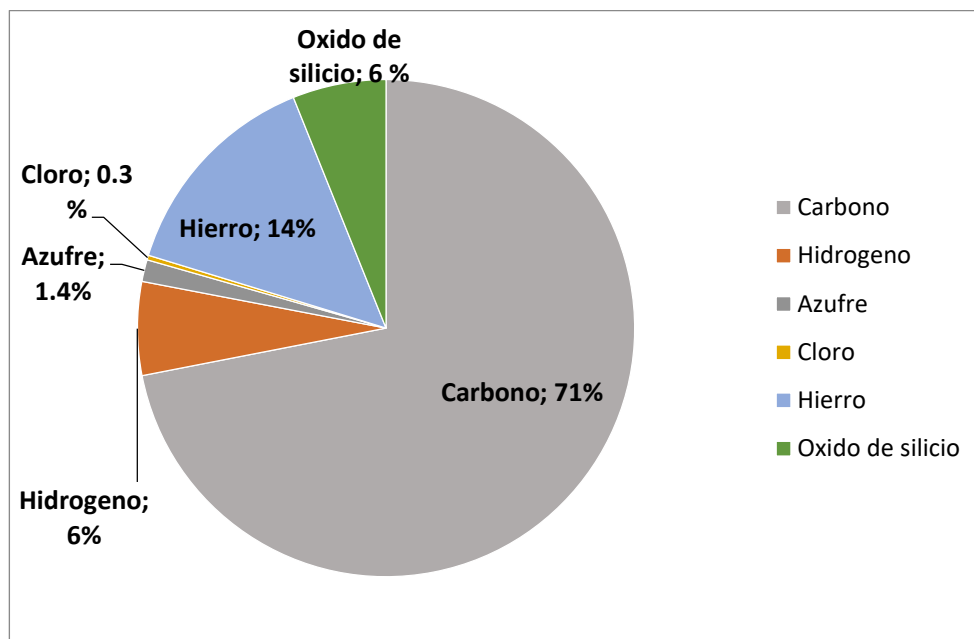
Fuente: Elaboración propia

#### DESCRIPCIÓN:

El material a ser usado (hule) como mejorador de las propiedades del pavimento asfáltico fue extraído de la planta de la empresa LUDGRASS en la ciudad de Lima, dicho material proviene del triturado de neumáticos reciclados, se requirió al abastecedor que nos dote de material de polvo fino de diferentes diámetros es por eso que se realizó un análisis granulométrico para caracterizarlo teniendo como resultado que se trate de partículas exactas de 0.85mm y 2.00mm. Demostrándose que el material logra pasar el 100% entre la malla N°6 y 61.85% entre la N°8 comprobando así la gradación de diámetros de partículas menor a los 3mm adoptada en la norma de “Especificación Estándar para carpeta de asfalto-caucho ASTM D 6114”.

Además el material reciclado no fue analizado químicamente por la empresa proveedora, por lo cual se realizó un análisis completo de los componentes predominantes que contenía y estos fueron los resultados:

### GRÁFICO N°1: RESULTADOS DE COMPONENTES QUÍMICOS DEL HULE RECICLADO



Fuente: Elaboración propia

(Ver anexo 02)

### DESCRIPCIÓN:

En el gráfico N°1, se observan los compuestos químicos que forman parte del hule reciclado, siendo estos: en primer lugar con un 71% el Carbono, luego con un 14% el Hierro, seguido de un 6% el Óxido de Silicio, y también con un 6% el Hidrogeno, y por último con presencia de porcentajes menores en la composición del material reciclado analizado, está el Azufre con un 1.4% y el Cloro con un 0.3%, además del Cromo con 95 ppm, 72 ppm de Níquel, 68 ppm de Plomo, 6 ppm Cadmio y 0.3 ppm de Talio.

## **INTERPRETACIÓN:**

Según el análisis químico realizado se comprueba el alto grado de compatibilidad y funcionalidad que tendrá el material reciclado al momento de interactuar químicamente con los componentes del cemento asfáltico, siendo así que la influencia en las propiedades elásticas en el comportamiento del ligante proviene de las moléculas polares; las cuales son el azufre en un 1.4%. Por otro lado está la compatibilidad con las moléculas no polares del asfalto, contribuyendo estas al desarrollo del comportamiento viscoso del ligante como también aumentando la resistencia a la temperatura de falla, a la tracción y al desgaste de las mezclas asfálticas como son el caso del Carbono presente en un 71% y el Hidrogeno en un 6% del hule reciclado.

Encontrando además de estos compuestos con influencia en porcentaje medio; el Hierro, el cual influye de manera positiva al reaccionar químicamente con el material bituminoso, siendo utilizado este en gran medida con el ligante como un método para reparación de grietas cuando aún son pequeñas, siendo mezclado con el cemento asfáltico y nanopartículas de hierro unidas fuertemente al betún que prácticamente no se vuelven a separar resolviendo de esta manera el problema de la oxidación debido a que el compuesto no se puede oxidar sin la presencia de un metal, determinando de esta manera una reducción de la viscosidad del material bituminoso a temperaturas entre 50°C y 100°C, obteniendo como resultado que el ligante comienza a suavizarse y cierra las pequeñas grietas en las carreteras.

Y por último el óxido de silicio representa una reacción al combinarse con el cemento asfáltico de una variación en la penetración mas no en el punto de ablandamiento del asfalto, de manera que este compuesto reacciona aumentando la penetración de manera moderada con respecto a un asfalto inalterado sin reacciones bruscas en su rigidez, evitando a altas temperaturas desplazamientos verticales que puedan desencadenar ahuellamientos o roderas, y no interviene en los cambios de temperatura en el parámetro de ablandamiento.

### 3.1.1. INCORPORACION DEL HULE AL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE VÍA HÚMEDA

El cemento asfáltico usado en el proyecto proviene de la empresa “INDUSTRIAS KyC SAC” de la ciudad de Lima; la cual es cliente de PETROPERU y su gradación por penetración es PEN 60-70.

Para poder saber los pesos a adicionar a cada contenido de cemento asfáltico se tuvo que realizar una serie de tamizados previos al material reciclado y pesarlo para determinar la cantidad exacta y el diámetro precisado para el mezclado posterior de 30 minutos a una temperatura de 170°C cada muestra.

**TABLA N° 2 – PESOS ADICIONADOS A LAS MUESTRAS**

<b>Ø PARTÍCULA</b>	<b>MUESTRA PEN60/70</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>PESO DE HULE</b>
0.85mm	½ galón	10%	250 gr
	½ galón	15%	375 gr
	½ galón	20%	500 gr
2.00mm	½ galón	10%	250 gr
	½ galón	15%	375 gr
	½ galón	20%	500 gr

Fuente: Elaboración propia

#### **DESCRIPCIÓN:**

Se estimaron 6 muestras de ½ galón de cemento asfáltico PEN 60-70 para las cuales se les adicionó porcentajes con respecto al peso del mismo en un 10%, 15% y 20% en diámetros de 0.85mm y 2.0mm; siendo los pesos requeridos por la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la determinación de los ensayos posteriores de cemento asfáltico modificado.

### **3.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS DE HULE RECICLADO**

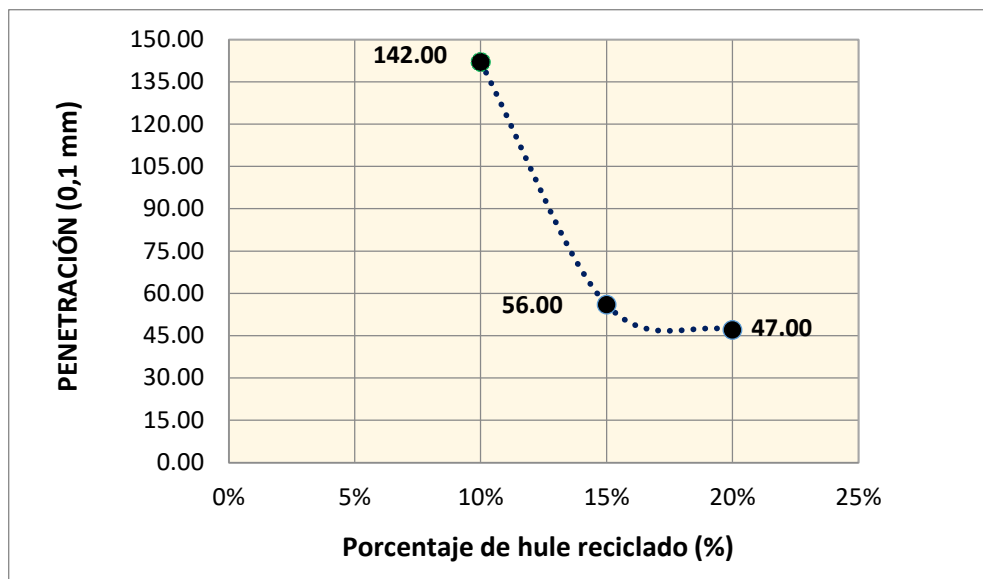
Para determinar el porcentaje de partículas de hule reciclado que logre mejorar las propiedades mecánicas del cemento asfáltico convencional PEN 60/70 se realizó tres ensayos: Penetración, Punto de Ablandamiento y Recuperación elástica.

#### **3.2.1. PENETRACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70**

Se inició con el ensayo de Penetración, siguiendo los parámetros de la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones E-304 junto con el método ASTM D-5 reglamentado, donde se determinó la consistencia y dureza del material modificado mediante agujas normalizadas de 100 gr la cual penetra el material bituminoso a 25°C por un tiempo de 5 segundos arrojando valores en décimas de milímetros que nos permitió determinar, analizar y comprender el comportamiento elastoplástico del asfalto modificado a temperatura ambiente.

Para esto primeramente se selecciona una muestra de material asfáltico, para este caso se hizo uso del PEN 60/70 que será empleado para el diseño Marshall, éste se coloca sobre la estufa eléctrica y se deja calentar, para que pase de fase sólido a líquido es decir, que fluya para poderlo verter en los recipientes de aluminio, el tiempo de calentamiento fue de 20 min aproximadamente, se vierte en estos dos moldes, y se tapa con unos conos de papel por 1 hora para enfriarlos, después de transcurrir ese periodo se extraen los conos y se llevan los moldes a un baño con agua para enfriarlos a una temperatura de 25°C ± 0.5°C por otra hora, al concluir ese periodo se trasladan los recipientes al penetrómetro para realizar las mediciones correspondientes añadiéndole una masa de 100 gr y acercando la aguja hasta la superficie del material, haciéndose 3 penetraciones en cada recipiente con un intervalo de penetración de 5 segundos, y éstos fueron los resultados que se obtuvieron:

**GRÁFICO N°2: Penetración del cemento asfáltico PEN 60/70 con hule reciclado de 0.85mm**

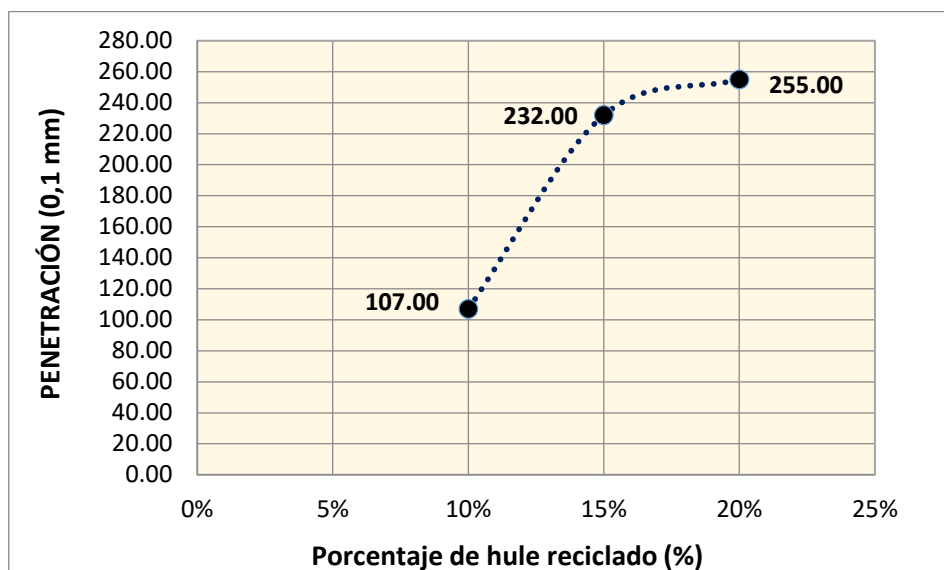


Fuente: Elaboración propia

**DESCRIPCIÓN:** Con relación a la Penetración del cemento asfáltico PEN 60/70 modificado con adición de partículas de hule de diámetro de 0.85mm, se aprecia que la muestra N°01 con el 10% de hule reciclado alcanza una penetración en el cemento asfáltico de 142 décimas de milímetros. Seguido de la muestra N°02 con 15% de hule reciclado alcanzando un valor de penetración de 56 dmm. Y por último la muestra N°03 fue la que obtuvo la menor penetración en relación a las demás muestras con un valor de 47 dmm adicionando un 20% de hule reciclado.

**INTERPRETACIÓN:** Con respecto al gráfico N° 2, se puede deducir que a medida que se incrementa la cantidad de hule reciclado en el cemento asfáltico, este logra una disminución de consistencia debido a la reacción de las moléculas de fracción polar aromática (azufre) presente en el hule que influye en la característica de dureza del asfalto con 47dmm logrando una menor probabilidad de aparición de ahuellamientos en las mezclas con un 20% de hule reciclado, mientras tanto a diferencia del 10% de partículas de hule en donde la penetración alcanza un valor de 142dmm por consiguiente volviéndose un asfalto más blando.

**GRÁFICO N°3: Penetración del cemento asfáltico PEN 60/70 con hule reciclado de 2.00mm**



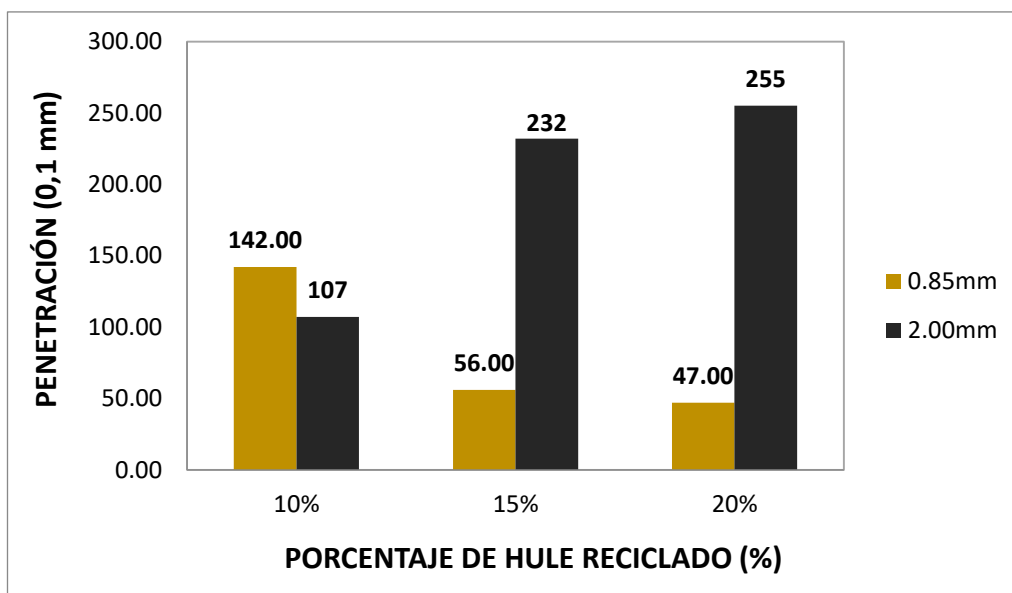
Fuente: Elaboración propia

**DESCRIPCIÓN:** El comportamiento mecánico por parte del cemento asfáltico PEN 60/70 modificado determina un rol importante en la resistencia a la formación de roderas cuando se realice la mezcla asfáltica Marshall en caliente. Es así que en esta oportunidad con un diámetro de partículas de 2.00mm; adicionando un 10% de hule reciclado a la muestra N°01 se alcanza una penetración de 107 dmm. Así mismo adicionando un 15% de partículas de hule a la muestra N°02 se obtiene un valor de penetración de 232 dmm. Y finalizando con la muestra N°03 comprendida con 20% de hule reciclado con respecto al peso, se obtiene el valor más predominante de las muestras con 255 dmm de penetración.

**INTERPRETACIÓN:** En el gráfico N° 3, se puede deducir que para diferentes muestras con contenido de cemento asfáltico PEN 60/70 adicionándole un 10% de hule reciclado de 2.00mm con respecto al peso del asfalto, esta muestra presenta una penetración mínima de 107 décimas de mm (más duro) para menores dosis de hule reciclado, mientras que a diferencia de ir incrementando la dosis de porcentaje de partículas de hule las muestras reaccionan ablandándose producto de la reacción del compuesto de hierro hasta llegar a una penetración de 255dmm con 20% de adición de hule.

#### GRÁFICO N°4:

#### Influencia del porcentaje y diámetro del hule en la penetración del cemento asfáltico PEN 60/70



Fuente: Elaboración propia

**DESCRIPCIÓN:** Se destaca la influencia de los diámetros de 0.85mm y 2.00mm, impartiendo comportamientos distintos en el cemento asfáltico, siendo así que se observa que para 10% con hule de 0.85mm se alcanza un asfalto más duro (142dmm) diferenciando el valor de 107dmm obtenido con el diámetro de 2.00mm. Así mismo, se observa que con la adición de un 20% de hule de 0.85mm se consigue un valor mínimo de 47dmm de penetración, considerando que el valor más alto de penetración obtenido (255dmm) es con el diámetro de 2.00mm.

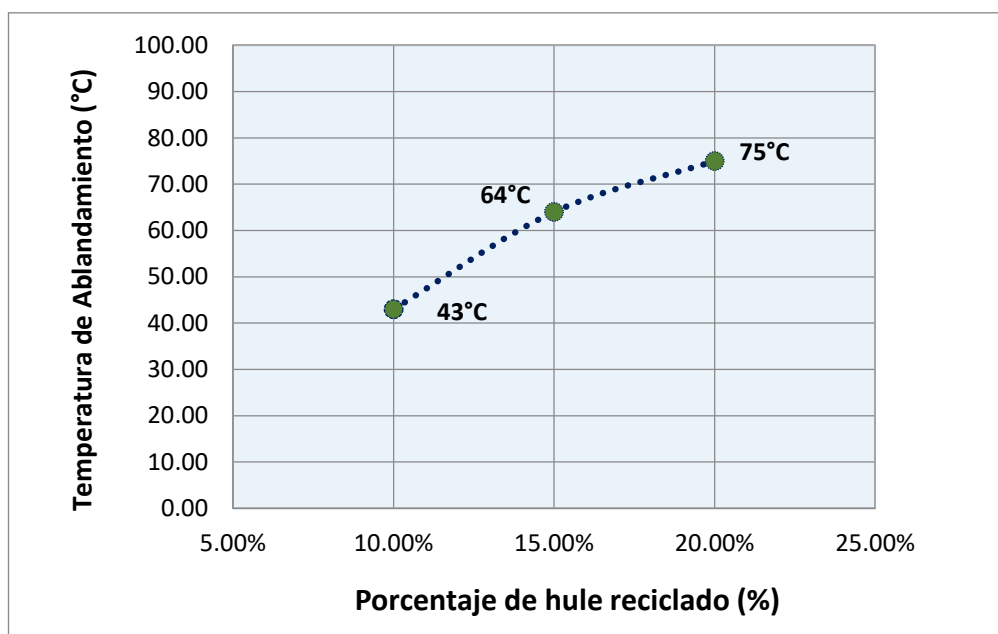
**INTERPRETACIÓN:** En el gráfico N° 4, el porcentaje de partículas con mayor incidencia de incremento para un diámetro de 0.85mm es 10%, teniendo de esta manera un valor máximo de penetración de 142 décimas de mm, mostrando una baja consistencia a temperatura ambiente, mientras que para un diámetro de 2.00mm el porcentaje más influyente es 20%, determinando igualmente una baja consistencia en este porcentaje adicionado. La mayor variación se obtuvo con 20% de hule reciclado de 2.00mm.



### 3.2.2. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL CEMENTO ASFÁLTICO

En el caso del punto de ablandamiento se procedió según indica la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Comunicaciones E-307-2016; se prepararon los especímenes calentándolos siguiendo las especificaciones de no más de 1 hora a una temperatura menor de 110°C utilizando los aparatos de anillo y bola, es decir el material bituminoso se vierte en los anillos de prueba, siendo estos colocados sobre una placa de bronce para evitar la adherencia, y éstos fueron los resultados que se obtuvieron:

**GRÁFICO N°5:**  
**Punto de ablandamiento (°C) con hule reciclado de 0.85mm**



Fuente: Elaboración propia

#### DESCRIPCIÓN:

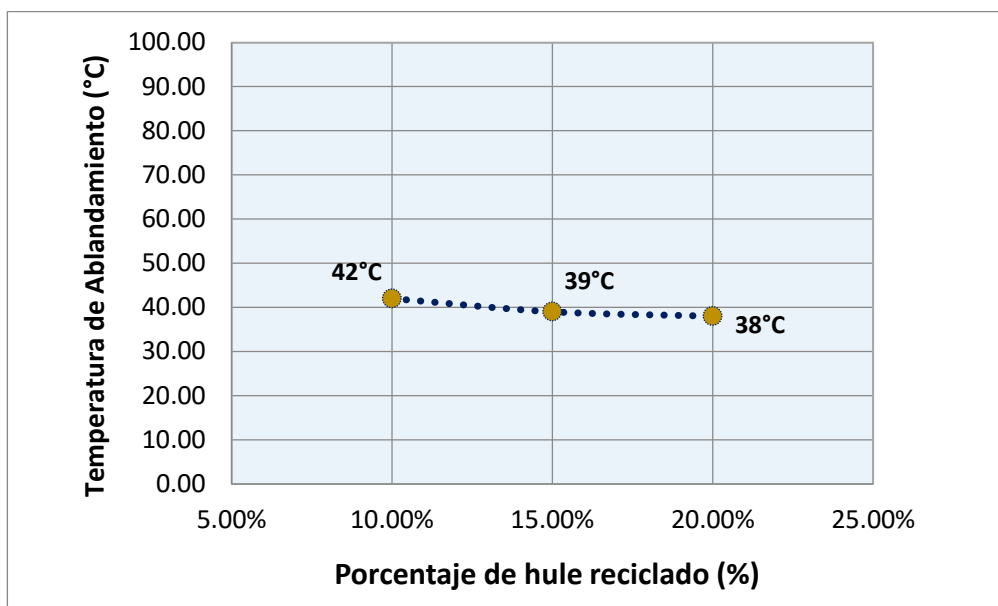
En esta tendencia del gráfico N°05 se destaca los porcentajes que predominan donde el cemento asfáltico obtiene los valores más con mayor probabilidad de demostrar una baja viscosidad del material por

elevación de temperatura, de esta manera obteniendo la temperatura más alta en donde varía la viscosidad, es decir el cemento asfáltico baja su susceptibilidad a los 75°C, siendo esto posible adicionándole un 20% de partículas de hule reciclado. Seguido por la muestra N°02 con una temperatura de 64°C adicionando un 15% de partículas de hule reciclado. Le sigue la muestra N°01 con una temperatura de 43°C incorporándole 10% de hule reciclado.

### **INTERPRETACIÓN:**

Según el gráfico N°05, se observa que el punto de ablandamiento de la muestra de un cemento asfáltico PEN 60/70 alcanza una temperatura máxima ascendente de 75°C, siendo en donde el material logra variar su viscosidad de manera que esta disminuye, logrando así aportar de igual manera una baja susceptibilidad térmica del asfalto, para que este no llegue a ser un sólido quebradizo a bajas temperaturas o un líquido relativamente viscoso a elevadas temperaturas, esta elevación de la temperatura se obtuvo con un 20% de partículas de hule reciclado de 0.85mm. Y por otro lado encontramos una temperatura mínima de ablandamiento del material de 43°C con la adición de 10% de hule reciclado.

**GRÁFICO N°6: Punto de ablandamiento (°C) con de hule reciclado de 2.00mm**

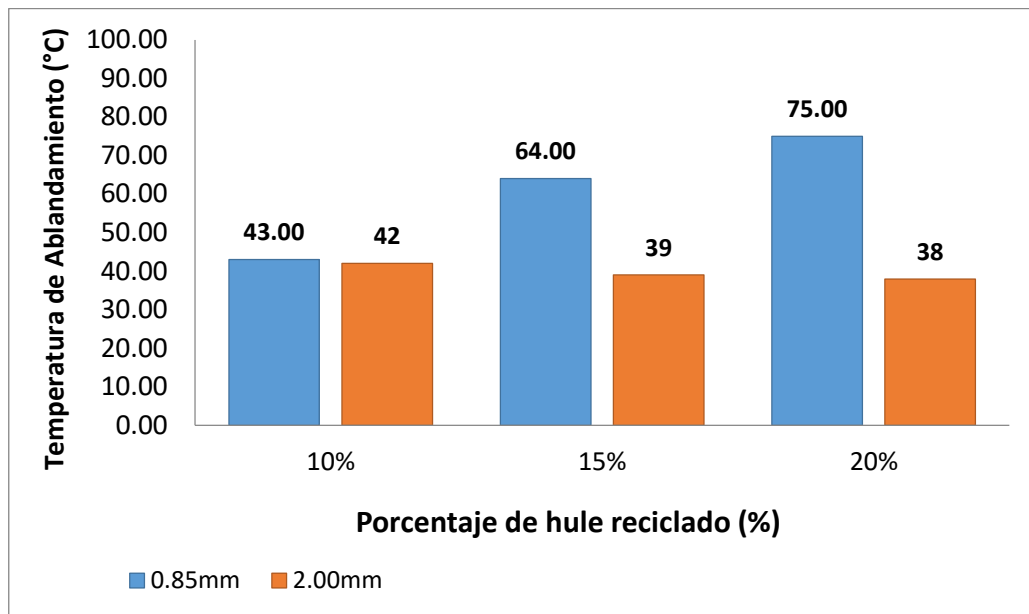


Fuente: Elaboración propia

**DESCRIPCIÓN:** La apreciación obtenida en este gráfico fue de que: con un 10% de hule reciclado de diámetro de 2.00mm la tendencia a la fluidez del material bituminoso de un estado sólido a líquido es de 47°C definido. Seguido de un 15% de hule reciclado, este se vio afectado por la susceptibilidad térmica, es decir su viscosidad cambió de manera brusca a una temperatura de 39°C. Y por último adicionando un 20% de partículas de hule la tendencia del cemento asfáltico modificado a entrar en estado de fluencia fue a los 38°C.

**INTERPRETACIÓN:** Según el gráfico N°6, se observa que el punto de ablandamiento de la muestra de un cemento asfáltico PEN 60/70 modificado alcanza una temperatura máxima de 42°C, es decir baja su viscosidad cuando se le adiciona un 10% de partículas de hule reciclado de 2.00mm, siendo así que al incrementar la cantidad de hule con un 20% llega a una temperatura mínima de ablandamiento de 38°C, determinando en primera instancia una notable dotación de condiciones de resistencia adecuada para soportar la acción del tráfico debido a una baja susceptibilidad para la temperatura de servicio.

**GRÁFICO N°7: Punto de ablandamiento (°C) vs Influencia del porcentaje y diámetro de partículas de hule reciclado**



Fuente: Elaboración propia

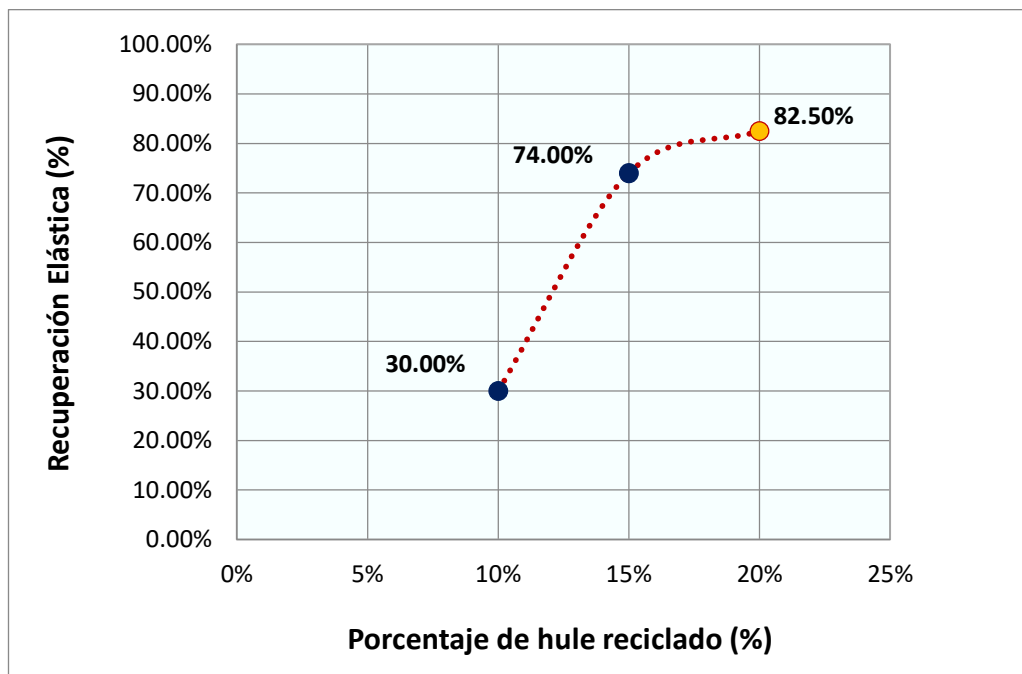
**DESCRIPCIÓN:** Según el gráfico N° 7, en el caso de las muestras modificadas con 0.85mm de diámetro de hule se aprecia que a medida que se aumenta la dosificación del polímero SBR (hule reciclado) la temperatura de ablandamiento también aumenta, iniciando con 43°C, en segundo lugar 64°C y por último alcanza un incremento de 75°C, al contrario de lo que ocurre con el diámetro de 2.00mm a medida que se incrementa el porcentaje del polímero la diferencia es que en estas muestras la temperatura de ablandamiento va decreciendo. Siendo así que se inicia con una temperatura de 42°C, decreciendo en la segunda muestra hasta 39°C, y por último en la muestra final llega a una temperatura de 38°C.

**INTERPRETACIÓN:** Luego de observar el comportamiento térmico del cemento asfáltico modificado con ambos diámetros de partículas (0.85mm y 2.00mm) y tres porcentajes (10%, 15% y 20%) se deduce que los que mayor inciden en la fluidez del material bituminoso son: primero con 0.85mm y un 20% de hule reciclado se alcanza una temperatura de ablandamiento máximo definido del material a 75°C y el otro diámetro influyente es 2.00mm con un 10% de hule reciclado, siendo así que alcanza una temperatura de ablandamiento máxima donde empieza a fluir a los 42°C.

### 3.2.3. RECUPERACIÓN ELÁSTICA

Para medir el comportamiento y el grado de elasticidad del cemento asfáltico modificado con hule reciclado se utilizó la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones E320-2016, que se refiere a Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados. El procedimiento de este ensayo se refiere a un cilindro de dimensiones estipuladas en la norma en donde se sumerge la muestra bituminosa modificada para luego mediante un aparato de torsión impone un esfuerzo a la muestra girando el cilindro 180°C durante 30 minutos, determinándose el ángulo recuperado, siendo los resultados del ensayo los que a continuación se muestran:

**GRÁFICO N°8:**  
**Recuperación elástica del cemento asfáltico**  
**PEN 60/70 con hule reciclado de 0.85mm**



Fuente: Elaboración propia

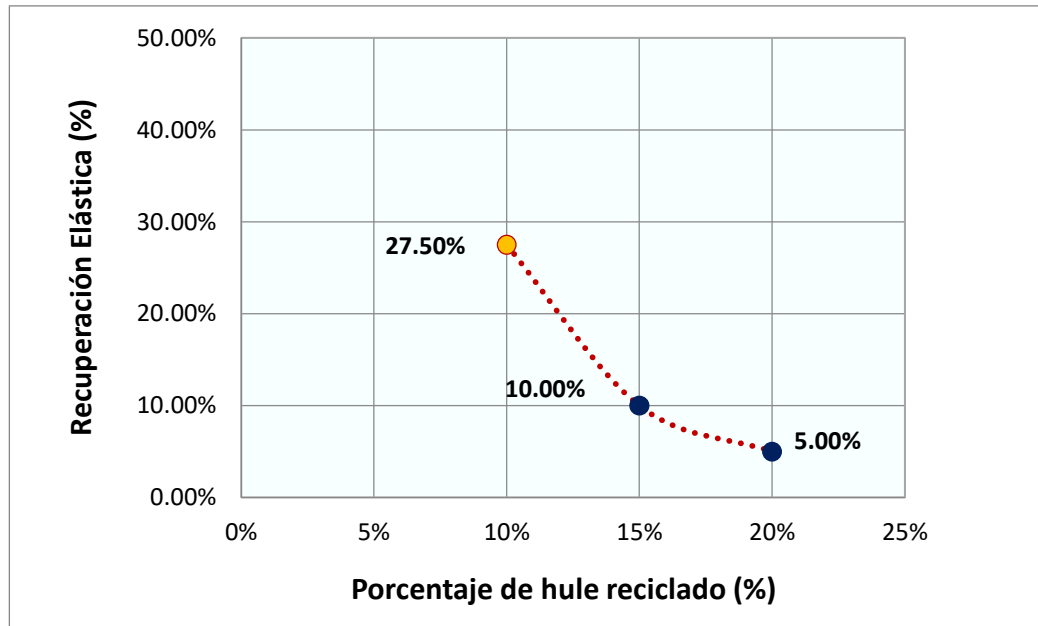
## **DESCRIPCIÓN:**

En esta distribución distinguiremos la recuperación elástica de las muestras modificadas con diámetros de partículas de 0.85mm, siendo las tres muy influyentes de manera positiva en el comportamiento mecánico del ligante y se puede observar que los valores de recuperación de la muestra N°03 con adición de un 20% de hule reciclado supera amplia y favorablemente con un 82.50% a las dos muestras posteriores, a las cuales se les adicionó primero un 15% de hule reciclado, obteniendo una disminución favorable de recuperación elástica de 74% y por ultimo adicionando un 10% de hule reciclado también se obtiene una disminución favorable de resistencia a esfuerzos de deformación permanente en un 30%.

## **INTERPRETACIÓN:**

Como muestra el gráfico N°08, el valor máximo de recuperación elástica alcanzado para el diámetro de partículas de 0.85mm en el asfalto es de 82.50% adicionándole un 20% de hule reciclado, comprobando así la activación e interacción funcional a nivel químico del 71% de Carbono que contiene el hule reciclado y el valor mínimo alcanzado (30%) con este diámetro es adicionándole un 10% de hule reciclado, esto quiere decir que se demostró mediante la adición de los tres porcentajes de hule reciclado al cemento asfáltico PEN 60/70, cada uno de los porcentajes compromete significativamente un incremento notable e importante de esta propiedad de recuperación elástica en el asfalto.

**GRÁFICO N°9:**  
**Recuperación elástica del cemento asfáltico**  
**PEN 60/70 con hule reciclado de 2.00mm**



Fuente: Elaboración propia

**DESCRIPCIÓN:**

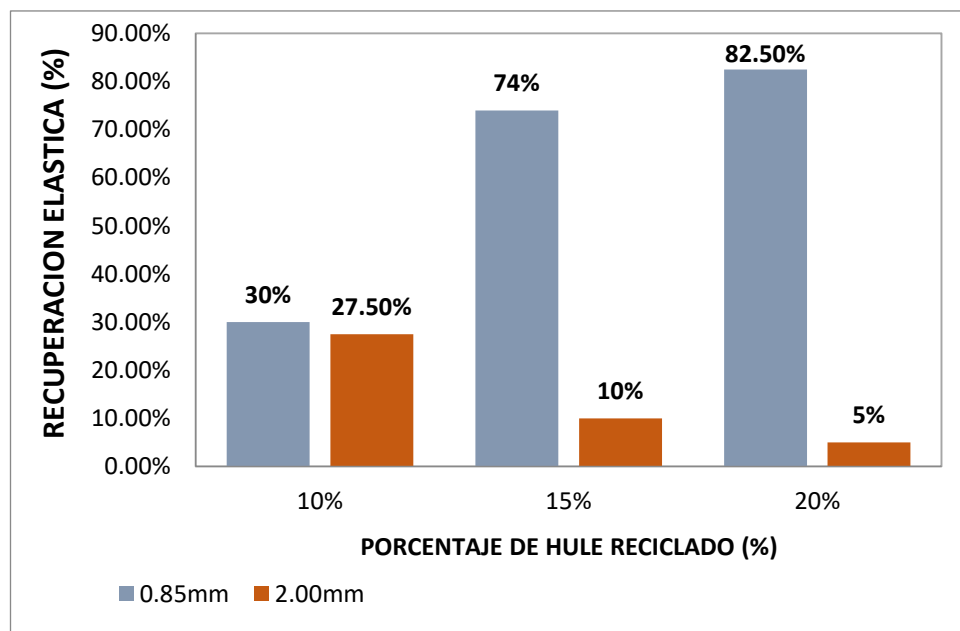
Como muestra el gráfico N°09, el valor máximo de recuperación elástica alcanzado con el diámetro de partículas de hule de 2.00mm en el cemento asfáltico PEN 60/70 es de 27.50% adicionándole un 10% de hule reciclado, decreciendo hasta un 10% de recuperación elástica obtenido con un 15% de adición de partículas de hule reciclado, continuando la curva decreciente de la propiedad con un resultado final de 5% de recuperación elástica con un 20% de hule reciclado. Siendo así que se puede identificar como valor mínimo alcanzado (5%) con este diámetro es adicionándole un 20.00% de partículas hule reciclado, esto además indica que de los tres porcentajes adicionados de partículas de hule reciclado, dos obtienen un incremento moderado e influyente de esta propiedad, como son adicionándole un 10% y 15% al material bituminoso de clasificación PEN 60/70.

## INTERPRETACIÓN:

En el gráfico N°9, la muestra de cemento asfáltico PEN 60/70 que mayor recuperación elástica obtuvo fue a la que se le adicionó un 10% de hule reciclado con un valor significativamente favorable en el cemento asfáltico de 27.50%, debido al principal componente que es el Carbono en el hule reciclado que le aporta dureza y ductilidad. Además del aporte mínimo pero también favorable que se obtuvo con la adición de 20% de hule reciclado, decreciendo en esta muestra la recuperación elástica hasta llegar a un valor de 5%.

## GRÁFICO N°10:

**Influencia del porcentaje y diámetro del hule en la recuperación elástica del cemento asfáltico PEN 60/70**



Fuente: Elaboración propia

## DESCRIPCIÓN:

Se destaca la influencia de los diámetros de 0.85mm y 2.00mm, estableciendo comportamientos de mejora significativa en el cemento asfáltico PEN 60/70, siendo así que se observa en el gráfico N°09 que para un 10% de adición con partículas de hule reciclado de 0.85mm se



alcanza una recuperación elástica de 30% disminuyendo en un 2.50% con respecto al diámetro de 2.00mm con valor de 27.50%. Seguido de la adición de 15% de hule reciclado obteniendo valores de recuperación elástica de 74% con el diámetro de 0.85mm y 10% con 2.00mm. Y por último adicionándole a las muestras un 20% de partículas de hule se obtiene que para el diámetro de 0.85mm se consigue el con mayor respuesta elástica frente a esfuerzos por cargas de tránsito con un 82.50% a diferencia de la disminución notable que ocurre con el diámetro de 2.00mm que se cae hasta un valor de 5% de recuperación elástica.

### **INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 10, el porcentaje de partículas con mayor influencia de incremento para un diámetro de 0.85mm es 20%, teniendo de esta manera un valor máximo de recuperación elástica de 82.50%, mientras que para un diámetro de 2.00mm el porcentaje más influyente es 10%, determinando igualmente una mejora significativa en este porcentaje adicionado. Finalmente se puede deducir que la mayor variación se obtuvo con 20% de hule reciclado de 0.85mm.

### **3.2.4. PORCENTAJE ÓPTIMO DE HULE RECICLADO**

Después de analizar el comportamiento del cemento asfáltico modificado PEN 60/70 con los resultados anteriormente graficados e interpretados, se pasó a determinar el porcentaje en cada diámetro que mayor respuesta favorable y óptima obtuvo el ligante bituminoso frente a los diferentes porcentajes adicionados (10,15 y 20%) para cada muestra ensayada. Por consiguiente se nos hace más viable y conveniente la elaboración del diseño de la primera mezcla asfáltica en caliente con el diámetro de 0.85mm adicionándole un 20% de hule reciclado y para el segundo caso con el diámetro de 2.00mm adicionándole un 10% de partículas de hule reciclado respectivamente.

Es así que los ensayos de modificación por vía húmeda previo a la elaboración de las mezclas asfálticas nos sirve para definir en gran medida la mejor contribución hecha por el ligante para formar parte de un conjunto (mezcla asfáltica).

**TABLA N°3 – Porcentaje óptimo de hule para elaboración de las mezcla asfálticas**

PROPIEDAD	RESULTADOS					
	0.85mm			2.00mm		
	10%	15%	20%	10%	15%	20%
<b>PENETRACIÓN (dmm)</b>	142	56	47	107	232	255
<b>PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)</b>	43	64	75	42	39	38
<b>RECUPERACIÓN ELÁSTICA (%)</b>	30	74	82.50	27.50	10	5
			✓	✓		

Fuente: Elaboración propia  
(Ver anexo 04)

### 3.3. ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para determinar los resultados finales de nuestro pavimento asfáltico modificado se comenzó ejecutando los ensayos de granulometría para establecer el tipo de material y la gradación que utilizaremos en nuestra fabricación de briquetas de mezcla asfáltica para de esta manera definir la resistencia y el grado de deformación de nuestro pavimento asfáltico modificado. Los materiales para el diseño, se obtuvieron de la cantera La Cumbre (agregado fino) y cantera La Sorpresa (agregado grueso).

#### 3.3.1. MEZCLA PATRÓN, SIN ADICIÓN

– MEZCLA DE AGREGADOS

AGREGADOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Grava Chancada	40.0%
Arena Chancada y Zarandeada	60. 0%
Especificaciones de Gradación	MAC – 2

– MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PATRÓN

Especificaciones de Gradación	MAC – 2
Tipo de Cemento Asfáltico	PEN 60/70
Porcentaje Óptimo de C.A	4.8%

– PESO DE LOS MATERIALES

Ya teniendo el diseño de mezcla para la preparación de nuestras briquetas se comenzará a determinar los pesos de los agregados que contendrá cada briqueta iniciando desde nuestra mezcla asfáltica patrón y las mezclas adicionándole el ligante modificado.

**TABLA N°4 - Peso de Muestra Patrón**

% DE CEMENTO ASFÁLTICO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%
Peso liquido asfáltico	48 gr	54 gr	60 gr	66 gr
Peso piedra (40%)	460.8 gr	458.4 gr	456.0 gr	453.6 gr
Peso arena (60%)	691.2 gr	687.6 gr	684.0 gr	680.4 gr
	1200 gr	1200 gr	1200 gr	1200 gr

**3.3.2. MEZCLA MODIFICADA 01, CON ADICIÓN DE 20% DE HULE RECICLADO DE 0.85mm**

– MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA 01

Especificaciones de Gradación	MAC – 2
Tipo de Cemento Asfáltico	PEN 60/70
Porcentaje Óptimo de C.A	5.2%

– PESO DE LOS MATERIALES

**TABLA N°5 - Peso de Muestra modificada 01**

% DE CEMENTO ASFÁLTICO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%
Peso liquido asfáltico	48 gr	54 gr	60 gr	66 gr
Peso piedra (40%)	460.8 gr	458.4 gr	456.0 gr	453.6 gr
Peso arena (60%)	691.2 gr	687.6 gr	684.0 gr	680.4 gr
	1200 gr	1200 gr	1200 gr	1200 gr

**3.3.3. MEZCLA MODIFICADA 02, CON ADICIÓN DE 10% DE HULE RECICLADO DE 2.00mm**

– MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA 02

Especificaciones de Gradación	MAC – 2
Tipo de Cemento Asfáltico	PEN 60/70
Porcentaje Óptimo de C.A	5.3%

– PESO DE LOS MATERIALES

**TABLA N°6 - Peso de Muestra modificada 02**

% DE CEMENTO ASFÁLTICO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%
Peso liquido asfáltico	48 gr	54 gr	60 gr	66 gr
Peso piedra (40%)	460.8 gr	458.4 gr	456.0 gr	453.6 gr
Peso arena (60%)	691.2 gr	687.6 gr	684.0 gr	680.4 gr
	1200 gr	1200 gr	1200 gr	1200 gr

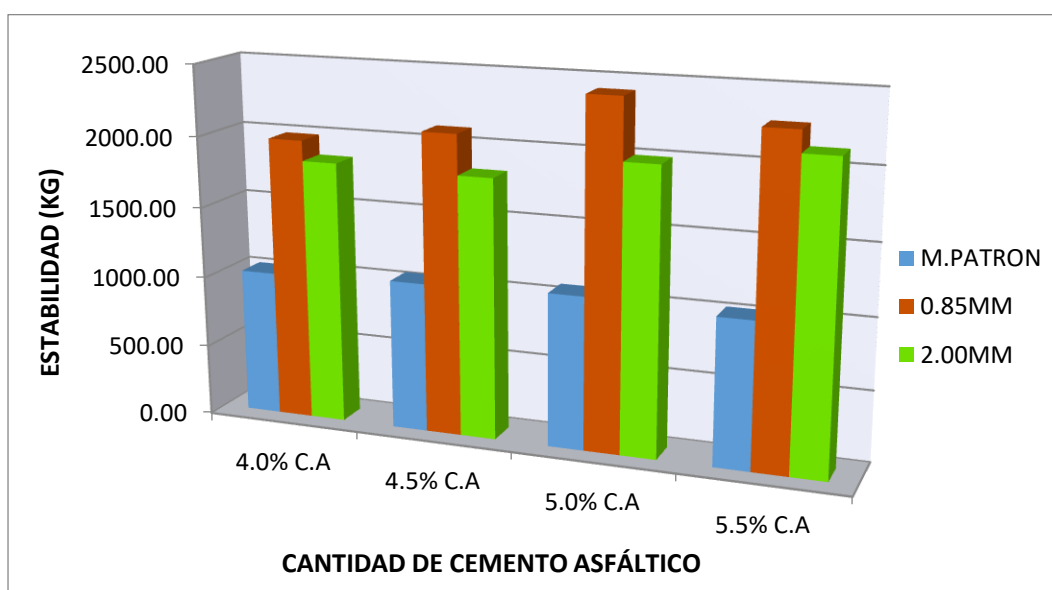
### 3.4. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

**TABLA N°7 – Resultados de Estabilidad con cemento asfáltico modificado**

CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO	VALORES DE ESTABILIDAD (KG)		
	MEZCLA PATRON	20% HULE RECICLADO DE 0.85MM	10 % HULE RECICLADO DE 2.00MM
4.0% C.A	1023	1985	1844
4.5% C.A	1054	2104	1825
5.0% C.A	1077	2420	1996
5.5% C.A	1030	2276	2127

(Ver anexo 05)

**GRÁFICO N° 11: Ensayo de Estabilidad Marshall**



#### DESCRIPCIÓN:

En el presente gráfico comparativo se muestra la estabilidad o en otras palabras la máxima resistencia a la deformación de las briquetas hasta el momento de la rotura en cada diseño de mezcla asfáltica en caliente en los

diferentes porcentajes de cemento asfáltico como son en 4%, 4.5%, 5% y 5.5% que parte desde el diseño de mezcla patrón hacia los diseño de mezcla con cemento asfáltico modificado con 0.85mm-20% hule reciclado y 2.00mm-10% hule reciclado adicionado por la vía húmeda.

Se puede observar que en un porcentaje de 4.5% de cemento asfáltico, la briqueta asfáltica patrón tuvo una estabilidad de 1023 kg, continuando con las briquetas modificadas con cemento asfáltico adicionado con partículas de 0.85mm y 20% de hule reciclado tuvo una estabilidad de 1985 kg y finalmente con la mezcla modificada con cemento asfáltico con partículas de 2.00mm y una adición de 10% se obtuvo una estabilidad de 1844 kg.

Continuando con el contenido de cemento asfáltico de 4.5%, en la mezcla patrón se obtuvo una estabilidad de 1054 kg, seguidamente las briquetas modificadas con cemento asfáltico con partículas de 0.85mm y 20% de hule reciclado tuvo una estabilidad de 2104 kg, y por último la mezcla modificada con cemento asfáltico con partículas de 2.00mm y una adición de 10% se obtuvo una estabilidad de 1825 kg.

Además, se aprecia que para un contenido de cemento asfáltico de 5%, el asfalto patrón tuvo una estabilidad de 1077 kg, para la mezcla n°2 con cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm se obtiene una estabilidad de 2420, para la mezcla n°3 con cemento asfáltico modificado con partículas de 2.00mm se obtiene estabilidad de 1996 kg.

Por último, la comparación nos muestra la estabilidad de cada diseño de mezcla con un contenido de cemento asfáltico de 5.5%, iniciando con una estabilidad de 1030 kg para la mezcla patrón, seguidamente para la mezcla con cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm se obtiene una estabilidad de 2276 kg y finalmente en la mezcla modificada con partículas de 2.00mm y 10% de hule reciclado se obtuvo una estabilidad de 2127 kg.

## **INTERPRETACIÓN:**

El ensayo de Estabilidad es para definir si la mezcla asfáltica cumple con los requisitos mínimos de aceptación de la norma CE.010 de Pavimentos Urbanos, el cual nos indica que la Estabilidad mínima es de 832.09 kg (8.16KN),

teniendo como punto de inicio en nuestra investigación el ensayo de estabilidad con la mezcla patrón resultando una óptima resistencia a cargas con 4.5% y 5% de contenido de cemento asfáltico, y en la mezcla modificada con hule de 0.85mm y adición de 20% por la vía húmeda se observa que la estabilidad de las briquetas va aumentando conforme al contenido de cemento asfáltico, esto se debe a la buena digestión que ocurrió en la interacción del caucho con el betún asfáltico en las propiedades características de penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica, siendo así que al unirse los agregados con el cemento asfáltico modificado hace que la resistencia a la deformación vaya en aumento, demostrando que además añadiendo derivados de compuestos de azufre contenido en el material reciclado evitando la degradación del mismo se mejora la estabilidad de la mezcla bituminosa. Esto quiere decir que si juntamos el cemento asfáltico modificado con diámetro de 0.85mm adicionado con 20% de hule a los agregados pétreos, la estabilidad irá aumentando debido a que el hule sometido a altas temperaturas adquiere una mayor resistencia a la deformación como lo refleja el ensayo de recuperación elástica, beneficiando al pavimento a corto plazo.

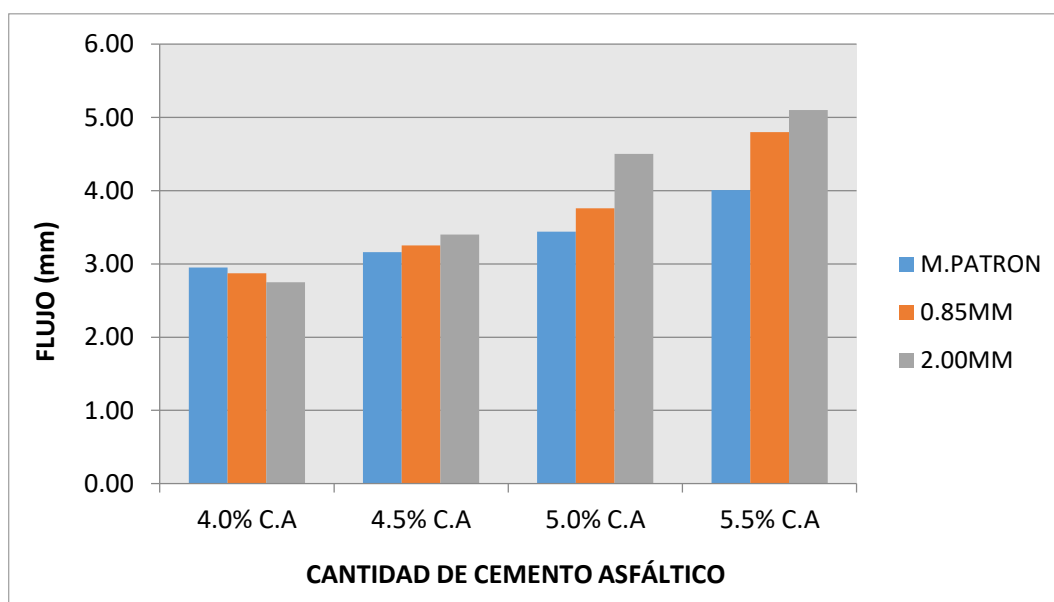
Por otro lado en la mezcla modificada con cemento asfáltico con adición de 10% y diámetro de 2.00mm se observa una disminución de la estabilidad (1844kg) con 4% de contenido de asfalto en relación al diámetro de partículas de 0.85mm, pero con relación a la mezcla patrón si se obtuvo un aumento de esta propiedad (2127 kg) al adicionarse 5.5% de contenido de asfalto, debido que al combinarse el cemento asfáltico con los agregados se obtiene un volumen mínimo de vacíos en la mezcla que impiden la pérdida de estabilidad, esto producto de la compactación; siendo también consecuencia de la poca digestión en la interacción de los materiales en la fase de modificación como lo reflejan los ensayos de recuperación elástica en un 27.5% y el punto de ablandamiento de 42°C indicando estos factores una influencia de recuperación y durabilidad del pavimento a largo plazo.

**TABLA N°8 – Resultados de Fluencia con cemento asfáltico modificado**

CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO	VALORES DE FLUENCIA (mm)		
	MEZCLA PATRON	20% HULE RECICLADO DE 0.85MM	10 % HULE RECICLADO DE 2.00MM
4.0% C.A	2.95	2.87	2.75
4.5% C.A	3.16	3.25	3.40
5.0% C.A	3.44	3.76	4.50
5.5% C.A	4.01	4.80	5.10

(Ver anexo 05)

**GRÁFICO N° 12: Ensayo de Fluencia Marshall**



**DESCRIPCIÓN:**

En el presente gráfico comparativo se muestra la fluencia o en otras palabras el grado de deformación del diámetro de las briquetas hasta el momento de la rotura en cada diseño de mezcla asfáltica en caliente en los diferentes porcentajes de cemento asfáltico como son en 4%, 4.5%, 5% y 5.5% que parte desde el diseño de mezcla patrón hacia los diseño de mezcla con cemento



asfáltico modificado con 0.85mm-20% hule reciclado y 2.00mm-10% hule reciclado.

Se puede observar que en un porcentaje de 4.5% de cemento asfáltico, la briqueta asfáltica patrón tuvo un flujo de 2.95mm, continuando con las briquetas modificadas con cemento asfáltico adicionado con partículas de 0.85mm y 20% de hule reciclado tuvo un flujo de 2.87mm y finalmente con la mezcla modificada con cemento asfáltico con partículas de 2.00mm y una adición de 10% se obtuvo un flujo de 2.75mm.

Continuando con el contenido de cemento asfáltico de 4.5%, en la mezcla patrón se obtuvo un flujo de 3.16mm, seguidamente las briquetas modificadas con cemento asfáltico con partículas de 0.85mm y 20% de hule reciclado tuvo un flujo de 3.25mm, y por último la mezcla modificada con cemento asfáltico con partículas de 2.00mm y una adición de 10% se obtuvo un flujo de 3.40mm. Además, se aprecia que para un contenido de cemento asfáltico de 5%, el asfalto patrón tuvo un flujo de 3.44mm, para la mezcla n°2 con cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm se obtiene un flujo de 3.76mm, para la mezcla n°3 con cemento asfáltico modificado con partículas de 2.00mm se obtiene un flujo de 4.50mm.

Por último, la comparación nos muestra el flujo de cada diseño de mezcla con un contenido de cemento asfáltico de 5.5%, iniciando con una deformación de 4.01mm para la mezcla patrón, seguidamente para la mezcla con cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm se obtiene un flujo de 4.80mm y finalmente en la mezcla modificada con partículas de 2.00mm y 10% de hule reciclado se obtuvo un flujo de 5.10mm.

### **INTERPRETACIÓN:**

Los resultados obtenidos nos muestran que los flujos aumentan al adicionar los dos tipos de diámetros de hule en el cemento asfáltico en comparación con la mezcla patrón, determinando los valores de deformación de las briquetas más bajos cuando el contenido de asfalto es 4% en las mezclas, obteniendo 2.87mm de fluencia con el cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm, y 2.75mm de fluencia con el cemento asfáltico modificado con

partículas de 2.00mm. Por otro lado los flujos más altos de deformación fueron con la adición de 5.5% de contenido de cemento asfáltico, obteniendo 4.80mm de flujo con el cemento asfáltico modificado con partículas de 0.85mm y 5.10mm de fluencia con el cemento asfáltico modificado con partículas de 2.00mm. Siendo esta propiedad de resistencia a la deformación permanente influenciada en mayor parte por las propiedades del ligante modificado y de la gradación de los agregados que trabajan en conjunto para formar una mezcla en caliente que hace que el cemento asfáltico modificado se adhiera más a los materiales pétreos y dando como resultado un aumento en la propiedad de flexibilidad del pavimento modificado.

### **3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE LA INFLUENCIA DE LAS ADICIÓN DE PARTÍCULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO CON ASFALTO MODIFICADO EN COMPARACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL.**

De acuerdo a los ensayos realizados para determinar el grado de influencia de los diámetros de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, se determina por medio de estos que el diámetro con mayor respuesta favorable y más influyente en el comportamiento mecánico de Estabilidad y Fluencia de las mezclas es con el diámetro de partículas de 0.85mm adicionándole 20% de hule reciclado al cemento asfáltico, de esta manera se demuestra que a menor diámetro de partículas para modificación por vía húmeda con el cemento asfáltico mayor es la influencia en la mejora positiva de las propiedades mecánicas al momento de que el material bituminoso trabaje en conjunto con los agregados pétreos para formar una mezcla asfáltica.

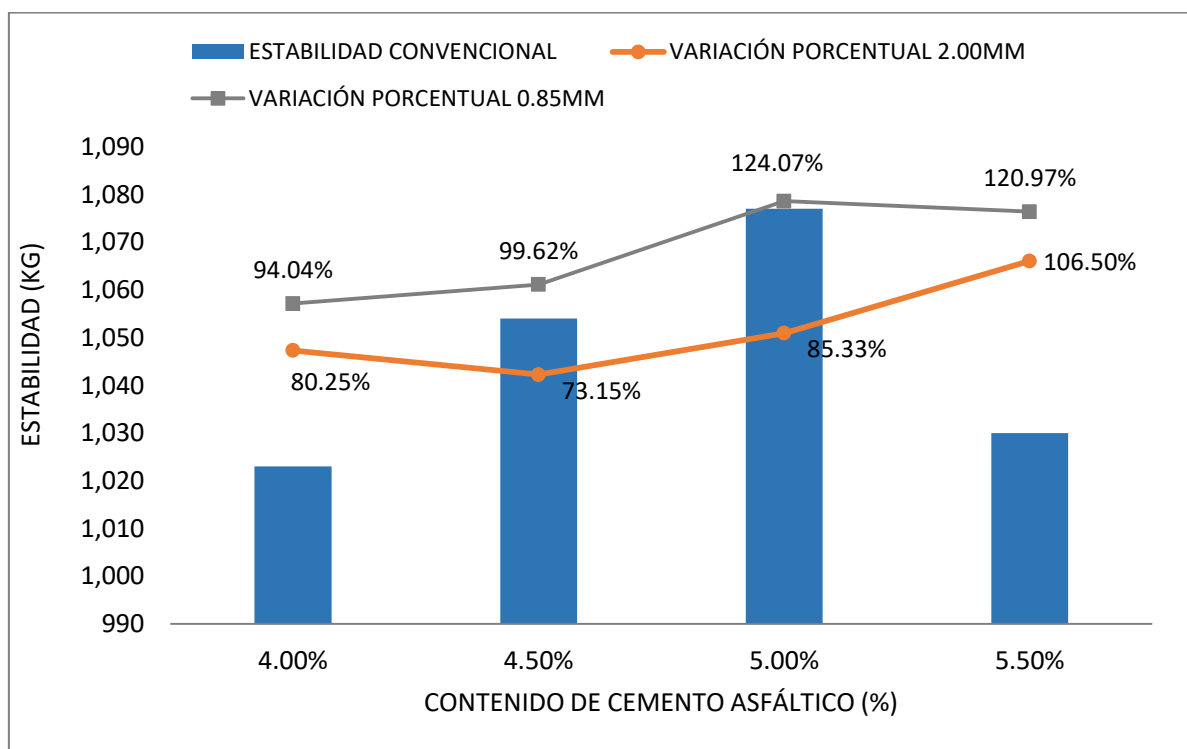
El porcentaje de variación de las propiedades de las mezclas modificadas en comparación con las propiedades del pavimento asfáltico tradicional se muestra a continuación:

**TABLA N°9 – Variación de Estabilidad con mezcla modificadas en comparación con mezcla asfáltica tradicional**

% C.A	Estabilidad (kg)		Variación en kg	Variación Porcentual (%)	Análisis comparativo
	Con asfalto Tradicional	Con Asfalto Modificado 0.85mm + 20% hule			
4.0%	1023	1985	+962	+94.04	Aumenta Estabilidad
4.5%	1054	2104	+1050	+99.62	Aumenta Estabilidad
5.0%	1077	2420	+1343	+124.07	Aumenta Estabilidad
5.5%	1030	2276	+1246	+120.97	Aumenta Estabilidad

% C.A	Estabilidad (kg)		Variación en kg	Variación Porcentual (%)	Análisis comparativo
	Con asfalto Tradicional	Con Asfalto Modificado 2.00mm + 10% hule			
4.0%	1023	1844	+821	+80.25	Aumenta Estabilidad
4.5%	1054	1825	+771	+73.15	Aumenta Estabilidad
5.0%	1077	1996	+919	+85.33	Aumenta Estabilidad
5.5%	1030	2127	+1097	+106.50	Aumenta Estabilidad

**GRÁFICO N° 13: Variación Porcentual de Estabilidad**



Fuente: Elaboración propia

## INTERPRETACIÓN:

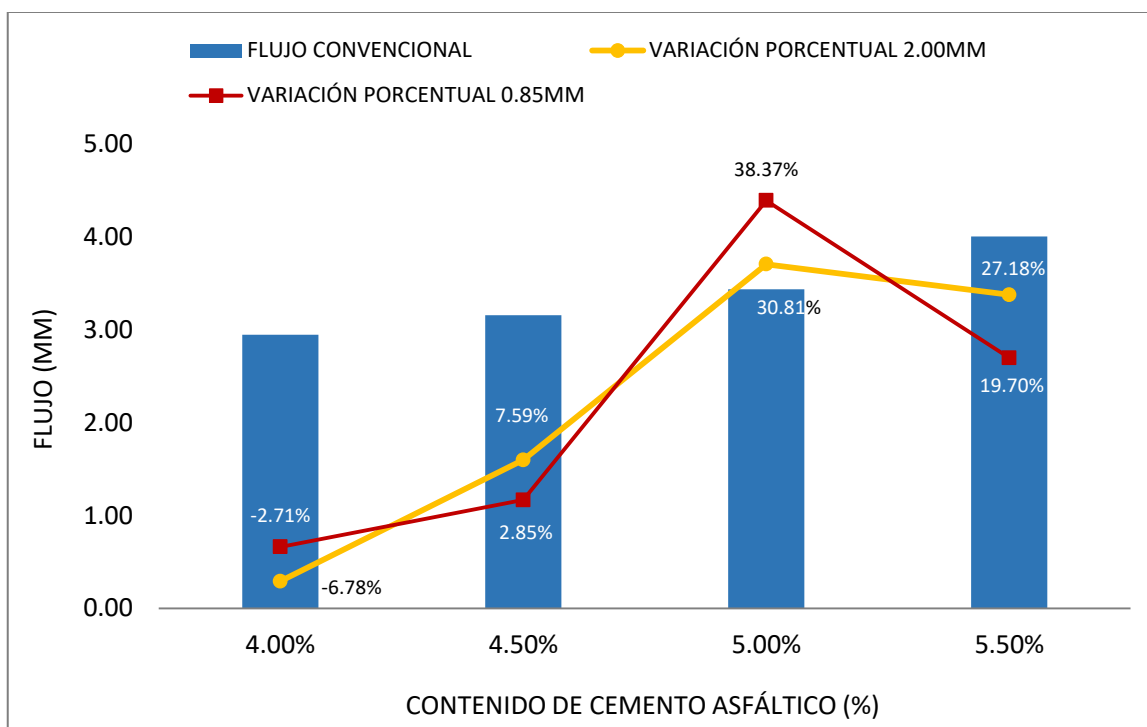
En los resultados obtenidos se puede demostrar el alto grado de influencia del hule reciclado en la variación porcentual de la estabilidad con respecto a la mezcla convencional, ya que debido a la composición química del material reciclado, determinando su compatibilidad con el cemento asfáltico con un alto contenido de carbono generando este compuesto un aumento de resistencia a la deformación permanente producto de la modificación el ligante bituminoso mediante la vía húmeda, es por ello que al evaluar su comportamiento en conjunto con la mezcla en su estabilidad se puede ver la variación ascendente obteniendo resultados desde 94.04% de incremento hasta 120.97% con el diámetro (0.85mm) de mejor respuesta a cargas de tránsito.

**TABLA N°10 – Variación de Flujo con mezcla modificadas en comparación con mezcla asfáltica tradicional**

% C.A	Flujo (mm)		Variación en mm	Variación Porcentual (%)	Análisis comparativo
	Con asfalto Tradicional	Con Asfalto Modificado 0.85mm + 20% hule			
4.0%	2.95	2.87	-0.08	-2.71	Se consideran igual
4.5%	3.16	3.25	+0.09	+2.85	Se consideran igual
5.0%	3.44	4.76	+1.32	+38.37	Aumenta Flujo
5.5%	4.01	4.80	+0.79	+19.70	Aumenta Flujo

% C.A	Flujo (mm)		Variación en mm	Variación Porcentual (%)	Análisis comparativo
	Con asfalto Tradicional	Con Asfalto Modificado 2.00mm + 10% hule			
4.0%	2.95	2.75	-0.20	-6.78	Disminuye Flujo
4.5%	3.16	3.40	+0.24	+7.59	Aumenta Flujo
5.0%	3.44	4.50	+1.06	+30.81	Aumenta Flujo
5.5%	4.01	5.10	+1.09	+27.18	Aumenta Flujo

**GRÁFICO N° 14: Variación Porcentual de Flujo**



Fuente: Elaboración propia

**INTERPRETACIÓN:**

El flujo de cada una de las briquetas modificadas fueron sometidas a los ensayos de deformación, logrando demostrar que hay una alta resistencia a la temperatura de falla y al desgaste de las mezclas asfálticas modificadas, esto debido a la influencia de las propiedades elásticas en el comportamiento del ligante asfáltico modificado provenientes de las moléculas polares (azufre) y al comportamiento viscoso del ligante proveniente de las moléculas no polares como son el hidrógeno y el carbono aumentando sus contenidos en combinación con el hule reciclado. Variando el flujo en incrementos porcentuales con respecto a la mezcla convencional de -2.71 % de manera ascendente hasta 38.37% y luego bajando los niveles de deformación nuevamente en un 19.70% con respecto a las deformaciones en la mezcla patrón.

#### IV. DISCUSIÓN

1. Según los resultados obtenidos de la caracterización física en cuanto al diámetro utilizado del hule reciclado se puede deducir que de acuerdo al ensayo granulométrico realizado se traten de tamaños menores a los 3mm, cumpliendo de esta manera con lo exigido por las Especificaciones Estándares de asfalto con caucho por la vía húmeda de la ASTM D-6114, la cual nos indica que el tamaño máximo permitido para el mezclado por la vía húmeda es de 2.36mm y un contenido de hule de hasta 22%. Por otro lado en cuanto a la caracterización química en la investigación de Danfer Pereda y Nahum Cubas nos detallan que para asegurar una buena interacción y compenetración del hule con el cemento asfáltico, el material a adicionar debe tener en su composición química elementos cuyos porcentajes varíen o se asimilen de acuerdo a los elementos que contiene el asfalto por naturaleza, como se demostró en el análisis realizado al producto reciclado a utilizar, corroborando la información de Danfer Pereda y Nahum Cubas, de tal manera que se acierta en la compatibilidad de elementos como el carbono (71%), hidrogeno (6%) y azufre (1.4%), beneficiando a las propiedades del asfalto convencional.
2. De la tabla N°3 respecto a los porcentajes óptimos de hule reciclado para la posterior elaboración de las mezclas asfálticas, se logró demostrar que la penetración disminuye con el diámetro de 0.85mm y aumenta con el de 2.0mm, obteniendo como óptimos el valor de 47 dmm y 107 dmm. Además del incremento del punto de ablandamiento y la recuperación elástica con ambos diámetros. De acuerdo a la norma ASTM D 6114 (Especificaciones Estándares de asfalto con caucho por la vía húmeda) indica que la penetración mínima para asfalto modificado debe ser 25 dmm, teniendo como otro factor importante el punto de ablandamiento mínimo de 51.7°C y un valor de recuperación elástica mínimo de 40%; el cual con el diámetro de 2.00mm no cumple los requisitos establecidos para un asfalto modificado con dos valores resultantes que son el punto de ablandamiento máximo alcanzado de 42°C y 27.50% de recuperación elástica.

3. En la investigación que realizaron Danfer Pereda Rodríguez y Nahum Cubas Parimango en el Perú en el 2015, en su tesis “Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales”, demostraron mediante sus ensayos al cemento asfáltico la variación en la mejora del comportamiento físico-mecánico del asfalto convencional con respecto a la disminución de la susceptibilidad térmica reflejada específicamente en la propiedad del punto de ablandamiento que aumenta hasta 19°C más obteniendo un valor de 66°C y la penetración disminuye en 19 dmm obteniendo un valor de 58 dmm menos, todo esto viéndose favorecido en el buen desempeño a altas temperaturas y la alta resistencia a las deformaciones evaluado por la propiedad de recuperación elástica que alcanzó un valor de 40% superando el 3% obtenido con el asfalto convencional. Bajo estas premisas corroboramos la investigación de Danfer Pereda Rodríguez y Nahum Cubas Parimango de manera asertiva ya que comparándola con esta tesis podemos decir el pavimento asfáltico modificado con hule reciclado es altamente beneficioso para las propiedades del cemento asfáltico evaluando la penetración alcanzando un valor de 47 dmm con el diámetro de 0.85mm incorporando 20% de hule reciclado, el punto de ablandamiento alcanzando valores de hasta 75°C máximo y la mejora significativa de recuperación elástica de hasta un 82.50%.
  
4. También, Sergio Quispe Espinoza en su estudio titulado “Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificadas con caucho” concluye que el ligante modificado es mucho más viscoso que el ligante virgen, además de que el valor de la propiedad de penetración del ligante modificado disminuye hasta un 50% con respecto al valor del ligante PEN 60/70, mostrando un valor promedio de 33 dmm de consistencia; verificando esto en un factor de influencia del ligante asfalto caucho en la mezcla asfáltica con el ensayo de resistencia a la tracción con aditivo, viéndose esta no afectada por el material reciclado logrando superar sin problemas el 80% mínimo requerido por Supervave de valor de resistencia a la tracción.

También es importante saber que sus valores de estabilidad que obtuvo mediante el ensayo Marshall están en un rango de 2200 kg y 2250 kg y sus valores de flujo varían de 4.5mm – 5.5 mm, los cuales fueron sometidos a adición de caucho reciclado de diámetro de 0.30mm hasta 0.60mm en el cemento asfáltico para ser procesado y elaborar las mezclas asfálticas modificadas. Teniendo en cuenta que el porcentaje de adición que utilizó Sergio Quispe para su investigación fue del 18% de hule reciclado donde corroboramos la información de esta investigación la cual es confiable debido a que la metodología es similar y los procedimientos son parecidos, siendo así que si comparamos la investigación de Sergio Quispe con esta tesis podemos percatarnos que embarcamos los temas a tratar como la primera etapa de estudio la cual es el las propiedades del cemento asfáltico para verificar el comportamiento de este con respecto a los ensayos de penetración que alcanzaron un valor promedio de 47dmm con el diámetro más pequeño, un aumento valorativo del punto de ablandamiento de hasta 75°C y para el evaluación de la segunda etapa de la investigación se alcanzaron valores de hasta 2276 kg en estabilidad y 4.80mm de flujo, todo esto logrado con incorporación de 20% de hule reciclado de 0.85mm.

5. En la investigación que realizó Antonio Páez García y Alberto Valarezo Vargas en Ecuador, buscando el mejoramiento de las propiedades de las mezclas asfálticas, concluyen que la estabilidad de la mezcla asfáltica al adicionar el hule triturado al cemento asfáltico en porcentajes de 1%, 1.5% y 2% hace que la estabilidad de las briquetas modificadas tengan una variación proporcional en forma ascendente de la propiedad con respecto a las especificaciones ASTM D1559 y AASHTO T245 alcanzando un valor máximo de estabilidad de 3083.52 kg y un flujo de 13 centésimas de pulgada con 5.70% de contenido de cemento asfáltico en la mezcla, demostrando en la investigación de Antonio Páez y Alberto Valarezo se llega a concretar que las propiedades del hule son capaces de aumentar la capacidad de resistencia de la carpeta asfáltica pero con limitantes de rigidez mucho mayores que no son permitidos para considerarse un



pavimento flexible En comparación con la tesis, que se demostró que al adicionar un 20% de hule reciclado al cemento asfáltico con diámetro de 0.85mm y también con el 10% de hule con diámetro de 2.00mm se logran obtener valores de estabilidad y flujo ascendentes pero dentro de los parámetros permitidos por las normas peruanas para pavimentos, esto debido al alto grado de recuperación elástica que contrarresta los valores de estabilidad con flexibilidad que aporta el material reciclado al asfalto, haciéndolo más duradero.

6. Por otro lado, determinamos la influencia positiva del tamaño de partículas de 0.85mm de hule reciclado en las propiedades mecánicas del asfalto PEN 60/70, porque al adicionar partículas de menor diámetro hace que la digestión del mezclado a altas temperaturas sea mucho mejor a diferencia de un diámetro mayor, evidenciando esto mejoras significativas en 75°C del punto de ablandamiento y un 82.50% en el valor de recuperación elástica, puesto que estas son las propiedades más influyentes en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas y el pavimento posteriormente, asegurando un mejor desempeño de la carpeta asfáltica en climas fríos como calientes que son causa de deterioro del pavimento a corto plazo de manera continua; reafirmando el aporte de la investigación de Mario Chamorro Molina que obtuvo un valor ascendente de la capacidad de recuperación elástica de 30% con la adición de 16% de hule reciclado de 0.84mm superando ampliamente al 6% del asfalto convencional y un aumento del punto de ablandamiento con un valor de 70°C con asfalto modificado incorporando 16% de hule a diferencia del 48°C obtenido con asfalto AC-20, posteriormente los ensayos previos de las propiedades del cemento asfáltico permitieron optar por el que obtuvo mejoras importantes y el más apto para la elaboración de las mezclas, concluyendo así que la estabilidad obtenida de 2074 kg supera el rango establecido para tránsito pesado que es de 832.09 kg, a la vez manteniendo el flujo de la mezcla en los parámetros permitidos con un valor de 11 centésimas de pulgadas. Siendo así que las buenas prácticas en ambas investigaciones den conformidad al estudio realizado.

7. Según Carlos Vera Cortez nos dice que la principal alteración que genera la adición de las partículas poliméricas a los asfaltos es la modificación en la relación viscosidad – temperatura influenciando este principalmente en el rendimiento de las mezclas asfálticas como en el comportamiento físico – mecánico del asfalto cuando haya cambios de temperatura. Lo cual dicho por Vera se pudo notar en los ensayos realizados en esta tesis por medio de la adición de partículas de hule reciclado por la vía húmeda se pudo notar el comportamiento del cemento asfáltico teniendo como referencia la penetración y el punto de ablandamiento de este material y la capacidad que tiene este para ablandarse o volverse más consistente dependiendo de la temperatura aplicada en los ensayos, es por ello que reafirmamos la información proporcionada por Vera Cortez la cual fue evidenciada y por lo dicho es confiable.
  
8. Ramírez nos detalla que para asegurar una buena compenetración del agregado con el asfalto en la mezcla asfáltica es necesario tener un tamaño óptimo y homogéneo de partículas para de esta manera completar la digestión a un estado suficiente aceptable para efectos de ingeniería en donde la granulometría cuanto más fino es más rápidamente se completa la digestión hasta llegar a un periodo en donde las propiedades se ven beneficiadas. Tal es así que en esta tesis se empleó esta variable tan importante para poder determinar el objeto de la investigación, pues se fue en busca de la mejora de las propiedades del pavimento asfáltico tradicional que, logrando mejorar las propiedades para que primero el asfalto reaccione de una manera positiva y el pavimento no tenga deformaciones ya que alcanza un alto grado de recuperación elástica y una buena estabilidad en la mezcla, es por ello que corroboramos la información de Ramírez ya que acierta en lo dicho que cuanto más fino es el diámetro de partículas, las propiedades se ven beneficiadas debido a una buena digestión del hule con el asfalto.

9. Y por último, también podemos evidenciar que la hipótesis formulada de la investigación que nos proyectamos lograr, luego de haber realizado todos los ensayos pertinentes, los resultados ratifican que nuestro planteamiento inicial fue correcto, siendo por lo tanto positivo y de potencial aplicación en los trabajos de pavimentación, por lo que exhortamos su valoración y empleo, por las bondades de esta nueva tecnología. Siendo así que bajo las premisas de aumentar la resistencia de las carpetas asfálticas y la reducción de la contaminación ambiental dándole utilidad a los neumáticos desechados se reafirma bajo los ensayos y resultados que demuestran que es posible emplear el hule reciclado en diámetro de 0.85mm con un porcentaje de 20% como mejorador de las mezclas asfálticas tal cual indican los parámetros de la norma CE.010 que nos exige los valores mínimos que debe cumplir un pavimento asfáltico por el Método Marshall, dentro de los parámetros prescritos nos establece que la propiedad de fluencia debe de estar en el rango de 2 a 4 milímetros para ser considerado como flexible y la estabilidad debe alcanzar como mínimo los 8.16 KN.

## V. CONCLUSIONES

1. Se caracterizó física y químicamente el hule reciclado, siendo este sometido a un ensayo granulométrico cumpliendo con la referencia normativa de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM D-6114, concluyendo que según los diámetros incorporados se tiene que es menor a 2.36mm para la vía húmeda y según la composición química es un material compatible en elementos de Carbono (71%), Hidrogeno (6%) y Azufre (1.4%) con el asfalto.
2. Se determinó el porcentaje de hule reciclado más conveniente en cada diámetro ensayado para mejorar las propiedades mecánicas del cemento asfáltico PEN 60/70 para ser usados en las mezclas asfálticas es el de 0.85mm con adición de 20% de hule ya que este cumple con lo exigido en los parámetros de la norma ASTM D 6114 y 10% con 2.00mm con la observación de que este no cumple con lo exigido en la normativa internacional. Llegando a obtener un valor máximo considerable de 82.50% de recuperación elástica con adición de 20% con diámetro de 0.85mm y determinándose un aumento del punto de ablandamiento de 75°C.
3. Se concluye que el diseño de mezcla asfáltica en caliente elaborado en esta investigación es recomendable para la realización de un pavimento asfáltico modificado, adicionando hule reciclado de neumáticos en 20% con 0.85mm en contenidos óptimos de cantidad de cemento asfáltico de 5.2% obteniendo un valor de estabilidad de 2396 kg y flujo de 4.04mm, y el otro diseño con 10% de 2.00mm en contenidos óptimos de cantidad de cemento asfáltico de 5.3% obteniendo un valor de estabilidad de 2061 kg y flujo de 4.83mm logrado con una combinación de 40% de agregado grueso y 60% de agregado fino.

4. Se determinó que al adicionar cemento asfáltico PEN 60/70 modificado con hule reciclado a las mezclas asfálticas aumenta significativamente la propiedad de estabilidad del pavimento asfáltico en un +123.82% con el menor diámetro, manteniéndose dentro de los rangos que exige la norma CE.010 de Pavimentos Urbanos. Logrando también una buena resistencia a la acción de falla (deformación) en un +22.42%, debido al alto grado de recuperación elástica que posee el cemento asfáltico modificado.
  
5. Finalmente se concluye que al utilizar el hule reciclado de neumáticos dentro del pavimento asfáltico influye mejorando las propiedades tanto del cemento asfáltico en la recuperación elástica y punto de ablandamiento así como también en las mezclas asfálticas mejorando las propiedades de fluencia a la deformación y la estabilidad, cooperando positivamente de esta manera con nuestro medio ambiente al darle un valor agregado al material de hule reciclado.

## VI. RECOMENDACIONES

- A futuros investigadores continuar con la investigación con otros diámetros menores a los 2.00mm y otros porcentajes de hule reciclado para la modificación por vía húmeda del cemento asfáltico convencional con los cuales se pueda lograr mejoras planteadas en las normas internacionales para el caso de pavimentos asfálticos modificados.
- A futuros investigadores continuar con el estudio del hule reciclado como material mejorador de otras propiedades del asfalto y las mezclas asfálticas en caliente, pero esta vez cambiar el tipo de cemento asfáltico por uno de consistencia más blanda, por ejemplo un PEN 85/100 o PEN 120/150 aplicándolo a climas diversos.
- Se recomienda a las empresas peruanas modificadoras de asfalto utilizar el hule reciclado de 0.85mm con adición del 20% como mejorador de las propiedades del ligante asfáltico ya que es un material sin costo alguno.
- Al alcalde del Distrito de Nuevo Chimbote el cual es uno de los nueve distritos de la Provincia de Santa, bajo la administración del Gobierno regional de Ancash, tomar en cuenta la investigación realizada como una alternativa económica que brindará buenos resultados para lograr una mejora en los pavimentos asfálticos de los sectores más vulnerables y más propicios a fallas mecánicas por tránsito pesado.

## VII. REFERENCIAS

ANDINO Aroca, Cristina. Mezclas modificadas por adición de nanopartículas. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias y la Construcción, 2016. 177pp.

CÁCERES Morales, Carlos. Estado del arte (Diseño de mezclas asfálticas). Tesis. México: Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería y Ciencias, 2007. 136pp.

E-ASPHALT. Dispensers Polyemer Modified Bitumen. [en línea]. 2003 [Fecha de consulta: 19 de Abril de 2018]. Disponible en <http://www.e-asfalto.com/aditivos/aditivos.htm>

ELIZONDO, Fabián, SALAZAR, Jorge y VILLEGAS, Ernesto. Caracterización de asfaltos modificados con diferentes aditivos. [en línea]. Diciembre 2015. [Fecha de consulta: 04 de Julio de 2017]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/280897281>  
ISSN: 1409-2441

Construction and Building Materials. Zurich, 1(164). Marzo 2018.  
ISSN: 0950-0618

CHAMORRO, Mario y CHANCUSI, Patricio. Estudio de las propiedades mecánicas del asfalto modificado con polvo de caucho reciclado incorporado por vía húmeda y por vía seca frente al asfalto flexible sin modificación. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería y Ciencias físicas y Matemática, 2017. 212pp.

MINAYA, Silene y ORDOÑEZ, Abel. Diseño moderno de pavimentos asfálticos. 2da ed. Lima: Editorial ICG, 2006. 487pp.

FAJARDO, Luis y VERGARAY, Douglas. Efecto de la incorporación por vía seca de polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad San Martín de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2014. 145pp.

HUAMÁN Guerrero, Néstor. La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. Tesis (Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de Transportes). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. 146pp.

La química de los asfaltos [mensaje en un blog]. Venezuela: Armegi, O. (2 de Junio de 2017). [Fecha de consulta: 6 de Junio de 2017]. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/323964294/La-Quimica-de-Los-Asfaltos>

LÓPEZ, Francisco. Fundamentos de polímeros [en línea]. 1ra ed. Venezuela: Smart Service C.A, 2004 [Fecha de consulta: 27 de Abril de 2017]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Lopez-Carrasquero/publication/262639386\\_FUNDAMENTOS\\_DE\\_POLIMEROS/links/00b4953851077bb65f000000/FUNDAMENTOS-DE-POLIMEROS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Lopez-Carrasquero/publication/262639386_FUNDAMENTOS_DE_POLIMEROS/links/00b4953851077bb65f000000/FUNDAMENTOS-DE-POLIMEROS.pdf).

MARÍN Hernández, Alberto. Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura, 2004. 135pp.

MINAYA, Silene y ORDOÑEZ, Abel. Diseño moderno de pavimentos asfálticos. 2da ed. Lima: Editorial ICG, 2006. 487pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Especificaciones técnicas Generales para construcción de carreteras EG-2013 [en línea]. Perú, 2013 [Fecha de consulta: 04 de Mayo de 2017]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4955.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf)

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. [En línea] 17 Marzo 2016. [Citado el: 17 de Abril de 2017] Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=16983](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16983)

PÁEZ, Antonio y VALAREZO, Alberto. Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de caucho pulverizado por vía húmeda. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Civil, 2015. 164pp.



PEREDA, Danfer y CUBAS, Nahum. Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2015. 107pp.

Propuesta técnica de Pavimentación con Adoquines de Concreto para mejorar el Ornato turístico de la Av. España de la ciudad de Trujillo [Mensaje en un blog]. Trujillo: Romel, A., (6 de julio de 2009). [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2017]. Recuperado de <http://elblogderomel.blogspot.pe/>

QUISPE Espinoza, Sergio. Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificadas con caucho: caucho-asfalto. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2006. 351pp.

RAMÍREZ Jiménez, Lina. Pavimentos con polímeros reciclados. Tesis (Título de Ingeniera Civil). Antioquia: Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2011. 72pp.

RAMÍREZ Palma, Náyade. Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, 2006. 116pp.

RIAÑO, Francisco. Analizar las ventajas y desventajas en el uso de asfaltos modificados con diversos polímeros como alternativa para la construcción y conservación de carreteras. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Venezuela: Universidad José Antonio Páez, 2013. 89pp.

VERA Cortez, Carlos. Análisis del comportamiento reológico y caracterización del asfalto modificado con llanta triturada (caucho) en relación al asfalto convencional, como alternativa de mitigación de contaminación ambiental por llantas en desuso. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Bolivia: Universidad Mayor de San Simón, 2014. 140pp.

WULF Rodríguez, Fernando. Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Tesis (Título de Ingeniero Constructor). Valdivia: Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, 2008. 82pp.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### TÍTULO:

“Influencia del tamaño de las partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, Distrito de Nuevo Chimbote – Ancash - 2018”

#### LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

#### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

La deformación permanente y la poca durabilidad de los pavimentos asfálticos en Nuevo Chimbote, y a la vez la acumulación de neumáticos y residuos de ellos en diversas zonas de la ciudad hace posible la presente investigación, la cual busca modificar las propiedades mecánicas del asfalto convencional con incorporación de partículas de hule reciclado, para valorar su influencia en un uso potencial del mismo en nuestro país.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>¿Cómo influye la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado en el Distrito de Nuevo Chimbote – Ancash 2018?</p>	<p><b>General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Determinar la influencia de la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado, Distrito de Nuevo Chimbote - Áncash - 2018.</li> </ul>	<p>La adición de las partículas de hule reciclado influye mejorando significativamente las propiedades mecánicas de un pavimento asfáltico, en el distrito de Nuevo Chimbote, Áncash - 2018.</p>	<p>La presente investigación se justifica debido a las notables fallas de los pavimentos asfálticos convencionales con propiedades mecánicas insuficientes para la transitabilidad, nos brinda el paso a dar uso del hule reciclado de llantas, incorporando el material como agente modificador, sin embargo en la actualidad dicho material no está siendo aprovechado de manera productivo. Contribuyendo de esta manera al cuidado del medio ambiente, a darle otra alternativa de uso a dichos residuos y a minimizar la descontrolada contaminación ambiental, logrando así un desarrollo sostenible.</p>	<p>Cantidad de hule reciclado</p> <p>Composición</p> <p>Propiedades mecánicas</p>	<p>Diámetro de partícula</p> <p>Porcentaje en peso</p> <p>Análisis químico</p> <p>Penetración</p> <p>Punto de ablandamiento</p> <p>Recuperación elástica</p> <p>Estabilidad y fluencia</p>
	<p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Caracterizar las partículas de hule reciclado, estableciendo porcentajes y diámetros a usar en cuanto al contenido de asfalto.</li> <li>– Determinar el porcentaje de partículas de hule reciclado que mejore las propiedades mecánicas del cemento asfáltico convencional.</li> <li>– Elaborar las mezclas de asfalto con la adición de partículas de hule reciclado a las mezclas de asfalto tradicional.</li> <li>– Determinar las propiedades mecánicas de las mezclas de asfalto modificado y del asfalto tradicional.</li> <li>– Analizar los resultados sobre la influencia de la adición de partículas de hule reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento con asfalto modificado y realizar una comparación con las propiedades del pavimento asfáltico tradicional.</li> </ul>				

**ANEXO 02:**  
**ANÁLISIS QUÍMICO DEL HULE**  
**RECICLADO**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

## LASACI



### INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE	: JHANCARLO VALVERDE VALDERRAMA
TESIS	: "Influencia del tamaño de partículas de Hule Reciclado en las propiedades mecánicas del Pavimento Asfáltico modificado-Nuevo Chimbote,2018"
MUESTRA	: Caucho reciclado
FECHA DE INGRESO	: 16 DE ABRIL DEL 2018
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACION	UNIDADES	RESULTADOS
CARBONO	%	71
HIDROGENO	%	6
AZUFRE	%	1.4
CLORO	%	0.3
HIERRO	%	14
OXIDO DE SILICIO	%	6
CROMO	ppm	95
NIQUEL	ppm	72
PLOMO	ppm	68
CADMIO	ppm	6
TALIO	ppm	0.3

Método de espectrometría de gases  
 Método de Ensayo para sulfatos por digestión-espectrofotometro  
 Método de ensayo por Absorción Atomica

TRUJILLO, 20 DE ABRIL DEL 2018



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

☎ 949959632 / 933623974

**ANEXO 03:**  
**FICHA TÉCNICA Y HOJA DE**  
**SEGURIDAD DEL CEMENTO**  
**ASFÁLTICO PEN 60/70**



PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ**

CLASE DE PRODUCTO				
<b>ASFALTO SÓLIDO</b>				
TIPO DE PRODUCTO				
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>				
NOMBRE DE PRODUCTO				
<b>ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN</b>				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
<b>PENETRACIÓN</b> a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49
<b>VOLATILIDAD</b> Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
<b>DUCTILIDAD</b> a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
<b>SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO</b> , % masa	99,0		D-2042	T-44
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA</b> Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0,8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
<b>FLUIDEZ</b> Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar			
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
<b>REQUERIMIENTO GENERAL:</b>	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
<b>OBSERVACIONES:</b>				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				

**PETROPERÚ ... LA ENERGÍA QUE MUEVE TU MUNDO**



## Hoja de Datos de Seguridad de Materiales

Pág. 1 de 5  
Edición: Diciembre 2017

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO E INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre comercial	: PETROPERÚ ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN
Nombre alternativo	: C.A. 60/70 PEN
Empresa	: Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.
Dirección	: Av. Enrique Canaval Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Teléfonos	: (01) 614-5000; (01) 630-4000
Portal Empresarial	: <a href="http://www.petroperu.com.pe">http://www.petroperu.com.pe</a>
Atención al cliente	: (01) 630-4079 / 0800 77 155 (línea gratuita) : <a href="mailto:servcliente@petroperu.com.pe">servcliente@petroperu.com.pe</a>

### 2. COMPOSICIÓN

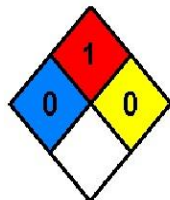
El Asfalto Sólido 60/70 PEN es una mezcla multicomponente de hidrocarburos derivados del petróleo, no volátiles, de elevado peso molecular.

### 3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

El producto es una sustancia inflamable (el grado depende de la temperatura de manipulación).

La clasificación de riesgos según la NFPA (National Fire Protection Association) es la siguiente:

- Salud : 0
- Inflamabilidad : 1
- Reactividad : 0



Los peligros también se pueden asociar a los efectos potenciales a la salud:

#### - CONTACTO

OJOS: El contacto con el producto en estado líquido (alta temperatura) provoca quemaduras graves y los vapores causan irritación.

PIEL: El producto en estado líquido (alta temperatura) ocasiona quemaduras. A temperatura ambiente no hay efectos serios a corto plazo.

#### - INHALACIÓN

La inhalación de los vapores del producto caliente provoca dolor de cabeza, irritación nasal y respiratoria, tos, mareos y vértigo.

#### - INGESTIÓN

La ingestión del producto a la temperatura de manipulación es improbable; sin embargo si se realiza a temperatura ambiente provoca irritación al estómago y vómitos.



## Hoja de Datos de Seguridad de Materiales

Pág. 2 de 5  
Edición: Diciembre 2017

### 4. PRIMEROS AUXILIOS

#### - CONTACTO

**OJOS:** Lavar con abundante agua por 15 minutos. Obtener atención médica de inmediato para la remoción del producto y el tratamiento de las quemaduras si el contacto ocurrió con el producto a alta temperatura.

**PIEL:** En caso de contacto con el producto caliente aplicar solamente agua con la finalidad de refrescar el área, no remover el producto si está adherido a la piel, esto debe ser realizado por personal médico. El lavado con jabón y abundante agua es suficiente si el producto está a temperatura ambiente, en todo caso, obtener atención médica si el contacto causa una irritación.

#### - INHALACIÓN

Trasladar inmediatamente a la persona afectada hacia un ambiente con aire fresco. Administrar respiración artificial o resucitación cardiopulmonar de ser necesario y obtener atención médica de inmediato.

#### - INGESTIÓN

Para el producto frío, no inducir al vómito y obtener atención médica de inmediato.

### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIO

Evacuar al personal del área hacia una zona más segura y a una distancia conveniente si hay tanque o camión cisterna involucrado. Detener el sistema de calentamiento del producto y controlar la fuga en caso de que exista. Utilizar medios adecuados para extinguir el fuego y agua en forma de rocío para enfriar los tanques o los recipientes que contienen al producto.

**AGENTES DE EXTINCIÓN:** Polvo químico seco, CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y espuma.

**PRECAUCIONES ESPECIALES:** Durante el incendio, evitar que el agua entre en contacto directamente con el producto, debido a los riesgos de salpicaduras y erupciones violentas. La extinción de fuego de grandes proporciones sólo debe ser realizada por personal especializado.

### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

**DERRAMES PEQUEÑOS Y MEDIANOS:** Detener la fuga y ventilar la zona afectada. Contener el líquido caliente con arena, tierra u otro material apropiado. Dejar enfriar el producto para que se solidifique y trasladarlo hacia un depósito identificado. Si es posible, recuperar el producto o realizar la disposición final de acuerdo a un procedimiento implementado.

**DERRAMES DE GRAN PROPORCIÓN:** Evacuar al personal no necesario. Apagar el sistema de calentamiento del tanque o camión tanque. Detener la fuga o interrumpir el suministro del producto y ventilar el área. Contener el derrame y dejar enfriar, recoger el producto y si es posible, proceder a su recuperación. Colocar el material contaminado en recipientes identificados para su disposición final.

**NOTA:** Todo el personal que esté involucrado en la contención del derrame debe utilizar un equipo de protección personal, además debe seguir las instrucciones de un plan de contingencia implementado.

## Hoja de Datos de Seguridad de Materiales

Pág. 3 de 5  
Edición: Diciembre 2017

### 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Usar un equipo completo de protección durante la manipulación del producto en estado líquido; posteriormente proceder a la higiene personal.

Antes de realizar el procedimiento de carga y/o descarga del producto, conectar a tierra los tanques o camiones tanque.

Usar sistemas a prueba de chispas y explosión. Evitar las salpicaduras.

Almacenar en tanques especialmente diseñados para tal fin; debido a las facilidades para su manipulación, los tanques poseen un sistema de calentamiento, por lo tanto, es necesario realizar un monitoreo permanente de la temperatura para evitar el sobrecalentamiento del producto. Se recomienda mantener la temperatura a 30 °C por debajo del punto de inflamación del producto.

El producto no debe ser almacenado en instalaciones ocupadas permanentemente por personas.

La manipulación y almacenamiento del producto en estado líquido se debe realizar de tal manera que no sea posible el contacto con el agua.

NOTA: El envasado del producto en cilindros y la transferencia a camiones cisterna debe ser realizado siguiendo estrictamente un procedimiento implementado.

N° CAS: 8052-42-4

### 8. CONTROL A LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

- CONTROL DE INGENIERÍA: Instalar sistemas de control de temperatura en los tanques de almacenamiento, para evitar el sobrecalentamiento del producto. Contar con duchas y lavajos e identificar las salidas de emergencia en el lugar de trabajo.
- PROTECCIÓN RESPIRATORIA: No es necesaria cuando existan condiciones de ventilación adecuadas. Si se realiza alguna actividad donde exista la exposición a altas concentraciones de vapores del producto en el aire, se requiere de un equipo de respiración autocontenido.
- OJOS: Gafas de seguridad contra salpicaduras químicas.
- PIEL: Guantes de neopreno, nitrilo o PVC, zapatos de seguridad, protectores faciales y ropa completa de protección.

### 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

APARIENCIA, COLOR, OLOR	: Sólido a temperatura ambiente, líquido durante su manipulación a más de 100° C, homogéneo y libre de agua. Color de marrón oscuro a negro y olor característico.
GRAVEDAD ESPECÍFICA a 15.6/15.6°C	: 1.01 – 1.03 aprox.
PUNTO DE INFLAMACIÓN, °C	: 232 mín.
PUNTO DE AUTOIGNICIÓN, °C	: 485 aprox.
LÍMITES DE INFLAMABILIDAD, % Vol. en aire	: De 1 a 6 aprox.
SOLUBILIDAD EN AGUA	: Insignificante.

**Hoja de Datos de Seguridad de Materiales**Pág. 4 de 5  
Edición: Diciembre 2017**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

ESTABILIDAD: Estable a temperatura ambiente.

COMPATIBILIDAD DEL MATERIAL: Es incompatible con agentes oxidantes fuertes como cloro, hipoclorito de sodio, peróxidos, etc. Durante su manipulación a altas temperaturas es incompatible con el agua, debido a la posibilidad de formar erupciones y salpicaduras violentas.

**11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

La toxicidad del producto está asociada al contacto y a los niveles de exposición.

**EFFECTOS**

Se pueden considerar los efectos agudos y crónicos indicados en el ítem 3 (CONTACTO/INHALACIÓN/INGESTIÓN).

**CARCINOGENICIDAD**

Clasificación IARC: No aplicable

**12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

El producto al entrar en contacto accidental con el agua puede hundirse, asentándose en el fondo al ser insoluble.

No presenta toxicidad para la vida acuática.

Al contacto con el suelo se superpone en el terreno manteniendo su estado físico.

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA DISPOSICIÓN FINAL**

La disposición final del producto se realiza de acuerdo a la reglamentación vigente.

**14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

El producto debidamente etiquetado es transportado a granel en camiones cisterna, que poseen sistemas de calentamiento para mantener el producto en estado líquido; el personal que realiza el traslado del producto debe estar previamente capacitado para acciones de emergencia durante el trayecto. Si el producto está envasado en cilindros y es transportado a temperatura ambiente no representa un peligro. El transporte se realiza de acuerdo a las normas de seguridad vigentes.

- Código Naciones Unidas : UN 3257 - Líquido a temperatura elevada (Transportado a granel).  
UN 1999 - A temperatura ambiente (Transportado en cilindros).

- Señalización pictórica :  
según NTP 399.015.2001  
(Estado líquido).



**Hoja de Datos de Seguridad de Materiales**Pág. 5 de 5  
Edición: Diciembre 2017**15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

Clasificación: No aplicable  
Etiquetado: No aplicable  
Frasas R: No aplicable  
Frasas S: No aplicable

**16. INFORMACIÓN ADICIONAL**

En el Perú, el producto ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN está reglamentado por normas dictadas por el Ministerio de Energía y Minas:

- Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 026-94-EM (10/05/94), y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 052-1993-EM (18/11/1993), y modificaciones.
- Reglamento de medio ambiente para las actividades de hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 015-2006-EM (02/03/2006), y modificaciones.
- Reglamentos para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos aprobados por los Decretos Supremos N° 030-1998-EM (03/08/1998) y N° 045-2001-EM (26/07/2001), y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos aprobado por Decreto Supremo N° 043-2007-EM (22/08/2007), y modificaciones.

El uso del producto fuera del territorio peruano está sujeto a la reglamentación vigente de cada país.

EMERGENCIAS a nivel nacional 116  
Dirección General de Capitanías y Guardacostas : (511) 209-9300

Nota: El presente documento constituye información básica para que el usuario tome los cuidados necesarios a fin de prevenir accidentes. PETROPERÚ no se responsabiliza por actividades fuera de su control.

\*\*\*\*\*

**ANEXO 04:**  
**CERTIFICADOS DE**  
**LABORATORIO MTC**





"Decenio de la igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Lima, 22 MAR. 2018

OFICIO N° 051 - 2018-MTC /14.01

Señor:  
**VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO**  
Av. Pardo N° 3331 – Miraflores – Alto Chimbote  
ANCASH

Asunto : Resultados de Ensayos de Laboratorio

Referencia : a) REC N° 007-2018-FPL-501-G  
b) O.S. N° 012-2018-MTC/14.01.  
c) Boleta: B004 – 0000331

Me dirijo a ustedes en atención a los documentos de la referencia, a fin de remitir el Informe de Ensayo N°012-2018-MTC/14.01 (06 folios), con los resultados de ensayos de laboratorio, específicamente solicitados y realizados a seis (06) muestras de PEN mezclado con caucho; remitidas e identificadas como procedente del proyecto: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018", ubicado en la Región Ancash.

Atentamente,



  
Ing. Segundo S. Villalobos Celis  
Dirección de Estudios Especiales  
DIRECTOR (E)



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO.	<b>MUESTRA</b>	: Asfalto con caucho.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Pardo N° 3331 -Miraflores - Alto Chimbote.	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: La que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018".	<b>CANTIDAD</b>	: 1 galón aprox
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2018-FPL-501-G.	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Envase metálico.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2018/01/11	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 10% DE CAUCHO DE 0,85mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	142
RECUPERACIÓN ELASTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-6084	30,0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	43,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



**ING. ALI E. DIAZ CAMA.**  
Lima, 21 de Marzo del 2018.

UMA (1/6)  
adcladm/eva  
O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel. : 481-3707

Fax : 481-0677



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO.	<b>MUESTRA</b>	: Asfalto con caucho.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Pardo N° 3331 - Miraflores - Alto Chimbote.	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: La que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018".	<b>CANTIDAD</b>	: 1 galón aprox.
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2018-FPL-501-G.	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Envase metálico.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2018/01/11	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 15% DE CAUCHO DE 0,85mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	56
RECUPERACIÓN ELÁSTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-6084	74,0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	64,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



**ING. ALI E. DIAZ CAMA.**  
Lima, 21 de Marzo del 2018.

UMA (2/6)  
ado/edm/eva.  
O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677





**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO.	<b>MUESTRA</b>	: Asfalto con caucho.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Pardo N° 3331 - Miraflores - Alto Chimbote.	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: La que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018".	<b>CANTIDAD</b>	: 1 galón aprox.
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2018-FPL-501-G.	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Envase metálico.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2018/01/11	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 20% DE CAUCHO DE 0,85mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	47
RECUPERACIÓN ELASTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-6084	82,5
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	75,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



ING. ALI E. DIAZ CAMA.  
Lima, 21 de Marzo del 2018.

LMA (3/6)  
ado/edm/eva.  
O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO.	<b>MUESTRA</b>	: Asfalto con caucho.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Pardo N° 3331 -Miraflores - Alto Chimbote.	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: La que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018".	<b>CANTIDAD</b>	: 1/2 galón aprox.
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2018-FPL-501-G.	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Envase metálico.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2018/01/11	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 10% DE CAUCHO DE 2,00mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	107
RECUPERACIÓN ELASTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-6084	27,5
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	42,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



ING. ALI E. DIAZ CAMA.  
Lima, 21 de Marzo del 2018.

UMA (4/6)  
adc/edm/eva  
O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO.	<b>MUESTRA</b>	: Asfalto con caucho.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Pardo N° 3331 -Miraflores - Alto Chimbote.	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: La que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018".	<b>CANTIDAD</b>	: 1/2 galón aprox.
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2018-FPL-501-G.	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Envase metálico.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2018/01/11	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 15% DE CAUCHO DE 2,00mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	232
RECUPERACIÓN ELASTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-6084	10,0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	39,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



**ING. ALI E. DÍAZ CAMA.**  
Lima, 21 de Marzo del 2018.

UMA (5/6)  
ad/edml/eva.  
O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 012 - 2018 - MTC/14.01**

SOLICITANTE : SR. VALVERDE VALDERRAMA JHAN CARLO. MUESTRA : Asfalto con caucho.  
 DOMICILIO LEGAL : Av. Pardo N° 3331 -Miraflores - Alto Chimbote. IDENTIFICACIÓN : La que se indica  
 PROYECTO : "Influencia del Tamaño de Partículas de Hule Reciclado de las Propiedades Mecánicas del Pavimento Asfáltico Modificado, Nuevo Chimbote - 2018". CANTIDAD : 1/2 galón aprox.  
 REFERENCIA : REC N° 007-2018-FPL-501-G. PRESENTACIÓN : Envase metálico.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018/01/11 FECHA DE ENSAYO : 2018/03/16 al 2018/03/21.

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70 CON 20% DE CAUCHO DE 2,00mm	METODO DE ENSAYO	RESULTADOS
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, 0,1mm	ASTM D-5	255
RECUPERACIÓN ELASTICA, 25°C, 5cm/min (%)	ASTM D-8084	5,0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, anillo y bola (°C)	ASTM D-36	38,0

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2018/01/11.
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del
- Este documento no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07-01-98).



*(Signature)*  
**ING. ALTE. DÍAZ CAMA.**  
 Lima, 21 de Marzo del 2018.

UMA (6/6)  
 adbecm/eva  
 O.S. N°012



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677

**ANEXO 05:**  
**CERTIFICADOS DE ENSAYO**  
**MARSHALL**





**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

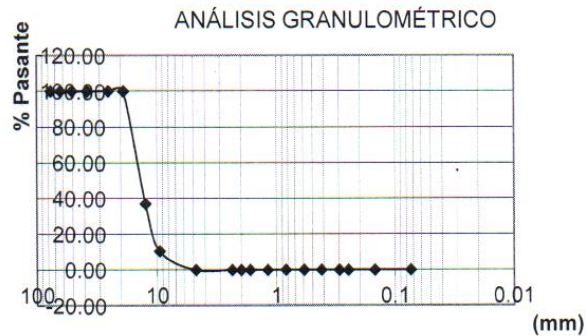
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** COISHCO - CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA C – 01

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

TAMIZ	Peso retenido (gr)	% ret.Parcial
Nº	0.0	0.0
3"	0.0	0.0
2 1/2"	0.0	0.0
2"	0.0	0.0
1 1/2"	0.0	0.0
1"	0.0	0.0
3/4"	0.0	0.0
1/2"	630.5	67.24
3/8"	264.7	28.23
Nº 4	42.5	4.53
Nº 8	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Nº 30	0.0	0.0
Nº 50	0.0	0.0
Nº100	0.0	0.0
Nº200	0.0	0.0
PLATO	0.0	0.0



Grava (%)	100
Arena (%)	0.00
Finos (%)	0.00
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Clasif. SUCS	GP
Absorción	1.37
Abrasión	35.2%
Contenido de Humedad	0.86

**Nota:**

SUCS: Grava

AASHTO: Roca fracturada

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

Mg. Víctor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE - 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

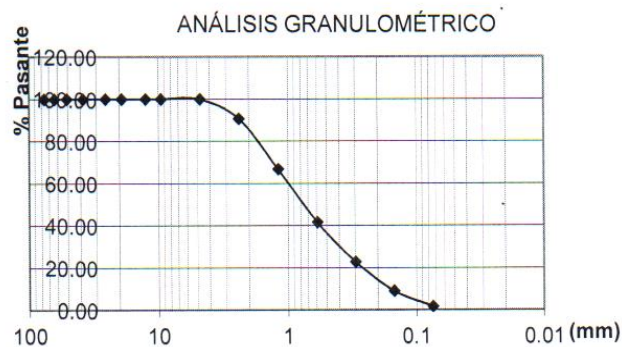
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** LA CUMBRE - CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA C - 02

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Desing. del Tamiz US	A Peso Retenido gr,	B % Pasante
4		
3	0.00	0.00
1 1/2	0.00	0.00
1	0.00	0.00
3/4	0.00	0.00
1/2	0.00	0.00
3/8	0.00	0.00
Nº 4	0.00	0.00
Nº 8	61.00	9.24
Nº 16	158	23.94
Nº 30	166	25.15
Nº 50	124	18.79
Nº 100	91	13.79
Nº 200	48	7.27
P Nº 200	12	1.82



Grava (%)	0.00
Arena (%)	98.18
Finos (%)	1.82
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Clasif. SUCS	SP
Absorción	0.84
Contenido de Humedad	0.69

**Nota:**

SUCS: Arena mal graduada

AASHTO: Arena fina

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela De Ingeniería Civil



Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

## ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(NORMA TECNICA PERUANA NTP 400.012, ASTM D422)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE - 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

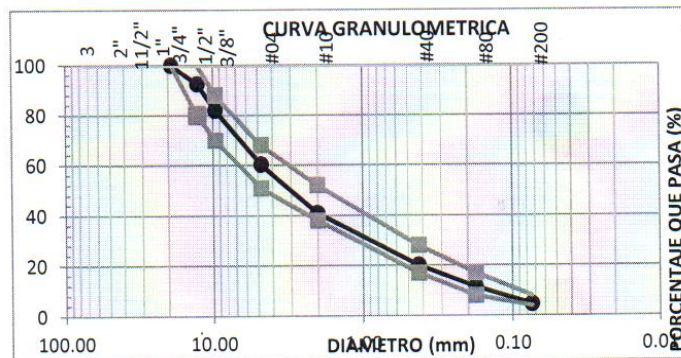
**ASUNTO :** ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

**LUGAR :** LA CUMBRE - CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA C - 01

**TABLA: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%) Acumulado		GRADACION MAC - 2
			Retenido	Pasa	
3"	76.200	-	-	-	
2"	50.300	-	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	-	
1"	25.400	-	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0	100
1/2"	12.700	7.5	7.5	92.5	80 - 100
3/8"	9.625	10.5	18.0	82.0	70 - 88
N° 4	4.760	21.7	39.7	60.3	51 - 68
N° 10	2.000	19.3	59.0	41	38 - 52
N° 40	0.426	20.9	79.9	20.1	17 - 28
N° 80	0.177	8.6	88.5	11.5	8 - 17
N° 200	0.074	6.9	95.4	4.7	4 - 8
-N° 200		4.6	100.0		



**Nota:**

Las muestras fueron analizadas por el solicitante en el laboratorio

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

*Dr. Victor Rolando Rojas Silva*  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

*Lener Hamilton Villanueva Vásquez*  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



## ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA PATRÓN

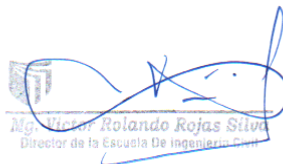
**TABLA: CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL**

ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
			D-2041						
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.0	2.263	2.608	6.405	17.93	62.70	1023.21	2.95	3468.50
2	4.5	2.317	2.593	4.063	16.08	71.50	1054.38	3.16	3336.65
3	5.0	2.339	2.572	3.159	16.64	77.10	1077.12	3.44	3131.16
4	5.5	2.302	2.544	2.746	19.02	78.70	1030.25	4.01	2569.20
RESULTADO DE DISEÑO									
5	4.8	2.337	2.581	3.412	16.13	75.90	1070.54	3.30	3244.06
COMPROBACION DE DISEÑO									
6	4.5	2.317	2.593	4.063	16.08	71.50	1054.88	3.16	3338.65
7	4.8	2.337	2.581	3.412	16.13	75.90	1070.54	3.30	3244.06
8	5.0	2.339	2.572	3.159	16.64	77.10	1077.12	3.44	3131.16
ESPECIFICACIONES TECNICAS									
				3 - 5	13,0 MIN	65 - 75	815 Kg. MIN	2 - 4	2500 - 3500

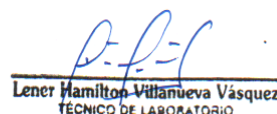
**Observaciones:**

De acuerdo a los resultados se propone utilizar la proporción de 4.8%, para establecer una mayor aproximación a lo propuesto en las Especificaciones Técnicas

**CAMPUS CHIMBOTE**  
 Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
 Av. Central Nuevo Chimbote  
 Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



Mg. Rolando Rojas Silva  
 Director de la Escuela de Ingeniería Civil



Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe

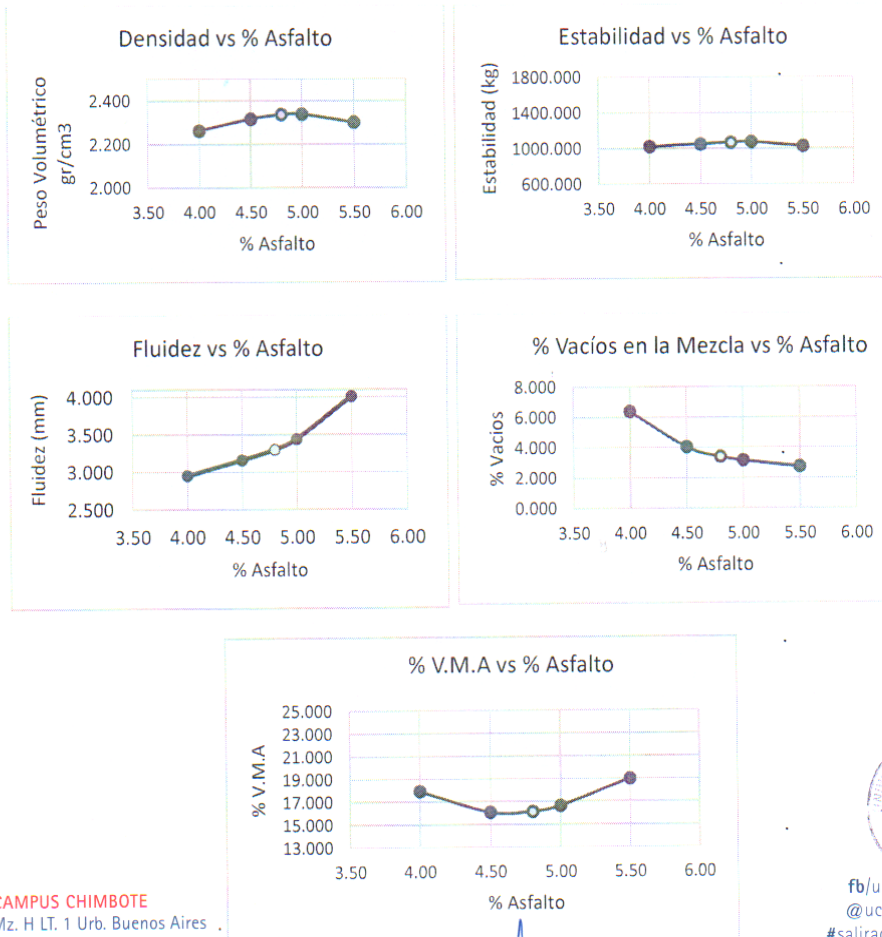


### ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"  
**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA  
**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL  
**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE  
**UNIDAD :** MUESTRA PATRÓN

#### GRAFICOS ENSAYOS MARSHALL



**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

Mg. Victor Rolando Rojas Sison  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS**

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA CON 20% HULE RECICLADO DE 0.85MM

**TABLA: CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL**

ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
			D-2041						
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.0	2.368	2.49	5.40	17.60	72.00	1985.20	2.87	6917.07
2	4.5	2.392	2.74	3.82	17.30	76.40	2104.23	3.25	6474.55
3	5.0	2.421	2.51	2.91	16.80	81.10	2420.14	3.76	6436.54
4	5.5	2.445	2.53	2.20	16.40	87.50	2276.35	4.80	4742.40
RESULTADO DE DISEÑO									
5	5.2	2.434	2.52	2.74	16.65	83.60	2396.07	4.04	5930.87
COMPROBACION DE DISEÑO									
6	5.0	2.421	2.51	2.91	16.80	81.10	2420.14	3.76	6436.54
7	5.2	2.434	2.52	2.74	16.65	83.60	2396.07	4.04	5930.87
8	5.5	2.445	2.53	2.20	16.40	87.50	2276.35	4.80	4742.40
ESPECIFICACIONES TECNICAS									
				3'-5	13,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2'- 4	2500 - 3500

**Observaciones:**

De acuerdo a los resultados se propone utilizar la proporcion de 5.2%, para establecer una mayor aproximación a lo propuesto en las Especificaciones Técnicas

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

Mg. Víctor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

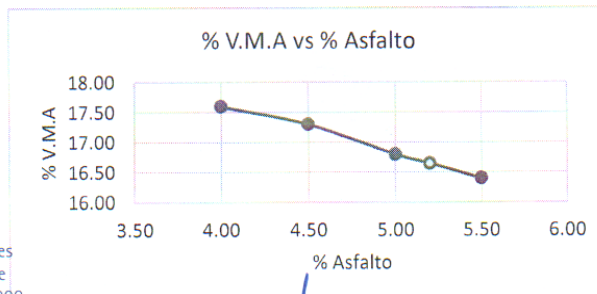
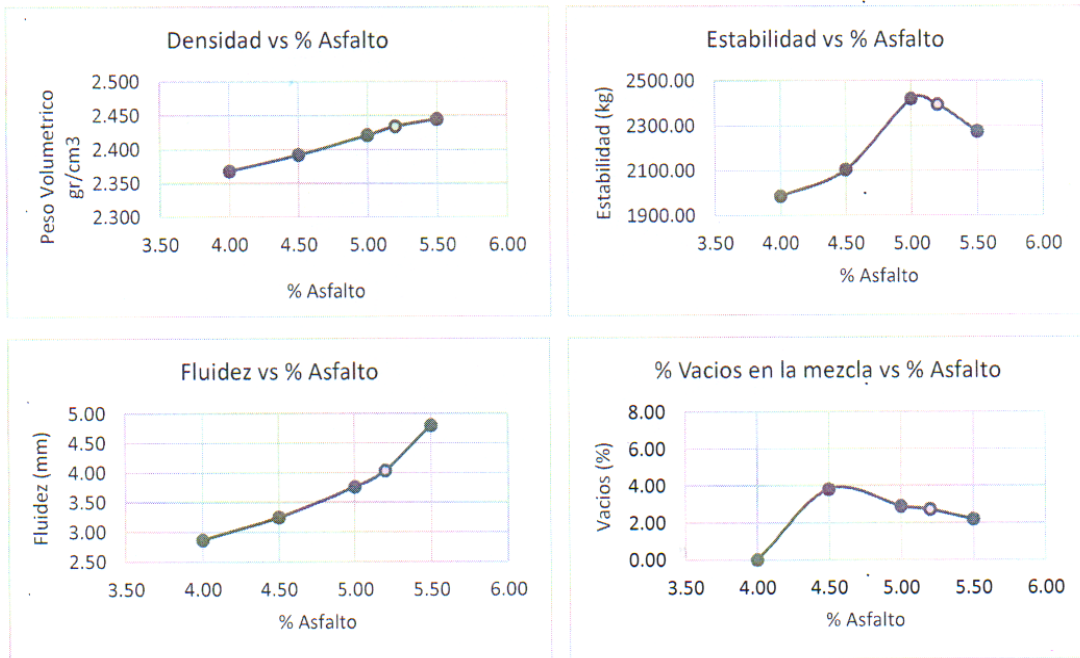


### ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"  
**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA  
**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL  
**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE  
**UNIDAD :** MUESTRA CON 20% HULE RECICLADO DE 0.85MM

#### GRAFICOS ENSAYOS MARSHALL



**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO





**ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS**

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"

**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA CON 10% HULE RECICLADO DE 2.00MM

**TABLA: CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL**

ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
			D-2041						
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.0	2.295	2.631	7.02	24.15	52.40	1844.41	2.75	6706.95
2	4.5	2.304	2.612	6.99	23.88	53.50	1825.24	3.40	5368.35
3	5.0	2.342	2.588	5.13	22.71	67.20	1996.01	4.50	4335.58
4	5.5	2.319	2.563	3.44	24.41	70.30	2127.30	5.10	4171.17
RESULTADO DE DISEÑO									
5	5.3	2.340	2.571	4.85	23.01	69.30	2061.65	4.83	4268.43
COMPROBACION DE DISEÑO									
6	5.0	2.342	2.588	5.13	22.71	67.20	1996.01	4.50	4335.58
7	5.3	2.340	2.571	4.85	23.01	69.30	2061.65	4.83	4268.43
8	5.5	2.319	2.563	3.44	24.41	70.30	2127.30	5.10	4171.17
ESPECIFICACIONES TECNICAS									
				3 - 5	13,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2 - 4	2500 - 3500

**Observaciones:**

De acuerdo a los resultados se propone utilizar la proporcion de 5.3%, para establecer una mayor aproximación a lo propuesto en las Especificaciones Técnicas

**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

  
Mg. Victor Rolando Rojas Sierra  
Director de la Escuela de Ingeniería

  
Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## ENSAYO DE RESISTENCIAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

(MTC E 504, ASTM D1559)

**PROYECTO:** "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE – 2018"

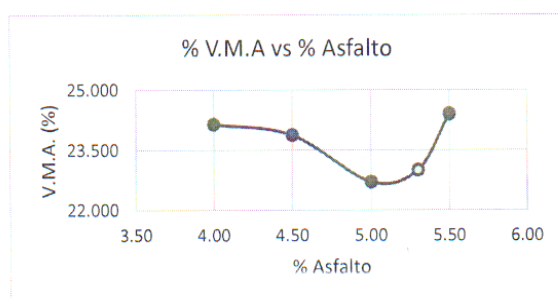
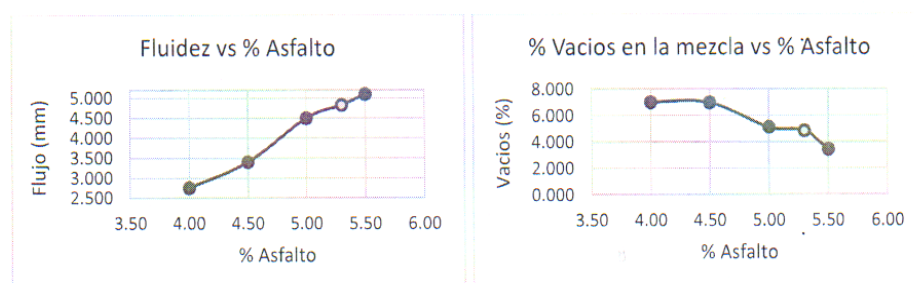
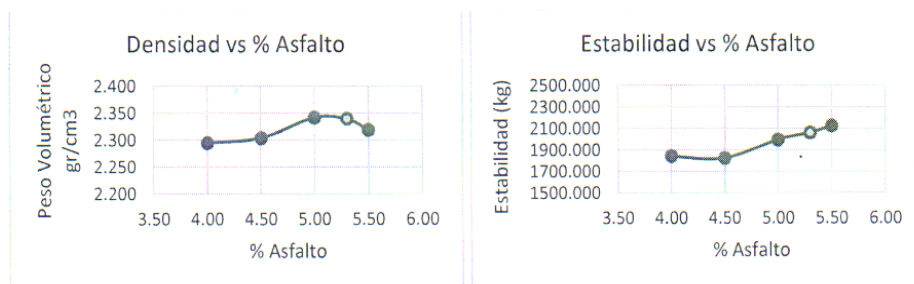
**SOLICITANTE:** JHAN CARLO VALVERDE VALDERRAMA

**ASUNTO :** RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

**LUGAR :** NUEVO CHIMBOTE

**UNIDAD :** MUESTRA CON 10% HULE RECICLADO DE 2.00MM

### GRAFICOS ENSAYOS MARSHALL



**CAMPUS CHIMBOTE**  
Mz. H LT. 1 Urb. Buenos Aires  
Av. Central Nuevo Chimbote  
Tel.: (043) 483 030 Anx.: 4000

Mg. Victor Rolando Rojas Silva  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Lener Hamilton Villanueva Vásquez  
TÉCNICO DE LABORATORIO



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

**ANEXO 06:  
CERTIFICADOS DE  
CALIBRACIÓN DE  
INSTRUMENTOS**





LABORATORIO DE METROLOGIA

Página : 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACION
Certificate of calibration

Número: 1086 / 17
Number:

INSTRUMENTO : PRENSA MARSHALL
FABRICANTE : FORNEY
MODELO : 7690F
NÚMERO DE SERIE : 2670
RANGO DE MEDICION : 0 - 5000 kgf
SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO SAC
CLASE DE PRECISION : 1
FECHA DE CALIBRACION : 09 - 01 - 2017

NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: (CUATRO)
Number of pages of this certificate and documents attached

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de la organización que lo emite.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. La organización que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873 Rpm: #945 183 033 / #945 181 317 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



**OBJETO DE PRUEBA** : PRENSA MARSHALL  
**TRABAJO REALIZADO** : CALIBRACIÓN  
**METODO UTILIZADO** : COMPARACIÓN DIRECTA  
**SITIO DE CALIBRACIÓN** : Laboratorio de Metrologia PYS EQUIPOS

#### RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:

La MAQUINA descrita **CUMPLE** con los errores máximos tolerados en uso, según lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana **NTC-ISO 7500-1** verificación de máquinas de ensayo uniaxiales estáticos. parte 1: máquinas de ensayo de tracción/compresión verificación y calibración del sistema de medida de fuerza.

#### CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA

Error de Exactitud	0,522	%	Error de cero	0	%
Error de Repetibilidad	0,199	%	Error por accesorios	--	%
Error de Reversibilidad	--	%	Resolución	2,027	%

De acuerdo con los datos anteriores y según la clasificación de la Norma internacional ISO 7500-1 la máquina de ensayos se encuentra clasificada

Escala 5000 kgf    Compresión    Clase **1**    Desde el **10% hasta el 100%**

Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31

Tel.: 485 3873 Rpm: #945 183 033 / #945 181 317 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317

E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe

Web Page: www.pys.pe



\*PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.





LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número: 1086 / 17

Página 3 de 3

TRAZABILIDAD:

PATRÓN DE CALIBRACIÓN	Tipo/ Modelo	S Digital.
	Serie	6996
	Fabricante	Gregorutti
	Certificado de calibración	1130214/3

La celda patrón empleada en la calibración mantiene la trazabilidad durante las mediciones realizadas a la máquina de ensayo ya que se encuentra trazada con el INTI de Argentina

UNIDADES EMPLEADAS Sistema internacional de unidades

RECOMENDACIONES:

- 1- Es necesario implementar un programa de comprobación continua de la MAQUINA con patrones adecuados.
- 2- Se debe implementar un programa de aseo permanente para la MAQUINA. Esto con el fin de tratar de garantizar un correcto funcionamiento

FIRMAS AUTORIZADAS  
Authorized signatures.

  
 Revisado por:  
 Eler Pozo S.  
 Dpto. de Metrologia

  
 Calibrado por:  
 Amed Castillo Espinoza  
 Técnico en Metrologia



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31  
 Telf.: 485 3873 Rpm: #945 183 033 / #945 181 317 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317  
 E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe  
 Web Page: www.pys.pe

\*PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LTF - 049 - 2016**

Área de Metrología  
Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 1 de 3

1. Expediente	16604
2. Solicitante	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
3. Dirección	Av. Victor Larco Nº 1770 Urb. Las Flores - Víctor Larco Herrera - Trujillo - LA LIBERTAD.
4. Instrumento de medición	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES
Fabricante	FORNEY
Número de Serie	1057
Modelo	LA-0851-01
Alcance de Indicación	9999
Div. de escala / Resolución	NO INDICA
Identificación	NO INDICA
Procedencia	U.S.A.
Tipo de indicación	DIGITAL
5. Fecha de Calibración	2016-10-22
6. Lugar de calibración	Instalaciones de la empresa TÉCNICAS CP S.A.C. Av. Santa Ana Mz H lote 2 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2016-10-22

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello

**Metrología & Técnicas S.A.C.**

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Telf.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
 SGTF - 028-2017**

Página 1 de 2

1. Expediente : 23083-17
2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
3. Dirección : Av. Tupac Amaru 150 - Rímac - Lima - Lima
4. Instrumento de medición : PENETROMETRO
- Tipo de indicación : Digital
- Amplitud de indicación : 99,9 s
- Resolución : 0,1 s
- Marca : ATC
- Modelo : No Indica
- Número de serie : No Indica
- Procedencia : No Indica
- Código de identificación : No Indica
- Ubicación : No Indica
5. Fecha de calibración : 2017-09-11
6. Fecha de emisión : 2017-09-12
7. Lugar de calibración : Instalaciones de SG NORTEC S.R.L - Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

**Función**

*Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.*

**Misión**

*Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.*

**Visión**

*Convertirnos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.*

**8. Método de calibración empleado**

La calibración ha sido efectuada empleando el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del cronómetro digital y las indicaciones de lectura del cronómetro patrón de mejor exactitud.

**9. Observaciones**

El instrumento pertenece al PENETROMETRO de marca: HUMBOLT, modelo: H1240D, serie: 09111240D y código: UMA-223.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento verificado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



*(Handwritten signature)*  
 Manuel Camacho Núñez  
 Supervisor de Laboratorio

HCSG038-01



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
 SGM - 164 - 2017**

Página 1 de 2

<p>1. Expediente : 23083-17</p> <p>2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES</p> <p>3. Dirección : AV. TUPAC AMARU NRO. 150 - RIMAC - LIMA - LIMA</p> <p>4. Instrumento : Masa de referencia</p> <p>Valor Nominal : 50 g + accesorios(100 g); 100 g + accesorios(100 g)</p> <p>Clase de Exactitud : M2</p> <p>Marca : No Indica</p> <p>Material : Acero inoxidable</p> <p>Procedencia : No Indica</p> <p>Código de Identificación : No indica</p> <p>Cantidad : 02</p> <p>Fecha de Calibración : 2017 - 09 - 09</p> <p>Fecha de Emisión : 2017 - 10 - 03</p> <p>Lugar de Calibración : Laboratorio de Grandes Masas de SG Nortec S.R.L.</p>	<p><b>Función</b></p> <p><i>Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.</i></p> <p><b>Misión</b></p> <p><i>Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.</i></p> <p><b>Visión</b></p> <p><i>Ser el Laboratorio de Calibración líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.</i></p>
---	--

**5. Método de Calibración Empleado**

La calibración se realizó por comparación entre una pesa de referencia del mismo valor nominal y clase de exactitud superior, en una balanza apropiada para la calibración tomando como referencia el PC-008, 2da Edición: 2009 \*Procedimiento de Calibración de Pesas de Trabajo de Clase de Exactitud M2; M2-3 y M3\* de INACAL-DM.

**6. Observaciones**

El instrumento pertenece al PENETROMETRO de marca: HUMBOLT, modelo: H1240D, serie: 09111240D y código: UMA-223. Manipular las masas de referencia con cuidado y mantenerlas limpias para evitar la alteración de su masa. Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto. SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. El presente documento carece de valor sin firmas y sellos. El presente documento reemplaza al certificado de calibración SGM-156-2017 emitido el 2017-09-12



  
 Jose Enciso Acuña  
 Supervisor del Laboratorio



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SGL - 254 - 2017

Página 1 de 2

1. Expediente	: 23083-17
2. Solicitante	: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
3. Dirección	: Av. Tupac Amaru 150 - Rímac - Lima - Lima
4. Instrumento de Medición	: RELOJ COMPARADOR
Tipo de Indicación	: Digital
Intervalo de Indicación	: 0 mm a 50 mm
Resolución	: 0,1 mm
Marca	: HUMBOLDT
Modelo	: PG6720
Número de serie	: 92887837
Procedencia	: U.S.A
Código de Identificación	: No indica
Ubicación	: No indica
5. Fecha de Calibración	: 2017-09-09
6. Fecha de Emisión	: 2017-09-11
7. Lugar de Calibración	: Instalaciones de SG NORTEC S.R.L. - Laboratorio de Longitud.

### Función

Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metrológica en nuestros clientes.

### Misión

Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.

### Visión

Ser el laboratorio de calibración líder dentro del mercado nacional según las exigencias y competencias de la industria, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.

### 8. Procedimiento de Calibración Empleado

La calibración ha sido realizada por el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del Reloj comparador y bloques patrón de longitud tomando como referencia el procedimiento PC - 014 "Procedimiento de calibración de Comparadores de Cuadrante (usando bloques)". Segunda Edición - Diciembre 2001. SNM - INDECOPI.

### 9. Observaciones

(\*) Código indicado en una etiqueta adherida y/o grabado al instrumento.

El instrumento pertenece al PENETROMETRO de marca: HUMBOLDT, modelo: H1240D, serie: 09111240D y código: UMA-223.

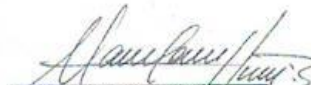
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



  
Manuel Camacho Núñez  
Supervisor de Laboratorio

HCSG029-01



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
 SGTH-594-16**

Página 1 de 4

- 1. Expediente : 21911 - 16
- 2. Solicitante : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
- 3. Dirección : Av. Tupac Amaru 150 - Rimac
- 4. Equipo de Medición : COMPARADOR DE DUCTIBILIDAD
  - Marca : ELE INTERNATIONAL
  - Modelo : AP - 109 - 2
  - Número de Serie : 9724
  - Procedencia : No Indica
  - Código de Identificación : UMA - 230
  - Temperatura de trabajo : 25 °C
  - Tolerancia : ± 1 °C
  - Ventilación : Forzada
  - Carga : 30%
  - Ubicación : Unidad de Mezclas y Asfaltos

**Función**  
*Brindar servicios de calibración seguros y confiables, manteniendo una adecuada trazabilidad a los patrones nacionales ayudando a promover la cultura metroológica en nuestros clientes.*

**Misión**  
*Somos un laboratorio comprometido con la metrología, cuya misión es la de proporcionar servicios de calibración de la más alta calidad, para la satisfacción de las necesidades y requerimientos inmediatos de nuestros clientes.*

**Visión**  
*Convertimos en el Laboratorio de Calibración Líder dentro del mercado nacional de acuerdo con las exigencias y competencias de la industria nacional, estableciendo relaciones profesionales sólidas y duraderas.*

5. Instrumento de Medición

Nombre	Marca/ Modelo	Código de Identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Controlador	AUTONICS / TZN4S	No Indica	0 °C a 50 °C	0,1 °C	Digital

- 6. Fecha del Servicio : 2016-12-28
- 7. Fecha de Emisión : 2016-12-28

8. Procedimiento de Calibración Empleado

La calibración se realizó empleando un termómetro patrón con 10 termopares, según el Procedimiento PC-019 "Procedimiento para la Calibración de Baños termostático", Primera Edición - Abril 2009. SNM - INDECOPI.

9. Observaciones

El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de aproximadamente 2 horas por punto de calibración.  
 La calibración se realizó en las instalaciones de MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.  
 SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.  
 El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.  
 El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

  
 Manuel Camacho Núñez  
 Supervisor de Laboratorio  


**CERTIFICADO DE CALIBRACION N° ATM-3430817**Fecha de emisión:  
30-08-2017

1. SOLICITANTE : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
Dirección : Av. Túpac Amaru 150, Rimac, Lima, Perú
2. EQUIPO : ESTUFA ELECTRICA  
Marca : NUVE  
Modelo : FN 500 P  
Serial : 05-6623  
Código Cliente : UMA-273
3. VARIABLE A CALIBRAR : TEMPERATURA
4. PTOS. DE CALIBRACION : 110, 145 y 163 °C ± 3 °C
5. FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACION  
Calibrado el 10-08-17 en el Laboratorio de MEQUIM S.A.
6. METODO DE CALIBRACION  
Ajuste del Controlador de Temperatura del Homo, por criterios de comparación con el valor de medición registrado por el Calibrador Multifunción FLUKE 744.
7. TRAZABILIDAD  
El procedimiento de calibración tiene trazabilidad sobre los Estándares de Calidad Certificados por ISO 9001:2000.
8. RESULTADOS  
En el cuadro de resultados se mostraran los valores del error de la medición y el cálculo de la incertidumbre estándar de la medición.


**Evaluación de tipo A de la incertidumbre estándar.**

La *evaluación de tipo A* de la incertidumbre estándar es el método de evaluación basado en el *análisis estadístico* de una serie de observaciones. La misma puede ser aplicada cuando se han realizado varias observaciones independientes de la magnitud X bajo las mismas condiciones. Sólo cuando existe suficiente resolución en el proceso de medición, la dispersión de las observaciones podrá observarse, puesto que se obtendrá un grupo de valores al repetir la medición en condiciones prácticamente iguales, algunos de los cuales pueden o no repetirse.

Las observaciones individuales difieren en valor debido a las variaciones aleatorias en las magnitudes que las afectan, es decir, debido a los efectos aleatorios.

La desviación estándar experimental de la media  $S(\bar{X})$  cuantifica qué tan bien  $\bar{X}$  estima la

Página 1 de 6



JOSE LUIS  
CHANG ALVARADO  
INGENIERO MECÁNICO  
Reg. CIP N° 138195



## CERTIFICADO DE CALIBRACION N° ATM-3310817

Fecha de emisión:  
30-08-2017

- SOLICITANTE** : MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
Dirección : Av. Túpac Amaru 150, Rimac, Lima, Perú
- EQUIPO** : ESTUFA ELECTRICA  
Marca : NUVE  
Modelo : FN 500 P  
Serial : 05-6419  
Código Cliente : UMA-274
- VARIABLE A CALIBRAR** : TEMPERATURA
- PTOS. DE CALIBRACION** : 110 °C, 145 °C y 163 °C ± 3 °C
- FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACION**  
Calibrado el 24-06-17 en el Laboratorio de MEQUIM S.A.
- METODO DE CALIBRACION**  
Ajuste del Controlador de Temperatura del Horno, por criterios de comparación con el sensor de temperatura del Calibrador Multifunción FLUKE 744.
- TRAZABILIDAD**  
El procedimiento de calibración tiene trazabilidad sobre los Estándares de Calidad Certificados por ISO 9001:2000.
- RESULTADOS**  
En el cuadro de resultados se mostraran los valores del error de la medición y el cálculo de la incertidumbre estándar de la medición.

### Evaluación de tipo A de la incertidumbre estándar.

La *evaluación de tipo A* de la incertidumbre estándar es el método de evaluación basado en el *análisis estadístico* de una serie de observaciones. La misma puede ser aplicada cuando se han realizado varias observaciones independientes de la magnitud X bajo las mismas condiciones. Sólo cuando existe suficiente resolución en el proceso de medición, la dispersión de las observaciones podrá observarse, puesto que se obtendrá un grupo de valores al repetir la medición en condiciones prácticamente iguales, algunos de los cuales pueden o no repetirse.

Las observaciones individuales difieren en valor debido a las variaciones aleatorias en las magnitudes que las afectan, es decir, debido a los efectos aleatorios.

La desviación estándar experimental de la media  $S(\bar{X})$  cuantifica qué tan bien  $\bar{X}$  estima la

# **ANEXOS 07: FOTOGRAFÍAS**



**FIGURA 01:** Neumáticos reciclados en la planta de la empresa LUDGRASS de la ciudad de lima.



**FIGURA 02:** Corte de los neumáticos en tiras para introducirlos en la máquina de molido.



**FIGURA 03:** Máquina de molido empleada con cuchillas de 9 a 15 para producción.



**FIGURA 04:** Introducción de las tiras de caucho a la máquina de molido.





**FIGURA 05:** Máquina empleada de 20hp hasta 30hp para el triturado de hule reciclado



**FIGURA 06:** Producto final de caucho granulado de 0.55mm – 2.85mm.



**FIGURA 07:** Tamizado del material reciclado en laboratorio



**FIGURA 08:** Caracterización de las partículas de hule en diámetros de 0.85mm y 2.00mm



**FIGURA 09:** Obtención de los diámetros para combinación con el cemento asfáltico



**FIGURA 10:** Cemento asfáltico utilizado pen 60/70 de Industrias KyC de la ciudad de lima





**FIGURA 11:** Modificación del cemento asfáltico con adición de hule por vía húmeda



**FIGURA 12:** Continuo mezclado por tiempo de 30 a 40 minutos cada muestra





**FIGURA 13:** Baño maría: medición constante de la temperatura de 25°C – ensayo de penetración



**FIGURA 14:** Muestras preparadas para determinar su valor de penetración



**FIGURA 15:** Determinación de los valores de penetración de cada muestra



**FIGURA 16:** Preparación de las muestras para ensayo de punto de ablandamiento en la unidad de mezclas asfálticas (UMA) del laboratorio de estudios especiales del MTC



**FIGURA 17:** Personal técnico preparando equipos de ensayo de punto de ablandamiento



**FIGURA 18:** Determinando las cantidades de muestra de cemento asfáltico



**FIGURA 19:** Equipo calibrado para ensayo de punto de ablandamiento



**FIGURA 20:** Personal del laboratorio del MTC preparando equipos para ensayos





**FIGURA 21:** Recolección de agregados extraídos de la cantera Rubén (KM 436 Carretera Panamericana Norte)



**FIGURA 22:** Agregado grueso de ½"



**FIGURA 23:** Agregado fino para elaboración de las mezclas asfálticas



**FIGURA 24:** Recolección de la piedra chancada





**FIGURA 25:** Selección de muestra de agregado grueso para los ensayos respectivos en laboratorio.



**FIGURA 26:** Tamizado del agregado fino





**FIGURA 27:** Tamizado de los agregados



**FIGURA 28:** Determinación de los pesos de los agregados para la fabricación de las briquetas de asfalto



**FIGURA 29:** Agregados tamizados y seleccionados para briquetas



**FIGURA 30:** Agregados pesados con 40% piedra + 60% arena para elaboración de briquetas



**FIGURA 31:** Diluido del cemento asfáltico PEN 60-70 modificado para su respectivo mezclado con los agregados



**FIGURA 32:** Mezclado de cemento asfáltico con agregados para dar como producto las briquetas





**FIGURA 33:** Combinación de materiales de la mezcla en caliente



**FIGURA 33:** Control de temperatura de mezcla asfáltica – 170°C



**FIGURA 35:** Compactación de la mezcla en caliente con 75 golpes por ambas capas



**FIGURA 36:** Briquetas con cemento asfáltico modificado para ensayar



**FIGURA 37:** Determinación del peso de la briqueta seca en el aire



**FIGURA 38:** Determinación del peso de la briqueta sumergida en agua





**FIGURA 39:** Preparación del baño maría a 60°C



**FIGURA 40:** Briqueta expuesta al baño maría por 40 min para su posterior rotura





**FIGURA 41:** Rotura de briquetas en la prensa Marshall



**FIGURA 42:** Determinación de la estabilidad y flujo en el ensayo Marshall

**ANEXO 08:**  
**NORMAS TÉCNICAS**  
**EMPLEADAS**

**Designation: D 6114 – 97 (Reapproved 2002)**  
**Standard Specification for**  
**Asphalt-Rubber Binder**

This standard is issued under the fixed designation D 6114; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This is a copyrighted Standard Specification, if you wish to obtain a copy, please contact:

Kathe Hooper  
ASTM International  
100 Barr Harbor Drive, PO Box C700  
West Conshohocken, PA 19428-2959  
Phone: 610-832-9634  
Fax: 610-832-9635  
E-mail: [khooper@astm.org](mailto:khooper@astm.org)



Designation: D 6114 – 97 (Reapproved 2002)

## Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 6114; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This specification covers asphalt-rubber binder, consisting of a blend of paving grade asphalt cements, ground recycled tire (that is, vulcanized) rubber and other additives, as needed, for use as binder in pavement construction. The rubber shall be blended and interacted in the hot asphalt cement sufficiently to cause swelling of the rubber particles prior to use.

NOTE 1—It has been found that at least 15 % rubber by weight of the total blend is usually necessary to provide acceptable properties of asphalt-rubber.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.3 The following precautionary caveat pertains to the test method portions only, Sections 4 and 5 of this Specification: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in 4.3.2.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials<sup>2</sup>
- D 36 Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)<sup>3</sup>
- D 93 Test Methods for Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Test<sup>4</sup>
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials<sup>2</sup>
- D 946 Specification for Penetration-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction<sup>2</sup>
- D 1754 Test Method for Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin Film Oven Test)<sup>2</sup>
- D 1864 Test Method for Moisture in Mineral Aggregate

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.45 on Modified Asphalt Specifications.

Current edition approved May 10, 1997. Published October 1998. Originally published as D 6114 – 97. Last previous edition D 6114 – 97.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

Used on Built-Up Roofs<sup>3</sup>

- D 2196 Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield Type) Viscometer<sup>5</sup>
- D 2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)<sup>2</sup>
- D 3381 Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction<sup>2</sup>
- D 5329 Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphaltic and Portland Cement Concrete Pavements<sup>2</sup>
- D 5644 Test Method for Rubber Compounding Materials — Determination of Particle Size Distribution of Recycled Vulcanizate Particulate Rubber<sup>6</sup>

### 3. Materials

3.1 *Asphalt Cement*—The asphalt cement shall meet the requirements of Specification D 946 or Table 1 or 3 of Specification D 3381. Acceptable grades shall be able to produce the properties of Table 1 of this specification when interacted with ground recycled tire rubber.

#### 3.2 Ground Recycled Tire Rubber.

3.2.1 The ground recycled tire rubber shall contain less than 0.75 % moisture by weight and shall be free flowing. The specific gravity of the rubber shall be  $1.15 \pm 0.05$ . The ground recycled tire rubber shall contain no visible nonferrous metal particles and no more than 0.01 % ferrous metal particles by weight.

3.2.2 For use in hot mix binders, the fiber content shall not exceed 0.5 % by weight of ground recycled tire rubber. However for use in binders for spray applications, fiber content shall not exceed 0.1 % by weight. Up to 4 % by weight of mineral powder (such as talc) is permitted to prevent sticking and caking of the rubber particles. Other foreign contaminating materials (see Note 2) shall be less than 0.25 % by weight.

NOTE 2—Other foreign contaminants include, but are not limited to, materials such as glass, sand, wood, etc.

3.2.3 It is recommended that no rubber particles should be retained on the 2.36 mm (No. 8) sieve. Rubber gradation should be agreed upon between purchaser and asphalt-rubber supplier for the specific mixture applications (see Note 3).

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

**TABLE 1 Physical Requirements for Asphalt-Rubber Binder**

Binder Designation <sup>A</sup>		Type I	Type II	Type III
Apparent Viscosity, 175°C (347°F):cP Modified Test Method D 2196, Method A, (see 5.4) <sup>B,C</sup>	min	1500	1500	1500
Penetration, 25°C (77°F) 100g, 5 s: 1/10 mm (Test Method D 5)	max	5000	5000	5000
	min	25	25	50
Penetration, 4°C (39.2°F), 200g, 60 s: 1/10 mm (Test Method D 5)	max	75	75	100
	min	10	15	25
Softening Point: °C (°F) (Test Method D 36)	min	57.2 (135)	54.4 (130)	51.7 (125)
Resilience, 25°C (77°F): % (Test Method D 5329)	min	25	20	10
Flash Point: °C (°F) (Test Method D 93)	min	232.2 (450)	232.2 (450)	232.2 (450)
Thin-Film Oven Test Residue (Test Method D 1754) <sup>D</sup>	.....	.....	.....	.....
Penetration Retention, 4°C (39.2°F): % of original (Test Method D 5)	min	75	75	75

<sup>A</sup> See Appendix for recommended climate guidelines for usage.

<sup>B</sup> Either digital or dial reading Brookfield viscometers may be used - record peak measurement.

For LV series models, use spindle 3 at 12 rpm.

For RV and HA series models, use spindle 3 at 20 rpm.

<sup>C</sup> Rion or Haake-type high range rotational viscometers may also be used (with Rotor No. 1) when correlated with Brookfield measurements, as may other rotational viscometers. However Brookfield shall be the referee method.

<sup>D</sup> RTFO Residue (See Test Method D 2872) may be substituted for TFOT Residue, except TFOT shall be the referee method in cases of dispute.

NOTE 3—It has been found that rubber gradation may affect the physical properties and performance of hot paving mixtures using asphalt-rubber binder.

### 3.3 Asphalt-Rubber:

3.3.1 The asphalt-rubber shall be an interacted blend of paving grade asphalt cement and ground recycled tire rubber. Other additives not cited herein including other types of scrap rubber are permitted.

3.3.2 The asphalt-rubber shall not foam when heated to 175°C (347°F).

3.3.3 The asphalt-rubber blend shall conform to the physical requirements of Table 1. This table was developed to provide a reference for specifying asphalt-rubber binder. The tests are intended to measure the degree of modification of the asphalt cement by the ground recycled tire rubber. Table 1 is not intended to be a performance-based specification.

## 4. Procedure

### 4.1 Ground Recycled Tire Rubber:

4.1.1 Determine moisture content according to Test Method D 1864, except that oven temperature shall be 105 ± 5°C (221 ± 9°F).

4.1.2 Detect and separate out ferrous metal particles by thoroughly stirring a magnet through a 50 g sample. Weigh captured particles. Determine nonferrous metal content by visual inspection.

4.1.3 Perform sieve analysis according to Test Method D 5644

4.1.4 The method of determining fiber content shall be specified as agreed between the supplier and user.

### 4.2 Asphalt-Rubber Sampling:

4.2.1 Sample containers and handling shall be in accordance with Practice D 140.

4.2.2 Representative samples shall be taken from a sample valve or tap on the agitated tank in accordance with Practice D 140, unless otherwise directed.

### 4.3 Preparation of Pre-Blended Asphalt-Rubber Samples for Acceptance Testing:

4.3.1 *Sample Melting and Heating*—Loosen the cover of the original sample container to relieve pressure, then place the container in a preheated forced-draft oven and maintain oven temperature as required to heat sample to test temperature (see Note 4). After 1 h or when the asphalt-rubber material begins to liquify, remove cover. Stir with a spatula as required to avoid localized overheating of sample and to achieve uniform sample temperature. Replace cover and repeat these steps as needed.

NOTE 4—Only those samples which will be tested for viscosity at 175°C (347°F) need to be heated to 175°C (347°F). To provide specimens for other Table 1 acceptance tests, it is sufficient to thoroughly liquify the pre-blended asphalt-rubber.

4.3.2 Immediately prior to testing or pouring test specimens, stir the sample thoroughly with a spatula to achieve visually uniform distribution of rubber particles within the binder. Pour the asphalt-rubber into suitable molds and containers for making such tests as desired. Prepare and condition acceptance specimens according to the respective selected test methods (see Table 1). (**Warning**—The sample may contain ground rubber particles that tend to float or settle. It is therefore very important that samples be poured or tested as soon as possible after stirring to provide representative test specimens throughout which the rubber particles are uniformly dispersed.)

4.3.3 The pre-blended sample shall be raised to temperature, stirred, tested for viscosity or poured for other acceptance tests, or both, within 4 h of time of placement in heated oven.

## 5. Testing

5.1 Note that the presence of discrete rubber particles in the asphalt-rubber may influence test procedures and results, and may increase variation in measurements. Additional replicate samples may be prepared or measurements may be repeated, as appropriate. Precision of respective tests has not been determined and may vary with asphalt-rubber formulation.

5.2 *Table 1 Acceptance Tests*—Perform Table 1 acceptance tests according to the standard test methods referenced in Table



1, except for apparent viscosity which shall be modified as follows:

5.3 *Apparatus*—HA series Brookfield viscometers are recommended for testing apparent viscosity of asphalt-rubber binders, but LV and RV series models may also be used with the appropriate spindles and rotation rates indicated in Table 1. Calibrate instrument according to the manufacturer's recommendations or as needed, but not necessarily before each test.

5.3.1 Other types of rotational viscometers may be used when correlated with Brookfield measurements. However, Brookfield shall be the referee.

5.4 *Apparent Viscosity*—Measure according to Method A of Test Method D 2196, with the following modifications:

5.4.1 After the entire sample reaches 175°C (347°F), adjust oven to maintain sample temperature at 175°C (347°F).

5.4.2 Prepare sample in accordance with 4.3. Do not shake

and rest. Remove sample from oven to preheated hot plate or heating mantle and stir it vigorously and thoroughly.

5.4.3 Make all apparent viscosity measurements at a temperature of 175° ± 1°C (347° ± 2°F). Acclimate the appropriate spindle in the sample for at least 1 min before testing. Stir again immediately before starting spindle rotation at the appropriate rate according to Table 1 of this specification. Record the peak dial or digital reading to measure apparent viscosity of the asphalt-rubber system. If additional measurements are desired, stop spindle rotation and stir sample thoroughly first.

## 6. Keywords

6.1 asphalt; crm; crumb rubber modified; ground-tire rubber; rubber; wet process

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. CLIMATE GUIDELINES TO ACCOMPANY TABLE 1

X1.1 This appendix covers suggested climate guidelines for usage of the three types of asphalt-rubber (A-R) binders in Table 1. However, no restrictions are implied or intended for use of the respective A-R binders in the climate ranges presented in this appendix. These guidelines may be modified as justified by the familiarity and experience of the engineer with asphalt-rubber as well as with local paving materials and construction practices. For example, modifications of the suggested guidelines may be made dependent on traffic and roadway conditions and usage types: highways; major arterial, collector, industrial, or residential streets; or parking lots. Other considerations may include, but are not restricted to, chemical and rheological properties of the base asphalt cement and of the asphalt-rubber binder. Keeping in mind these considerations and that no restrictions are intended on the climate ranges at which a specific type of asphalt-rubber must be used, the following guidelines are provided to maximize performance of the asphalt-rubber binders.

X1.1.1 Type I binders typically include stiffer base asphalt cements. Type I binders are generally recommended for use in hot climate areas, defined as the following:

X1.1.1.1 Average monthly maximum ambient temperature is 43°C (110°F) or greater.

X1.1.1.2 Average monthly minimum ambient temperature is -1°C (30°F) or greater.

X1.1.2 Type II binders typically include softer grades of asphalt cement than Type I binders.

Type II binders are generally recommended for use in moderate climate areas, defined as the following:

X1.1.2.1 Average monthly maximum ambient temperature is 43°C (110°F) or lower.

X1.1.2.2 Average monthly minimum ambient temperature is -9°C (15°F) or greater.

X1.1.3 Type III binders typically include the softest grades of asphalt cements available, and may require softening additives to achieve the specified physical properties. Type III binders are generally recommended for use in cold climate areas, defined as the following:

X1.1.3.1 Average monthly maximum ambient temperature is 27°C (80°F) or lower.

X1.1.3.2 Average monthly minimum ambient temperature is -9°C (15°F) or lower.

NOTE X1.1—Descriptions of average monthly temperatures can be found in *Climatic Atlas of the United States*.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> *Climatic Atlas of the United States*, originally published by U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services, Environmental Data Service and reprinted by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*



Designation: D-6114

**Especificaciones del ligante asfalto-caucho según norma ASTM D-6114**

Para los diferentes tipos de clima, esta norma indica los siguientes requerimientos:

Propiedades	TIPO I		TIPO II		TIPO III	
	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Penetración, 25°C. 100g. 5s, dmm	25	-	25	-	25	-
Penetración, 4°C. 200g. 60s, dmm	10	-	15	-	25	-
Viscosidad Rotacional Brookfield a 175°C, cp	1500	5000	1500	5000	1500	5000
Punto de ablandamiento (anillo y bola); °C	57,2	-	54,4	-	51,7	-
Recuperación elástica, 25°C; %	40	-	60	-	60	-
Resiliencia 25°C; (%)	25	-	20	-	10	-
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (**)						
Penetración retenida, % de original. 4°C. 200g. 60s; dmm	75	-	75	-	75	

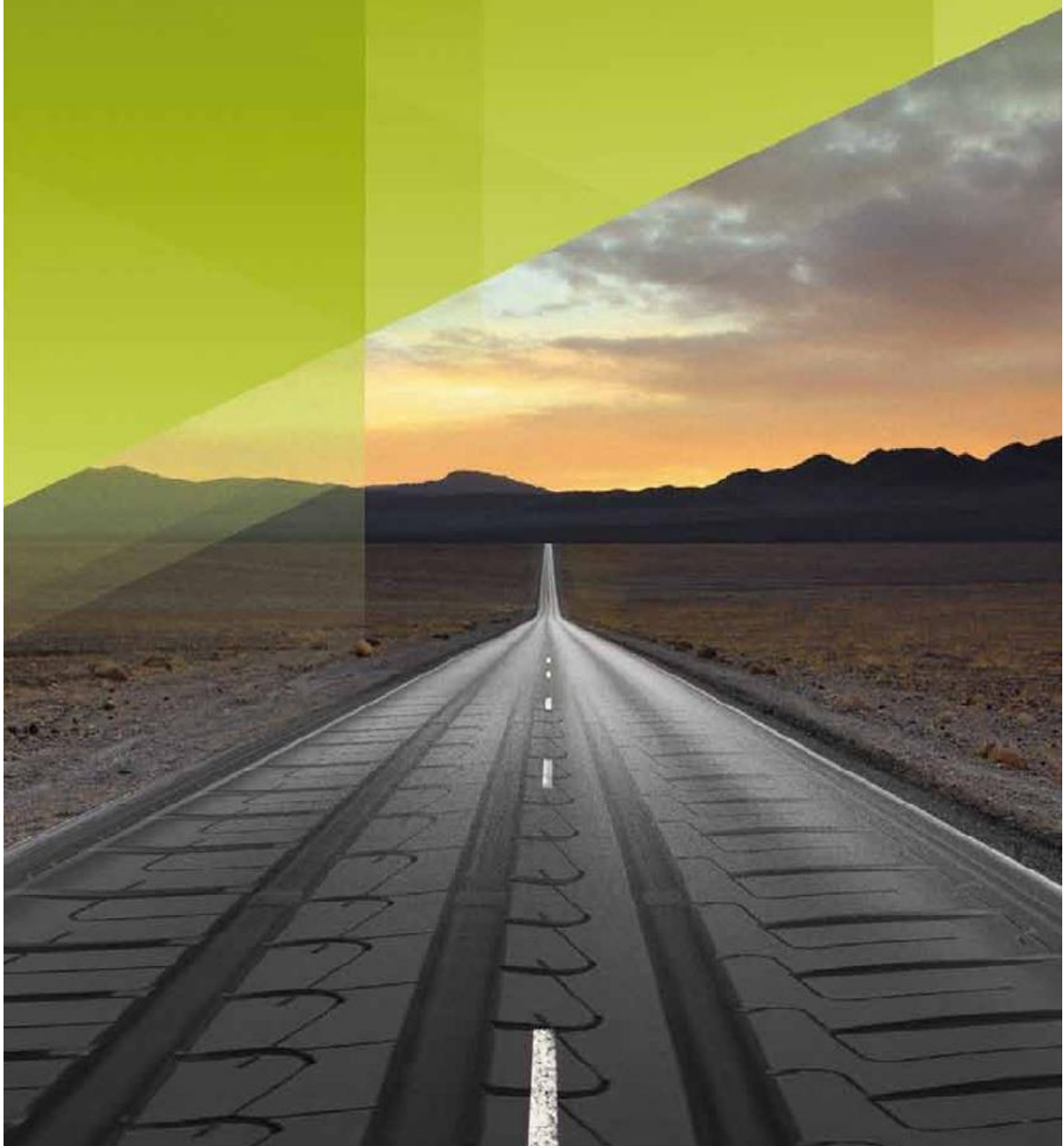
- I. **Tipo 1:** Temperatura ambiente máxima (promedio mensual) < 43 °C  
Temperatura ambiente mínima (promedio mensual) > -1 °C
- II. **Tipo 2:** Temperatura ambiente máxima (promedio mensual) < 43 °C  
Temperatura ambiente mínima (promedio mensual) > -9 °C
- III. **Tipo 3:** Temperatura ambiente máxima (promedio mensual) < 27 °C  
Temperatura ambiente mínima (promedio mensual) > -9 °C



# SIGNUS

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

## Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático



## Referencias normativas de los betunes con caucho



En España se han hecho importantes avances en lo que se refiere a especificaciones de ligantes bituminosos que incorporan caucho de NFUs. Aunque sin un carácter normativo, quizás el hito más importante previo a la aparición de normativa fue el Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas (2007), redactado por el CEDEX por encargo del Ministerio de Medio Ambiente y del Ministerio de Fomento. En este documento se esbozaban ya los tres tipos de ligantes con caucho que se consideraron interesantes en el panorama español de las mezclas bituminosas.

Se definen allí, por orden creciente de modificación, los betunes mejorados, los modificados y los modificados de alta viscosidad, todos ellos con polvo de caucho procedente del NFU.

Unos meses más tarde se publicaba la Orden Circular 21/2007 del Ministerio de Fomento "Sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de NFU", convirtiéndose en el documento principal en cuanto a la fabricación y empleo de betunes con caucho en España.

En el preámbulo de la Orden Circular se define el polvo de caucho como el producto procedente de la granulación de neumáticos hasta tamaños inferiores a 1 mm y cuyo contenido de partículas finas menores de 0,063 mm no supere el 1,5%. Se especifica además, que es-

tará compuesto fundamentalmente por caucho natural y sintético y porcentajes máximos de contaminación ferromagnética, textil o de otro tipo inferiores al 0,01%, 0,5% y 0,25% en peso, respectivamente.

Asimismo distingue dos procedimientos de fabricación. El primero es el que denomina "fabricación en central" y que se refiere a las instalaciones tradicionales de modificación de betunes, provistas de un mezclador con cizalla, que dotan al ligante con caucho de estabilidad suficiente para ser transportado a una planta de fabricación de mezclas bituminosas.

El segundo procedimiento es el denominado "fabricado in situ", descrito como el operado con una unidad especial para la fabricación de betunes con caucho que se ubica en la propia planta de fabricación de mezclas asfálticas y que se refiere a unidades que no necesariamente disponen de un mezclador con cizalla.

En cuanto a los tipos de betún con caucho la Orden Circular 21/2007 distingue tres categorías, en función del grado de modificación:

- Betunes mejorados
- Betunes modificados
- Betunes de alta viscosidad

Las especificaciones que se exigen a cada uno de los tres tipos de ligante caucho coinciden o al menos están relacionadas con los requisi-



tos de los betunes modificados con polímeros convencionales, que actualmente se recogen en la norma UNE-EN 14023:2010.

Conviene sin embargo clarificar desde ahora, que la peculiar naturaleza de los betunes con caucho implica que algunos de los ensayos normalizados para betunes con polímeros sean de muy difícil realización a nivel práctico, ya que presentan partículas en suspensión y esto es debido a que la interacción con el betún no supone la total integración del caucho en la fase líquida. En particular, el ensayo de cohesión denominado "Fuerza-ductilidad" (UNE-EN 13589 y UNE-EN 13703) exige que las probetas de betún alcancen una elongación de al menos 40 cm. Sin embargo, las heterogeneidades que suponen las partículas de caucho en el seno del betún impiden alcanzar tales elongaciones antes de romperse, incluso a 25°C de temperatura.

A este respecto cabe señalar que la propia norma UNE-EN 14023 sobre betunes modifi-

cados indica que la propiedad de la cohesión puede medirse con otros ensayos como el del impacto con el péndulo Vialit (UNE-EN 13588) que parece más adecuado para betunes modificados con caucho.

Algo similar ocurre con el ensayo de recuperación elástica (UNE-EN 13398), en el que se pide una elongación mínima de 20 cm, que tampoco es frecuente alcanzar. Sin embargo, la norma de ensayo permite, en este caso, obtener el porcentaje de retorno elástico considerando como elongación de referencia la alcanzada en el momento de la rotura y no los 20 cm que establece el procedimiento estándar.

En cualquier caso, no existen dudas sobre las propiedades mejoradas de los betunes con caucho, tanto en términos de cohesión como de retorno elástico, tan sólo se trata de una inadecuación de los procedimientos de ensayo que se toman como referencia en el momento de la redacción de las especificaciones de estos ligantes con caucho.



## 2.1 Betunes mejorados con caucho

Las características de estos betunes mejorados no estaban recogidas en normativa alguna, por lo que la Orden Circular 21/2007 crea unas especificaciones particulares para ellos. Para indicar que contienen caucho se nombran con las siglas "BC" seguidas del valor de penetración del ligante. Sus especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla.

Características	Norma de referencia	Unidad	BC35/50	BC50/70
<b>Betún original</b>				
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	35-50	50-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola	UNE EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
Punto de fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ 5	≤ 8
Fuerza ductilidad (5cm/mm)	UNE EN 13589 UNE EN 13703	/cm <sup>2</sup>		≥ 0,5
Recuperación elástica a 25°C	UNE EN 13398	%		≥ 10
Estabilidad al almacenamiento (*)	UNE EN 13399	°C		≤ 10
			0,1 mm	≤ 8
Solubilidad	UNE EN 12592	%		≥ 92
Punto de inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C		≥ 235
<b>Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1</b>				
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%		≤ 1,0
Penetración retenida	UNE EN 1426	% p.o.	≥ 65	≥ 60
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	min -4 máx +8	min -5 máx +10

(\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabrican "in situ".

Tabla 1. Especificaciones de betunes mejorados con caucho (BC)

### 2.2 Betunes modificados con caucho y polímeros

Se trata, según la Orden Circular 21/2007, de ligantes que se han modificado con caucho (no se prescribe el contenido de caucho que deben tener, ni si la modificación se consigue

además con otros aditivos). Estos ligantes deben cumplir las especificaciones de los betunes modificados (artículo 2.12 del PG-3). Se nombra añadiendo una "C" al final de la denominación del betún modificado que corresponda. Dichas especificaciones de betunes modificados se resumen en la siguiente tabla:

Denominación UNE EN 14023	PMB 101/4070 €	PMB 257/5363 €	PMB 451/6060 €	PMB 451/6063 €	PMB 451/6073 €	PMB 451/751/13060 €		
	BMC-1	BMC-2	BMC-3a	BMC-3b	BMC-3c	BMC-4		
<b>Características</b>	UNE EN	Unidad	<b>Ensayos sobre el betún original</b>					
Penetración a 25°	1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	45-80	75-130	
Punto de reblandecimiento	1427	°C	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 60
Cohesión, Fuerza-ductilidad	13589 13703	J/cm <sup>2</sup>	≥ 2 a 1,5°C	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C	≥ 1 a 5°C
Punto de fragilidad Fraass	12593	°C	≤ -5	≤ -7	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15
Recuperación elástica a 25°C	13398	%	TBR	≥ 50	≥ 50	≥ 70	≥ 80	≥ 60
Estabilidad al almacenamiento (**)	13399 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	13399 1426	0,1 mm	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13	≤ 13
Punto de inflamación	ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220
<b>Durabilidad - Resistencia al envejecimiento EN 12607-1</b>								
Cambio de masa	12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Penetración retenida	1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Incremento del punto de reblandecimiento	1427	°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Disminución del punto de reblandecimiento	1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

(\*) Esta denominación se incluye únicamente a título informativo con objeto de facilitar la adaptación a las nuevas nomenclaturas europeas.  
(\*\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ".  
TBR: Se informa del valor

Tabla 2. Requisitos de los betunes modificados con caucho

### 2.3 Betunes modificados de alta viscosidad con caucho

Estos ligantes tienen unas especificaciones en las que toma relevancia el valor que debe alcanzar la viscosidad. Se nombran con las siglas BMAVC y sus especificaciones son las siguientes:

Características	Norma de referencia	Unidad	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3
<b>Betún original</b>					
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	15-30	35-50	55-70
Punto de reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70
Punto de fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15
Fuerza Ductilidad (Scrf/min)	UNE EN 13589	J/cm <sup>2</sup>	-	≥ 2	≥ 3
	UNE EN 13703	J/cm <sup>2</sup>	≥ 2	-	-
Consistencia (Flotador a 60°C)	NLT 183	s	-	≥ 3000	-
Viscosidad dinámica	135°C	mPas	-	≤ 7500	≤ 5000
	170°C	mPas	≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Recuperación elástica	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Estabilidad al almacenamiento (*)	UNE EN 13399	Diferencia de anillo y bola	-	≤ 5	-
		Diferencia de penetración	0,1 mm	≤ 20	-
Punto de inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C	-	≥ 235	-
<b>Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1</b>					
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Penetración retenida	UNE EN 1426	% p.o	-	≥ 60	-
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	min -4 máx +10	min -4 máx +10	min -5 máx +12

(\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ"

Tabla 3. Especificaciones de betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC)

# Interacción betún-caucho: proceso de digestión



La interacción a alta temperatura del betún con las partículas de caucho procedente del neumático, se ha descrito de diferentes modos en la bibliografía. Por un lado, se presenta como una reacción química que consiste en la degradación de las cadenas elastoméricas por efecto térmico y por otro, un proceso de desvulcanización del caucho donde se produce la destrucción de enlaces azufre-azufre propio de la vulcanización, puesta de manifiesto por una disminución de azufre en la superficie de las partículas de caucho. Sin embargo, la interacción es principalmente un fenómeno físico cuyo mecanismo principal consiste en el hinchamiento del caucho al captar las fracciones más ligeras del betún.

### 3.1 El proceso de digestión del caucho en los betunes

Durante la interacción betún-caucho las partículas de caucho comienzan a hincharse o aumentar de volumen debido a la absorción de las fracciones aromáticas. (Figura 1). Alrededor de la partícula de caucho se va formando un "gel" o "capa blanda" que va desprendiéndose por el efecto de la agitación a la vez que se integra en el betún. Levado el fenómeno al extremo, si la temperatura o la energía de agitación se prolongaran, la partícula de caucho llegaría a desaparecer en el seno del betún.

La interacción del caucho con el betún se denomina **digestión**.

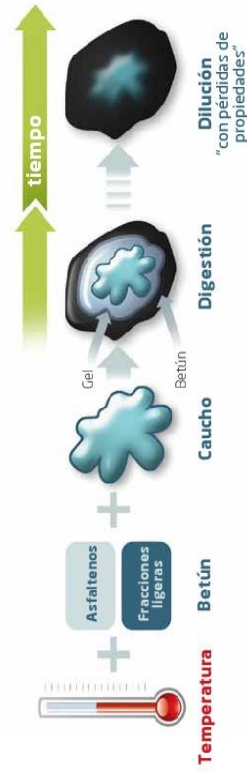
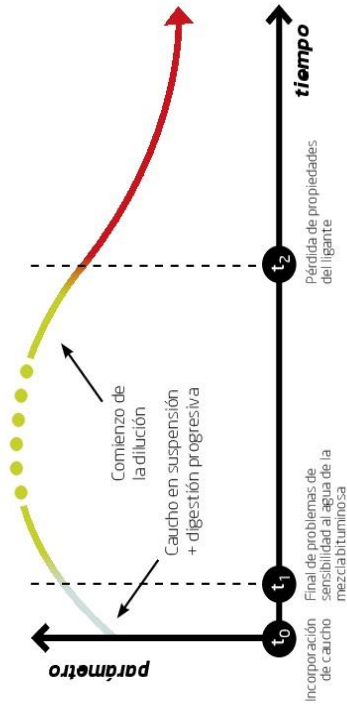


Figura 1. Evolución de la interacción betún-caucho





En la **Figura 2** se representa un esquema de la evolución del proceso de digestión con el tiempo en el que su adecuada combinación de la temperatura de digestión asegura la integración del caucho en el betún.



**Figura 2. Evolución de propiedades modificadas**

Existen varias técnicas para estudiar el proceso de digestión del caucho en el betún. Entre otras posibles, la de filtrado del caucho en suspensión, microscopía electrónica de barrido (SEM), fraccionamiento del betún (SARA), espectrometría de infrarrojos, cromatografía de filtración en gel y microscopía de fluorescencia. Todas han contribuido a un mejor conocimiento de la interacción betún-caucho.

En síntesis, el proceso de digestión se ve favorecido:

- A medida que la temperatura aumenta
- Cuando el tiempo de contacto se prolonga

- Al disminuir el tamaño máximo de las partículas de caucho
- Cuanto mayor es el contenido de fracciones ligeras del betún
- Al aumentar la energía de mezclado

**/// Una adecuada combinación de la temperatura de digestión asegura la integración del caucho en el betún mejorando sus propiedades."**



## Caracterización del polvo de caucho



Un aspecto importante a la hora de formular adecuadamente los betunes con caucho es conocer las especificaciones que presenta el polvo de NFU. Los diferentes estudios bibliográficos han demostrado que la composición del caucho y la granulometría de las partículas de polvo son dos de las principales características que mayor influencia tienen en las propiedades del betún con caucho.

La Orden Circular 21/2007 define el polvo de caucho precedente de NFU como aquél que resulta de granular neumáticos fuera de uso hasta tamaños inferiores a 1 mm y siempre que su contenido de partículas por debajo de 0,063 mm sea inferior al 15%. Además, dicho documento indica que el polvo de caucho estará compuesto fundamentalmente por caucho natural y sintético y no contendrá materiales ferromagnéticos, textiles o contaminantes en proporciones superiores al 0,01%, 0,5% y 0,25% en peso, respectivamente.

En este capítulo se recogen cuáles son las principales características del polvo de NFU y la descripción de los métodos de ensayo para su caracterización.

### 4.1. Características y métodos de ensayo

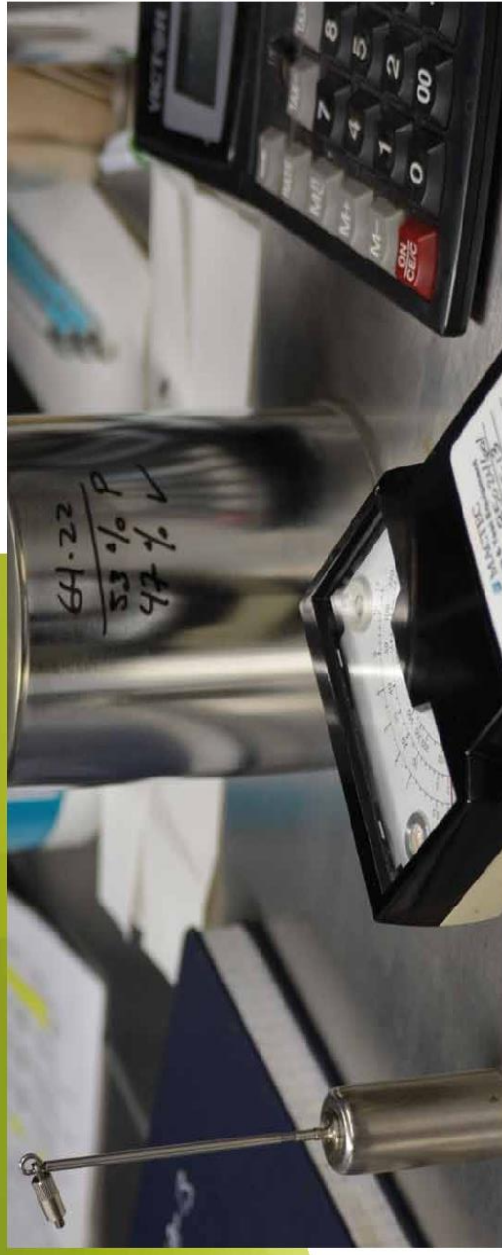
Las principales características del polvo son:

- **Composición química:** El polvo de NFU está compuesto por una mezcla de distintos cauchos, principalmente caucho natural (NR) y cauchos sintéticos, entre los que se encuentran los del tipo (SBR) y (BR). La proporción de estos cauchos depende del origen del neumático de partida, así por ejemplo el contenido de caucho natural de los neumáticos de camión es mayor que el de los neumáticos de vehículos ligeros (turismo, furgoneta, moto...).

Para la medida del contenido de caucho natural, el único método preciso es el basado en técnicas de  $^{14}\text{C}$  que determina el contenido de biomasa de una muestra y que resulta equivalente a su contenido de caucho natural.

- **Densidad aparente:** Puede variar ligeramente en función del proceso de producción. No obstante, como valor de referencia se puede tomar una densidad aparente del





muestra similar a la del ensayo granulométrico, que además es sometida a este mismo ensayo durante un tiempo de 10 min. Las fibras textiles en este caso, si existen, tienden a formar pequeñas aglomeraciones que se separan y pesan para su cuantificación.

- **Contenido de impurezas:** La norma experimental mencionada anteriormente, describe un método de ensayo para medir el contenido de impurezas basado en una separación densimétrica de materiales, en la que se vierte una muestra de 150 g de polvo sobre una solución salina preparada con 300 g de sal común en 1 litro de agua, dando como resultado una densidad aproximada de 1,25 g/cm<sup>3</sup>, superior a la que tiene el caucho (del orden de 1,125 g/cm<sup>3</sup>) provocando que los elementos extraños localizables en el granulado, como tierra, vidrio o alguna partícula metálica no magnética, decanten en el fondo del recipiente empleado.

- **Contenido de humedad:** El análisis se realizará de acuerdo a la Norma UNE 103-300-3 (excepto en lo relativo a la temperatura de calentamiento de la estufa que será de 105±5°C y la masa mínima de la muestra que será de 100 g). En esta norma se describe el ensayo para determinar la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

**Los métodos de ensayo para establecer la granulometría están recogidos en la norma europea UNE-CEN/TS 14243:2012 EX.”**

que contiene el polvo de caucho, utilizando para ello un método consistente en la extracción del acero por medio de un imán. El procedimiento de ensayo establecido en la norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX anteriormente mencionada, plantea la toma de una muestra de polvo de caucho de 500 g esparcida sobre una bandeja que permita obtener un espesor inferior de 2 cm, sobre la que se pasa un imán de una superficie mayor de 2 cm<sup>2</sup> de superficie y 1 T (Tesla) de intensidad mínima, en el que quedan adheridas las partículas de acero.

- **Contenido de textil:** Para la cuantificación de este parámetro la norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX establece un procedimiento en el que se toma una cantidad de

El método de ensayo para determinar el tamaño de partícula consiste en introducir una muestra de al menos 150 g en un equipo de tamizado que tenga un movimiento de vibración en al menos dos dimensiones, para clasificar el material por tamaños mediante distintos tamices. El tiempo de tamizado es de 10 minutos. El informe de resultados proporciona la curva granulométrica, en la que además de los límites superior e inferior, se indican los porcentajes de material que pasa a través de los tamices intermedios colocados en el equipo.

- **Contenido de acero o materiales ferromagnéticos:** A través de un análisis se determina la cantidad de acero libre

orden de 0,5 Kg/dm<sup>3</sup>, con ligeras oscilaciones, en función del huso granulométrico y tipo de neumático empleado.

- **Granulometría:** Además de comprobar que las partículas de polvo de caucho son inferiores a un tamaño determinado, también es importante conocer su distribución de tamaños, a lo largo de su curva granulométrica. El método de ensayo para establecer la granulometría está recogido en la norma europea UNE-CEN/TS 14243:2012 EX de carácter experimental, titulada: “Materiales producidos a partir de neumáticos fuera de uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas”.



## Diseño de betunes con caucho



El diseño de un betún con caucho en laboratorio es un proceso que comprende la selección de los componentes y el procedimiento de fabricación, de modo que se logre posteriormente una adecuada reproducción del proceso a escala industrial y un producto resultante que cumpla unas especificaciones establecidas.

Aunque no se trata de un procedimiento excesivamente complejo, las indicaciones recogidas en esta Guía y la experiencia previa de cada uno servirán para ahorrar esfuerzos.

En los siguientes apartados se describe, paso a paso, el procedimiento a seguir para completar el diseño de un betún con caucho.

### 5.1 Selección del betún base

Como criterio de partida el betún base debe ser más blando que el que se pretende obtener. Tanto el caucho como los polímeros y los aditivos más utilizados, tienden a hacer el betún más consistente a temperaturas de servicio intermedias y altas. En términos de la normativa española de ligantes, la adición de caucho a un betún base supone una disminución de su penetración y un incremento de la temperatura de reblandecimiento.

También tiene cierta influencia la naturaleza química del betún. En general son preferibles

los betunes cuyo contenido conjunto de compuestos nafteno-aromáticos y aromáticos-polares según norma (NLT-373) sea lo más alto posible. No obstante, la influencia que pueda tener la composición del betún, dentro de los rangos manejados habitualmente en España, es menor que la que tiene la penetración del ligante original.

### 5.2 Selección del polvo de caucho

El parámetro con más influencia para la modificación del betún es la granulometría del polvo de caucho. En general, granulometrías más gruesas ralentizan la interacción betún-caucho y acentúan los problemas de sedimentación en el producto final. Son aconsejables granulometrías continuas, con tamaños máximos de 0,8 mm.

La composición química del caucho también tiene influencia en las características finales del betún. El parámetro de control debe ser el porcentaje de tracción elastomérica así como el contenido de caucho natural en la misma, en ambos casos son preferibles valores lo más altos posibles.

Por último debe considerarse el método de molienda del caucho: a temperatura ambiente o criogénico. En general es aconsejable el



**La adición de caucho a un betún base supone una disminución de su penetración y un incremento de la temperatura de reblandecimiento."**

molido a temperatura ambiente, ya que ofrece más superficie específica, y que por otra parte es el más habitual en el mercado.

**5.3 Selección del polímero**

En el caso de betunes modificados es frecuente emplear algún polímero para completar el grado de modificación que se logra con el caucho. En cuanto al polímero a utilizar, en el apartado 7.1.3 de esta Guía, se dan algunas indicaciones para seleccionarlo. Los más eficaces para completar el efecto del caucho, son los basados en elastómeros tipo SBS (estireno-butadieno-estireno). Suelen presentarse en polvo o en granza, pellets, etc. La decisión de utilizar una u otra presentación debe atender al tipo de mezclador empleado, tal como se explica en el siguiente apartado.

Existen en el mercado diversos polímeros del tipo SBS, con diferencias importantes en cuanto a estructura, propiedades y sobre todo por la influencia que tienen sobre el betún después de su incorporación al mismo.

Analizando las propiedades de los polímeros utilizados para el trabajo y los resultados sobre las propiedades del betún, se desprende que los polímeros SBS del tipo radial o ramificado tienen un mayor efecto modificador del betún que en último término es lo que se pretende con su incorporación. Esta mayor capacidad de modificación del betún respecto a los polímeros lineales se debe a que las estructuras ramificadas facilitan la creación de redes tridimensionales en el interior del betún.



**5.4 Selección del mezclador de laboratorio**

A nivel de laboratorio se tienen dos tipos de mezcladores dependiendo de que se trate de removedores con mayor o menor velocidad de rotación, o que se empleen dispositivos provistos de cizalla.

De acuerdo con las instalaciones existentes en plantas de producción, es frecuente utilizar únicamente removedores: cuando la modificación de ligante se hace sólo con caucho de neumáticos, mientras que cuando se emplean adicionalmente polímeros, es más apropiado el uso de dispositivos industriales provistos de efecto cizalla.

Por tanto, si se incorporan polímeros en laboratorio es muy recomendable emplear un dispositivo provisto de cizalla, en caso contrario, empleando un dispositivo sin ella, la presentación del polímero ha de ser en polvo, para facilitar su difusión en el ligante.

El tipo de mezclador utilizado en laboratorio deberá, en todo caso, estar en consonancia

con aquel que se disponga a escala industrial. A modo de ejemplo, si el equipo de fabricación industrial está compuesto de un mezclador y un tanque de digestión de mayor tamaño, en el laboratorio sería conveniente tener una primera fase de mezclado energético, seguida de un período de digestión durante el que el betún con caucho esté continuamente agitado mediante un removedor, como ocurre en el tanque de digestión a escala industrial.

En el Anexo 1 de esta Guía pueden encontrarse algunas modelos característicos de ambos tipos.

**5.5 Temperatura de mezclado y tiempo de digestión**

Se ha comprobado que la intensidad con la que interaccionan betún y caucho, en la operación de fabricación, se duplica aproximadamente por cada incremento de 10°C de temperatura. Por ello, cuanto mayor sea la temperatura, menor será el tiempo de digestión necesario.

No obstante, al calentar los ligantes éstos envejecen, por lo que deben evitarse tempera-

turas innecesariamente altas. Sería recomendable que, de acuerdo con la práctica habitual, las temperaturas de mezclado estén en los siguientes rangos:

- Betunes con un contenido de caucho de hasta el 22%: 185-195°C
- Betunes con un contenido de caucho de hasta el 15%: 175-185°C

Debe además aclararse que aunque el betún base esté acondicionado a una cierta temperatura, al añadir el caucho y eventualmente el polímero, la temperatura disminuirá en el mezclador de laboratorio entre 10 y 40°C aproximadamente, dependiendo del porcentaje de caucho añadido y de la temperatura ambiente, por lo que es imprescindible, tras un primer mezclado a mano con espátula, acondicionar nuevamente la mezcla de betún y caucho a la temperatura deseada, antes de proceder a la operación de fabricación propiamente dicha.

En cuanto a los tiempos de digestión deben establecerse, con carácter general en 60 mi-



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

---

# SECCION 431

## CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS

---



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

Tabla 431-04

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con caucho

Características	Normas	TIPO 1		TIPO 2		TIPO 3	
		min	máx.	min	máx	min	máx.
<b>Pruebas sobre el producto original</b>							
Penetración, 25°C, 100g, 5s, dmm	MTC E-304	25	-	25	-	25	-
Penetración, 4°C, 200g, 60s, dmm	MTC E-304	10	-	15	-	25	-
Viscosidad Rotacional Brookfield a 175 °C, Cp (*)	ASTM D 2196	1500	-	1500	-	1500	-
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232	-	232	-	232	-
Punto de ablandamiento (anillo y bola) ; °C	MTC E 307	47	-	47	-	55	-
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	40	-	60	-	60	-
Resiliencia , 25°C %	ASTM D 5329	25	-	20	-	10	-
<b>Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (**)</b>							
Penetración retenida, % de original. 4°C, 200g, 60s; dmm	MTC E-304	75	-	75	-	75	-

(\*) Para modelos de LV, usar velocidad de 3 at 12 rpm.

(\*) Para modelos y series de RV y HA, usar velocidad de 3 at 20 rpm.

(\*\*) Para casos de controversial usar el residuo de película fina rotativa RTFOT (método ASTM D 2872).

Fuente: ASTM D 6114





## MTC E 103

### REDUCCION DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE MUESTRAS DE ENSAYO

#### 1.0 OBJETO

1.1 Es la reducción de las muestras obtenidas en el campo a los tamaños de muestras requeridas para los ensayos, empleando procedimientos que minimizan la variación en la medición de las características entre las muestras de ensayo y las muestras de campo.

1.2 La reducción de muestras se obtiene mediante los siguientes tres métodos:

Método A: Cuarteador mecánico

Método B: Cuarteo

Método C: Pilas cónicas (agregado fino húmedo)

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 La finalidad es el reducir las muestras obtenidas en el campo a las porciones requeridas para someterlas a ensayos. Las muestras más grandes tienden a ser más representativas de la muestra total.

Los métodos indicados tienen por finalidad reducir el tamaño de la muestra obtenida en el campo a tamaños convenientes para realizar varios ensayos a fin de describir el material y medir su calidad, de tal manera que la porción de muestra de ensayo más pequeña no deje de ser representativa de la muestra más grande y por lo tanto de la total suministrada. Los errores que se cometen en un seguimiento no cuidadoso de los métodos, conducirán a la obtención de muestras no representativas para su uso en ensayos posteriores.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM C 702: Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.

#### 4.0 EQUIPO

4.1 METODO A: CUARTEADOR MECÁNICO

4.1.1 Divisor de muestras: Los divisores de muestras deberán tener un número par de cajuelas con planos inclinados de igual ancho, pero no menor que ocho para suelos gruesos, o veinte para suelos finos, con descargas alternativas a cada lado del divisor. El ancho mínimo de la cajuela debe ser aproximadamente 1,5 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño contenida en la muestra a ser dividida. El divisor debe estar equipado con dos recipientes para recibir las dos mitades de la muestra dividida. Asimismo, debe estar equipado con una tolva, la cual tiene un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total de la cajuela, por la cual la muestra debe ser depositada a una velocidad controlada a las cajuelas. El equipo y sus accesorios deben ser diseñados para que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material. Ver [Figura 1](#).

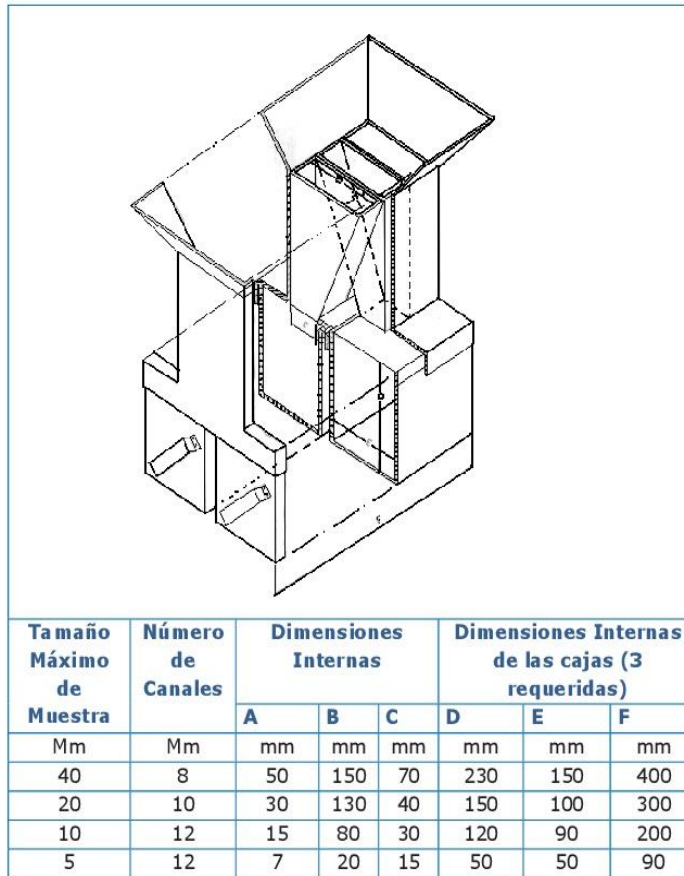


Figura 1. Cuarteador mecánico

4.2 METODO B: CUARTEO

4.2.1 El aparato consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo y una lona para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m. Ver [Figura 2](#).

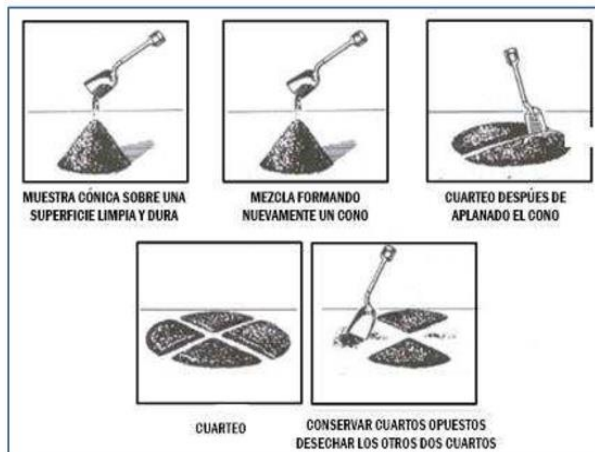


Figura 2 Cuarteo.

#### 4.3 METODO C: PILAS CONICAS (Agregado fino húmedo)

- 4.3.1 El equipo consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo para mezclar y un muestreador (pequeño cucharón o pala). Ver [Figura 3](#)

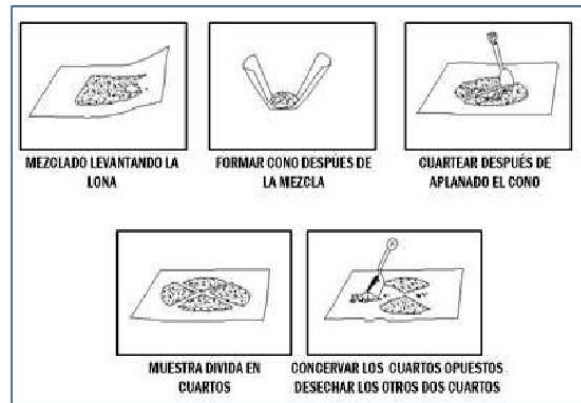


Figura 3: Pilas cónicas

## 5.0 MUESTRA

La muestra de campo se toma de acuerdo con el método (MTC E101), o como lo establezca cada método de ensayo. Cuando se contempla solamente el ensayo de análisis granulométrico, el tamaño de la muestra de campo dada en MTC E 101 es usualmente adecuado. Cuando se van a realizar ensayos adicionales, el usuario deberá asegurar por sí mismo que el tamaño inicial de la muestra de campo sea adecuado para realizar todos los ensayos considerados.

### 5.1 SELECCION DEL METODO

#### 5.1.1 Agregado fino

La muestra de campo de agregado fino que está seca o en condición de saturada superficialmente seca, se debe reducir de tamaño por medio de un cuarteador mecánico usando el Método A. Muestras de campo libres de humedad superficial se pueden reducir de tamaño por cuarteo de acuerdo al Método B o por tratamiento como una pequeña muestra conforme al Método C.

- 5.1.1.1 Si se desea utilizar el Método B ó C y la muestra de campo no tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, la muestra se debe humedecer para alcanzar esta condición, mezclarla bien y luego llevar a cabo la reducción de la muestra.

- 5.1.1.2 Si se desea utilizar el Método A y la muestra de campo tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, la muestra de campo se debe secar hasta la condición de superficie seca, usando temperaturas que no excedan aquellas especificadas para cualquiera de los ensayos contemplados y luego se procede a reducir la muestra. Alternativamente, si la humedad de la muestra de campo es muy grande, una división preliminar se debe realizar utilizando un cuarteador mecánico que tenga una abertura de 38 mm (1 ½ pulg) o más para reducir la muestra a no menos de 5 000 g, la porción así obtenida se seca y se reduce al tamaño de muestra de ensayo usando el Método A.

**Nota 1.** El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco se describe en NTP 400.022. A manera de aproximación, si el agregado fino mantiene su forma, cuando se moldea con la mano, se puede considerar que posee dicha condición.

#### 5.1.2 Agregado grueso y mezcla de agregados grueso y fino

La muestra se reduce usando un cuarteador mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo usando el Método B. No se debe usar el Método C para agregado grueso o mezcla de agregado grueso y fino.





## 6.0 PROCEDIMIENTO

### 6.1 METODO A: CUARTEADOR MECANICO

6.1.1 La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyéndola uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada cajuela. La razón a la cual la muestra se deposita en la tolva, es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

6.1.2 La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyéndola uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada cajuela. La razón a la cual la muestra se deposita en la tolva, es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

### 6.2 METODO B: CUARTEO

6.2.1 Se puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en los dos numerales siguientes o una combinación de ambos.

6.2.1.1 Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida, tal como se aprecia en la Figura 2.

6.2.1.2 Como una alternativa al procedimiento anterior, cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona sobre la cual se homogeniza la muestra original por paleo. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativa de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo rodar al material. En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila como en [6.2.1.1](#) y luego dividirlo, o si la superficie bajo la lona es irregular, se coloca debajo de la lona en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos divida la muestra en dos partes iguales.

Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales. Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpia los filos de la lona.

Sucesivamente se mezcla y cuarteo el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada, tal como se aprecia en la [Figura 3](#).

### 6.3 METODO C: PILAS CONICAS (Agregado fino húmedo)

6.3.1 Se coloca la muestra de campo de agregado fino húmedo sobre una superficie limpia y nivelada para evitar cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla el material completamente por volteo repitiendo la operación hasta tres veces. En la última



operación cada palada se deposita en la parte superior del cono de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Si se desea la pila cónica puede ser aplanada hasta un espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala de tal forma que cada cuarto de sector resultante contenga el material original. Se obtiene la muestra para cada ensayo seleccionando al azar por lo menos cinco porciones de material localizados de la pequeña pila cónica usando el equipo descrito en 4.3.1.

## **7.0 PRECISION Y DISPERSION**

- 7.1 Puesto que la presente norma no proporciona resultados numéricos, la determinación de la precisión no es posible. Sin embargo, si no se siguen cuidadosamente los procedimientos descritos pueden resultar muestras distorsionadas para ser usadas en ensayos subsecuentes.

---

NORMA TÉCNICA  
PERUANA

NTP 400.012  
2001

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

## AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

2001-05-31  
2ª Edición

R.0071-2001/INDECOPI-CRT.Pública el 2001-06-17

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico



Para los términos utilizados en esta NTP, referirse a la NTP 400.011, NTP 339.037 y NTP 339.047.

## 5. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

## 6. APARATOS

**6.1 Balanzas:** Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:

6.1.1 Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

6.1.2 Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

**6.2 Tamices:** Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.

NOTA 1: Es recomendable que los tamices montados en marcos mayores que los normalizados de 203,2 mm (8 pulg) de diámetro, se usen para ensayos del agregado grueso y del global; para reducir la posibilidad de sobrecarga de los tamices. Véase apartado 8.3

**6.3 Agitador Mecánico de Tamices:** Un agitador mecánico impartirá un movimiento vertical o movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado. La

acción del tamizado será tal que el criterio para un adecuado tamizado descrito en el apartado 8.4 esté dentro de un periodo de tiempo razonable.

NOTA 2: El uso del agitador mecánico es recomendado cuando la cantidad de la muestra es de 20 kg o mayor y puede ser utilizado para muestras más pequeñas incluyendo el agregado fino. El tiempo excesivo (aproximadamente más de 10 min) para conseguir un adecuado tamizado puede resultar en degradación de la muestra. El mismo agitador mecánico puede no ser práctico para todos los tamaños de muestra; mientras que una gran área del tamiz necesaria para un tamizado práctico del agregado grueso o global de gran tamaño nominal, igualmente podría resultar en la pérdida de una porción de la muestra si se usa para una pequeña muestra de agregado grueso o agregado fino.

**6.4 Horno:** Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

## 7. MUESTREO

7.1 Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010. El tamaño de la muestra de campo deberá ser la cantidad indicada en la NTP 400.010 o cuatro veces la cantidad requerida en los apartados 7.4 y 7.5 (excepto con la modificación que se presenta en el apartado 7.6), la que sea mayor.

7.2 Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo utilizando los procedimientos descritos en la práctica normalizada ASTM C 702. La muestra para el ensayo será aproximadamente de la cantidad deseada cuando esté seca y deberá ser el resultado final de la reducción. No se permitirá la reducción a una cantidad exacta predeterminada.

NOTA 3: Cuando el ensayo propuesto sea el de análisis granulométrico, incluyendo la determinación del material más fino que la malla de  $75\ \mu\text{m}$  (No. 200), la muestra podrá ser reducida en el campo para evitar el envío de excesiva cantidad de material al laboratorio.

**7.3 Agregado fino:** La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de 300 g mínimo.

**7.4 Agregado grueso:** La cantidad de muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la Tabla 1.

**Tabla 1 - Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global**

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

**7.5 Agregado Global:** La cantidad de muestra de ensayo de agregado global será la misma que para la del agregado grueso. Véase apartado 7.4 y Tabla 1.

**7.6 Muestras de agregado grueso y agregado global de mayor tamaño:** La cantidad de muestra requerida para agregados con tamaños máximos nominales a 50 mm o mayores debe ser tal como para evitar la reducción de la muestra y ensayarla como una unidad; excepto con cuarteador y agitador mecánico de tamices de capacidad suficiente. Cuando no se disponga de estos equipos, en lugar de combinar y mezclar incrementos de muestra para luego reducirla a una muestra de ensayo, como una opción, se puede realizar el tamizado de aproximadamente igual número de incrementos de tal modo que el total de la masa ensayada cumpla con los requisitos del apartado 7.4.

**7.7** En el caso que la determinación de la cantidad de material más fino que la malla 75 µm (No. 200) sea realizada mediante el método descrito en la NTP 400.018, se procederá como sigue:

7.7.1 Para agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2 pulgadas) o menores, utilizar la muestra de ensayo que se utiliza en la NTP 400.018 y este método. Primero ensayar la muestra de acuerdo con la NTP 400.018 completando la operación de secado final, luego tamizar la muestra en seco como se estipula en los apartados 8.2 hasta 8.7 de la presente NTP.

7.7.2 Para agregados con tamaño máximo nominal mayores a 12,5 mm (1/2 pulgadas) se puede utilizar una muestra de ensayo simple como se describe en el apartado 7.7.1 o se puede utilizar una muestra simple separada por el método de ensayo que describe la NTP 400.018.

7.7.3 Cuando la especificación requiera la determinación de la cantidad total de material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) por lavado y secado, utilizar el procedimiento descrito en el apartado 7.7.1.

## 8. PROCEDIMIENTO

8.1 Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

NOTA 4: Para ensayos de control, particularmente cuando se deseen resultados rápidos no es necesario secar el agregado grueso para el análisis granulométrico. Los resultados son ligeramente afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12,5 mm (1/2 pulgadas); (2) el agregado grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que 4,75 mm (Nº 4); ó (3) el agregado grueso es altamente absorbente (ejemplo un agregado ligero). También las muestras pueden ser secadas a una temperatura alta utilizando planchas calientes sin afectar los resultados, manteniendo los escapes de vapor sin generación de presiones suficientes como para fracturar las partículas y, temperaturas que no sean mayores como para causar el rompimiento químico del agregado.

8.2 Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por



## MTC E 304

### PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los aparatos y el procedimiento descrito en este método de ensayo son proveídos para la determinación de la penetración hasta de 500.
- 2.2 El ensayo de penetración es empleado como una medida de consistencia. Valores altos de penetración indican una consistencia más suave.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 5: "Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials"

#### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato de penetración. Será aceptable cualquier aparato que permite al sostén de la aguja (vástago) moverse verticalmente sin fricción y que sea capaz de indicar la profundidad de penetración al 0,1 mm más cercanos. El peso del vástago debe ser  $47,5 \pm 0,05$  g, el peso total de la aguja ensamblada en el vástago debe ser  $50,0 \pm 0,05$ g. Pesos de  $50,0 \pm 0,05$  g y  $100 \pm 0,05$ g deben también mantener la carga total de 100g y 200g requeridos para algunas condiciones de prueba. La superficie en que reposan los recipientes de muestra será llana y el eje del vástago estará aproximadamente en  $90^{\circ}$  a esta superficie. El aparato tendrá un indicador de nivelación. El vástago se desarmará fácilmente para verificar su peso.

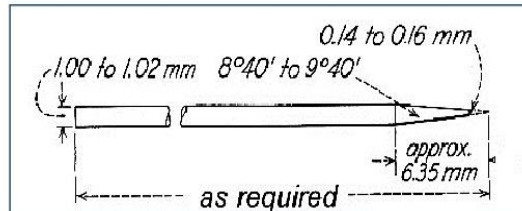
**Nota 1.** El indicador de nivelación se verificará por lo menos anualmente con un nivel portátil.

- 4.1.2 Aguja de Penetración. Deberá estar hecha de acero inoxidable templado y totalmente endurecido, grado 440-C o igual, HRC 54 a 60. La aguja Standard deberá ser de aproximadamente 50mm (2pulg) de longitud. El diámetro de todas las agujas deberán ser de 1,00 a 1,02mm (0,0394 a 0,0402 pulg). Esta deberá ser disminuida simétricamente de la punta, por molienda hasta tener forma cónica, teniendo un ángulo entre  $8,7^{\circ}$  y  $9,7^{\circ}$  sobre la longitud total del cono. La forma cónica deberá ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación axial total de la intersección entre lo cónico y las superficies rectas no deberá exceder de 0,2mm. El extremo truncado de la parte cónica deberá estar cerca del diámetro límite de 0,14 y 0,16mm y la coordenada del eje de la aguja cerca de  $2^{\circ}$ . El borde completo de la superficie truncada de la punta debe ser puntiagudo y libre de rebabas. Cuando la textura de la superficie es medida de acuerdo con las normas nacionales americanas B 461 ó ISO 468. La superficie áspera del punto más alto, Ra de la parte cónica disminuida será de 0,2 a 0,3  $\mu$ m promedio aritmético. La altura de rugosidad de superficie, Ra del astil de la aguja debe ser de 0,025 a 0,125 $\mu$ m. La aguja debe ser montada en un casquillo de metal antioxidante.

El casquillo debe ser  $3,2 \pm 0,05$ mm de diámetro y  $38 \pm 1$ mm de longitud.

La longitud expuesta de la aguja Standard debe estar cerca de los límites de 40 a 45mm y la longitud expuesta de la aguja larga será de 50 a 55mm. La aguja debe ser montada rígidamente en el casquillo. El deslizamiento (lectura del indicador total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquillo axial no debe exceder de 1mm El peso del casquillo y la aguja ensamblada debe ser de  $2,50 \pm 0,05$ g. (Un agujero hecho con taladro en el borde del casquete ó una aplanadura sobre el costado se permiten como manera de controlar el peso). Se harán marcas de identificación individual en el

casquete de cada aguja; las mismas marcas no deben ser repetidas por algún fabricante dentro de un período de 3 años.



**Figura 1: Aguja para prueba de penetración**

- 4.1.3 Recipiente de prueba. cilíndrico, de metal o vidrio con fondo plano. Se usará las dimensiones siguientes:
- 4.1.3.1 Para penetraciones menores de 200  
Diámetro, mm 55  
Profundidad interna, mm 35
- 4.1.3.2 Para penetraciones entre 200 y 350  
Diámetro, mm 55 - 75  
Profundidad interna, mm 45 - 70
- 4.1.3.3 Para penetraciones de 350 a 500  
Diámetro, mm 55  
Profundidad interna, mm 70
- 4.1.4 Baño de agua. Capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 0,1$  °C o cualquiera otra temperatura de prueba dentro de  $0,1$  °C. El baño tendrá una placa perforada que estará colocada a una distancia por debajo del líquido del baño. Si las pruebas de penetración son hechas en el propio baño, se requerirá un estante adicional para apoyar bien el Penetrómetro. El agua con sal puede usarse en el baño para las determinaciones a temperaturas bajas.
- Nota 2.** Se recomienda el uso de agua destilada para el baño. Se debe tener cuidado para evitar la contaminación del agua del baño por los agentes activos u otros químicos; porque su presencia puede afectar los valores de penetración obtenidos.
- 4.1.5 Plato de Transferencia. Cuando se use el plato de transferencia tendrá una capacidad de por lo menos 350 mL y de profundidad suficiente para que el agua cubra la superficie del recipiente de la muestra. Se proporcionará algunos medios para obtener una posición firme y prevenir el movimiento del recipiente. Un parante de tres patas con tres puntos de contacto para el recipiente de la muestra es una manera conveniente de asegurar esto.
- 4.1.6 Dispositivo de tiempo. Para penetrómetros de operación manual cualquier dispositivo medidor de tiempo, tal como cronómetro eléctrico, un reloj de detención u otro dispositivo puede usarse con tal de que este graduado en  $0,1$  s o menos y con exactitud de  $\pm 0,1$  s para intervalos de 60 s. También puede usarse un contómetro de segundos audible, regulado para obtener un golpe cada  $0,5$  s. El tiempo para el intervalo de cuenta debe ser  $5 \pm 0,1$ s. Cualquier dispositivo automático elegido conectado a un Penetrómetro debe calibrarse para proporcionar el intervalo de prueba deseado con precisión de  $\pm 0,1$ s.
- 4.1.7 Termómetros. de líquido en vidrio. Termómetros calibrados con rango y subdivisiones convenientes y error máximo de  $0,1^{\circ}$  C, o cualquier otro dispositivo termométrico de precisión y sensibilidad igual se usará. Los termómetros deben de cumplir con los requerimientos de la especificación E1 o la especificación E 2251. Otro dispositivo termométrico deberá cumplir con los requerimientos de la especificación E 1137. Los termómetros usados para el baño de agua deberán ser calibrados periódicamente de acuerdo



con el método E-77. Un dispositivo termométrico alterno se calibrará periódicamente de acuerdo con la especificación E 1137.

#### TERMINOLOGÍA

**Penetración.**- Consistencia de un material bituminoso expresado como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de los Especímenes de Prueba. Se tomarán las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación. De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
- 5.2 En ningún caso la temperatura debe elevarse a más de 60 °C sobre su punto de ablandamiento esperado para la brea de acuerdo con el método de ensayo MTC E 307, ó a más de 90 °C sobre éste, para el asfalto de petróleo (bitumen). No calentar la muestra por más de 60 minutos. Remover la muestra hasta asegurar que sea homogénea. Evite incorporar burbujas a la muestra. Verter la muestra en el recipiente a una profundidad tal que, cuando se enfríe a la temperatura de prueba, la profundidad de la muestra sea por lo menos 120% de la profundidad a la que la aguja se espere penetre. Vierta porciones separadas para cada variación en las condiciones de la prueba. Si el recipiente de la muestra es menor de 65 mm de diámetro y la penetración esperada es mayor que 200, vierta cuatro porciones separadas para cada variación en las condiciones de la prueba.

**Nota 3.** Si el material es suficiente se recomienda llenar el recipiente de la muestra cerca al borde.

Dejar enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C por 1 a 1,5 horas para el recipiente pequeño (55×35mm) y de 1,5 a 2 horas para recipientes mas grandes. Luego ponga las muestras juntas con el plato de transferencia, si es que lo emplea, en el baño de agua mantenido a la temperatura indicada de ensayo. Permita que el recipiente pequeño (55×35mm) permanezca por 1 a 1,5 horas y el recipiente más grande por 1,5 a 2,0 horas.

**Nota 4.** Si las condiciones lo garantizan, es apropiado cubrir ligeramente cada recipiente como una protección contra el polvo. Una manera conveniente de hacer esto es cubriéndolos con un vaso.

- 5.3 Condiciones de la prueba.- Cuando las condiciones de la prueba no están descritas específicamente se sobreentiende que la temperatura, carga y tiempo son 25°C (77 °F), 100g y 5s respectivamente. Otras condiciones pueden usarse para pruebas especiales, como las siguientes:

Temperatura, °C	Carga, g	Tiempo, s
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

En tales casos se reportarán las condiciones específicas de las pruebas.

### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Examine el sujetador de la aguja y guía para establecer la ausencia de agua u otro material extraño. Si se espera que la penetración exceda 350 usar una aguja larga, de lo contrario una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente conveniente,



seque con una tela limpia e inserte la aguja de penetración en el Penetrómetro. Salvo que se especifique de otra manea colocar el peso de 50g haciendo la carga movible de 100 ± 0,1g.

- 6.2 Si la prueba es hecha con el Penetrómetro en el baño, ponga el recipiente de la muestra directamente en el parante sumergido del Penetrómetro, mantenga el contenedor de la muestra completamente cubierto con agua en el baño. Si la prueba es hecha en el Penetrómetro fuera del baño, ponga el recipiente de la muestra en el plato de transferencia, cubra el contenedor completamente con agua del baño y coloque el plato de transferencia sobre el parante del Penetrómetro.
- 6.3 Usando el indicador de nivel, asegure que el aparato está nivelado.
- 6.4 Anote la lectura del dial del penetrómetro ó lleve el punto a cero. Posicione la aguja lentamente bajándola hasta que la punta roce con la superficie de la muestra. Esto se logra trayendo la punta de la aguja real al contacto con su imagen reflejada en la superficie de la muestra con una fuente de luz colocada adecuadamente. Rápidamente suelte al poseedor de la aguja para el período especificado de tiempo y ajuste el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de milímetro. Si el recipiente se mueve, ignore el resultado.
- 6.5 Haga por lo menos tres determinaciones en puntos de la superficie de la muestra, a no menos de 10 mm del borde del recipiente y no menos de 10 mm separadamente entre ellos. Si el plato de transferencia se usa, devuelva la muestra y transfiera el plato al baño de temperatura constante entre las determinaciones. Use una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, use tres agujas dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones hayan sido completadas. Si el recipiente de la muestra es menor que 65 mm de diámetro y la penetración esperada es mayor que 200, haga una penetración en cada uno de los tres recipientes separados y preparados según sección 7.2

**Nota 5** - Con un recipiente de 55mm y una muestra con la penetración esperada mayor que 200, no es a menudo posible posicionar el sujetador de la aguja para una tercera determinación sin golpear el lugar de las otras dos agujas. Para ensayos de rutina es aceptable usar un solo recipiente para todas las tres penetraciones de la aguja, moviendo las primeras dos agujas cuando sea necesario, con tal de que la diferencia entre los valores de penetración más altos y más bajos no excedan los valores especificados en sección 4.1.2

**7.0 CALCULOS E INFORME**

Calcular el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

**7.1 CALCULOS**

7.1.1 Calcular el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

**7.2 INFORME**

Reporte a la unidad entera más cercana el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran por más de lo siguiente:

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la penetración más alta y la más baja.	2	4	12	20

**8.0 PRECISION Y DISPERSION**

**8.1 PRECISION**

Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

- 8.1.1 Repetibilidad. Los ensayos por duplicado por un mismo operador y equipo en tiempos diferentes y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C):

Material asfáltico Ensayo a 25 °C	Diferencia
Asfalto con penetración menor de 50	1 unidad
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	3% del valor medio

- 8.1.2 Reproducibilidad. Los ensayos realizados por distintos operadores en diferentes laboratorios y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C).

Asfalto con penetración menor de 50

4 unidades

Asfalto con penetración igual o mayor de 50

8% del valor medio

Los valores de precisión indicados anteriormente, se han obtenido multiplicando los estimativos de las desviaciones típicas de las poblaciones que se indican a continuación, por  $2\sqrt{2}$ .

Los estimativos de precisión anteriores están basados en los siguientes datos:

Material asfáltico Ensayos a 25 °C	Estimación de la desviación típica	
	En un laboratorio	Entre laboratorios
Asfalto con penetración menor de 50	0,35 unidades	1,4 unidades
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	1,1 % del valor medio	2,8 % del valor medio

	Asfaltos de Penet. < 50	Asfaltos de Penet. ≥ 50
Muestras	2	7
Laboratorios	16	27
Repeticiones por muestra	3	3
Grados de libertad dentro del laboratorio	32	185
Entre laboratorios	14	89

#### DISPERSION

Este método de prueba no tiene dispersión porque los valores determinados son definidos únicamente en términos del método de ensayo.



## MTC E 307

### PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (ANILLO Y BOLA)

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30 a 157 °C, utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 a 80 °C), glicerina USP (encima de 80 a 157 °C), o glicol etileno (30 a 110°C).

#### 1.1 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los productos bituminosos son materiales viscoelásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura va en aumento. Por esta razón, el punto de ablandamiento debe determinarse por medio de un método arbitrario fijo pero definido, que produzca resultados reproducibles y comparables.
- 2.3 El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

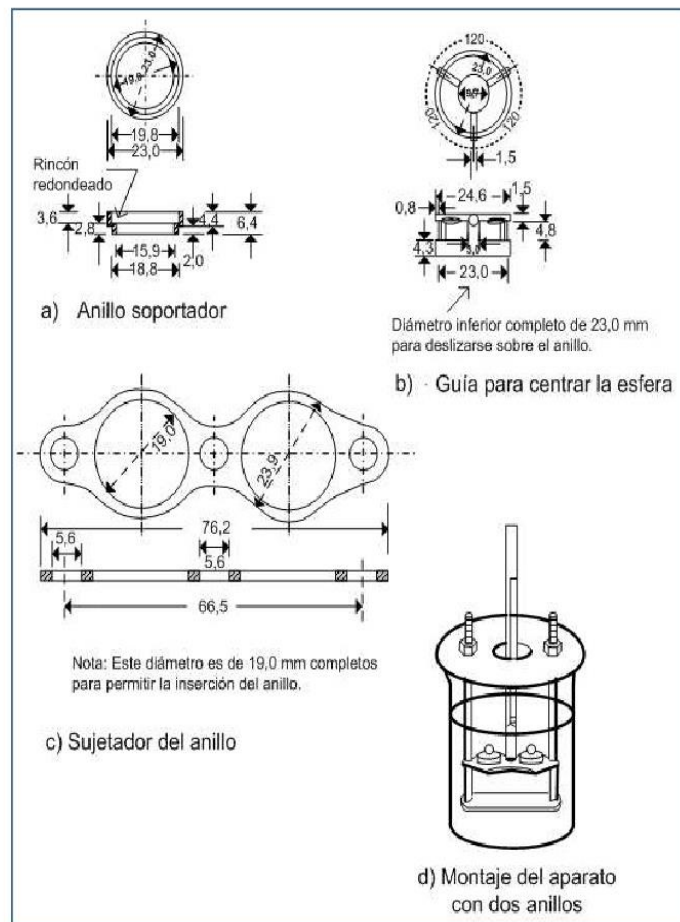
- 3.1 ASTM D 36: "Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)"
- 3.2 AASHTO T-53: "Standard Method of Test for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)"

#### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

##### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Anillos de bronce, de bordes cuadrados, conforme con las dimensiones mostradas en la Figura 1.
- 4.1.2 Platos de base, hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado para mantener dos o más anillos. Los platos serán planos.
- 4.1.3 Bolas de acero, Dos de 9,5 mm de diámetro (3/8"), pesando cada una  $3,5 \pm 0,05$  g.
- 4.1.4 Guías de contacto de las bolas, Dos guías de bronce para centrar las bolas de acero, una para cada anillo, con la forma, apariencia y dimensiones de la Figura 1b.





**Figura 1. Anillo soportador sujetador de anillo bola para centrar esfera y montaje que muestra dos anillos del aparato**

- 4.1.5 Baño, recipiente de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo, con capacidad de 800 mL.
- 4.1.6 Soporte de anillos y montaje completo: un soporte de bronce diseñado, para sostener los anillos en posición horizontal con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 1c.
- 4.1.7 El montaje completo está indicado en la Figura 1d, con la base de los anillos colocada  $25 \pm 0,8$  mm ( $1 \pm 0,03$ " ) por encima de la superficie superior del plato de base. La superficie inferior de este último deberá estar  $16 \pm 3$  mm ( $5/8 \pm 1/8$ " ) por encima del fondo del baño.
- 4.1.8 Termómetros: serán de tres tipos, con las características definidas en Ia Especificación ASTM E1:

Termómetro	Intervalo de temperaturas
15 C	-2 a + 80 °C
16 C	30 a 200 °C

El termómetro adecuado se colocará en el montaje como se indica en Ia Figura 1, cuidando que el extremo del bulbo esté a nivel con el fondo de los anillos y dentro de los 13 mm (0,5")



alrededor de ellos, pero sin tocar los anillos ni el soporte. La sustitución de otros termómetros no será permitida

#### 4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Agua destilada recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen.
- 4.2.2 Glicerina USP; se debe tener mucho cuidado porque su punto de ignición es de 160 °C (320 °F), según el método de ensayo ASTM D 92.
- 4.2.3 Glicol etileno, con punto de ebullición entre 195 y 197 °C.

Deben tomarse precauciones porque esta sustancia es tóxica cuando se ingiere o sus vapores son inhalados. Su contacto prolongado con la piel es dañino. Su punto de inflamación es de 115°C. Cuando se usa este líquido en el baño, el ensayo deberá efectuarse en un laboratorio ventilado y con campana extractora de vapores, con capacidad para asegurar la remoción de los gases tóxicos.

- 4.2.4 Agentes aislantes: consisten en aceites o grasas con siliconas que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base, cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger. También se pueden usar mezclas de glicerina con talco, dextrin o arcilla china. Cuando se usen siliconas, se debe evitar la contaminación de otros elementos del equipo de ensayo, pues puede producir errores en las determinaciones de penetración o punto de ignición. En estos casos, se deben emplear guantes desechables de caucho.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de Especímenes.- Antes de iniciar labores debe verificarse que todo haya sido planeado (equipos, materiales, etc.) para terminar el ensayo dentro de 6 horas. Caliéntese la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, agitándola frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, deberá evitarse la formación de burbujas.
  - 5.1.1 El calentamiento de la muestra no debe tomar más de 2 horas; y, en ningún caso, la temperatura será mayor que 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Si el ensayo debe repetirse, no se recalentará la muestra sino que deberá utilizarse una muestra fresca.
  - 5.1.2 Caliéntense los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y colóquense sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.
  - 5.1.3 Viértase, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y déjese enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
  - 5.1.4 Para materiales que estén blandos a la temperatura ambiente, enfríense los especímenes, al menos durante 30 minutos a una temperatura inferior 10 °C por debajo del punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.
  - 5.1.5 Cuando los especímenes estén fríos, córtese el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o espátula precalentada, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Seleccione, dependiendo del punto de ablandamiento esperado, el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:





- Baño con agua destilada recién hervida, para ablandamiento esperado entre 30 y 80 °C; úsese un termómetro 15 C. La temperatura al comenzar el baño deberá ser de  $5 \pm 1$  °C.
- Baño con glicerina USP, para obtener ablandamientos por encima de 80 °C y hasta 157 °C; úsese un termómetro 16 C. La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $30 \pm 1$  °C.
- Baño con glicol etileno para ablandamiento entre 30 °C y 110 °C; úsese un termómetro 16 C. La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $5 \pm 1$  °C.

Para propósitos de arbitraje todos los puntos de ablandamiento hasta 80° C serán determinados en un baño maría (de agua) y todos los puntos de ablandamientos mayores de 80° C serán determinados en un baño de glicerina.

- 6.2 Armar el aparato bajo la campana extractora; colocando los anillos, con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y llénese el baño con el líquido apropiado hasta una altura de  $105 \pm 3$  mm. Si se usa glicol etileno, asegúrese que el ventilador de la campana extractora esté funcionando antes de depositar el líquido.

Usando unas tenazas apropiadas, colóquense las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.

- 6.3 Colóquese todo el conjunto del baño en agua con hielo o caliéntese muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Cuídese de no contaminar el líquido del baño.

- 6.4 Usando otra vez las tenazas, colóquese cada una de las bolas en la guía para su centrado.

- 6.5 Caliéntese el baño en forma pausada para asegurar que la velocidad de elevación de la temperatura sea constante a 5°C/minuto. Protéjase el baño de corrientes de aire usando pantallas, si es necesario. No promedie la velocidad de elevación de temperatura durante el período del ensayo.

La máxima variación permitida para un período de 1 minuto, después de transcurridos los 3 primeros minutos, será de  $\pm 0,5$  °C. Repítase cualquier ensayo en el cual la velocidad de elevación de la temperatura no caiga dentro de estos límites.

**Nota 1.** El control rígido de la velocidad de calentamiento prescrita es esencial para la reproducibilidad de resultados. Se puede usar un quemador de gas o calentador eléctrico, pero el último debe ser de energía de salida variable de bajo retraso para mantener el ritmo de calentamiento prescrito.

- 6.6 Anótese para cada anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso rodeando la bola, toca el fondo del baño. No se debe hacer corrección por la parte emergente del termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de 1 °C, repítase el ensayo.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Para un espécimen de un producto bituminoso dado, el punto de ablandamiento determinado en un baño con agua, será inferior que el determinado con glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia es importante solamente para puntos de ablandamiento ligeramente por encima de los 80 °C.

- 7.1.2 El cambio de agua por glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80 °C, crea una discontinuidad. Los más bajos puntos de ablandamiento que es posible obtener con baños de glicerina, son del orden de 84,5 °C. En estos casos, la corrección será de -4.2 °C. Si se necesita resolver una discrepancia, se repetirá el ensayo.

- 7.1.3 Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina es de 80,0 °C, o más bajo, repítase el ensayo utilizando baño de agua.



- 7.1.4 Para convertir puntos de ablandamiento ligeramente por encima de 80°C determinados en agua, en aquellos determinados en glicerina, la corrección es de  $\pm 4,2$  °C. Para dilucidar discrepancias, repítase el ensayo en glicerina.
- 7.1.5 Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en agua es de 85 °C o más alto, repítase el ensayo en glicerina.
- 7.1.6 Los resultados obtenidos usando glicol etileno, variarán de los obtenidos usando agua y glicerina, en cantidades calculadas con las siguientes fórmulas:

Por asfalto:

$$PAg = 1,026583 \times PAge - 1,334968 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$PAa = 0,974118 \times PAe - 1,44459 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

PAg = Punto de ablandamiento en glicerina

PA.1 = Punto de ablandamiento en agua

PAge = Punto de ablandamiento en glicol etileno.

## 7.2 INFORME

- 7.2.1 Cuando se utilicen termómetros 15 C, repórtese el promedio ó promedio corregido de las temperaturas registradas, como el punto de ablandamiento, con aproximación de 0,2 °C.
- 7.2.2 Cuando se utilicen los termómetros 16 C, repórtese el promedio ó promedio corregido de las temperaturas registradas, como el punto de ablandamiento con aproximación de 0,5 °C.
- 7.2.3 Infórmese la clase de líquido que fue utilizado para el baño durante el ensayo.

## 8.0 PRECISION

- 8.1 Cuando se utiliza agua destilada o glicerina USP, los siguientes criterios se emplearán para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad):
- Precisión de un operador se ha encontrado que la desviación estándar para un operador de este ensayo, es de 0,41 °C. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente por el mismo operador, sobre la misma muestra de asfalto, no deberán diferenciarse en más de 1,2 °C.
  - Precisión entre distintos laboratorios: La desviación estándar para este caso es de 0,70 °C. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente por dos laboratorios sobre la misma muestra de asfalto, no se deberían diferenciar en más de 2,0 °C.
- 8.2 Para el caso de glicol etileno las discrepancias admisibles serán:
- Precisión del mismo operador, no mayor que 2,0 °C.
  - Precisión entre distintos laboratorios, no mayor que 3 °C.
- 8.3 El procedimiento en el método de prueba MTC E 307 no tiene dispersión debido a que el valor del ensayo de punto de ablandamiento del asfalto es definido en términos de este método de prueba.



## MTC E 320

### RECUPERACION ELASTICA POR TORSION DE ASFALTOS MODIFICADOS

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por él.
- 2.2 En casos particulares de clima, orográficas o de tránsito, se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que incorporados al ligante asfáltico modifican las características de éste, con el objeto de mejorarlo funcionalmente.

#### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT- 329/91: "Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados".

#### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Aparato de Torsión. Un aparato para imponer un esfuerzo de torsión a la muestra con las dimensiones y forma de la figura, constituido fundamentalmente por: un cilindro metálico, semicorona con escala graduada de 0 a 180 °, baño de agua y recipiente para la muestra (figuras 1 y 2).
- 4.2 Termómetro. Para controlar la temperatura del baño de agua, graduado en 0,1 °C y escala de 19 a 27 °C (Por ejemplo, el termómetro ASTM 17C, utilizado en la norma E- 304).
- 4.3 Cronómetro o temporizador para medir tiempos de 30 minutos  $\pm$  1 s.
- 4.4 Material de uso general en laboratorio Estufa, cápsulas, varillas de vidrio, espátulas, disolventes, etc.

#### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Se muestrea el cemento asfáltico modificados en depósitos del aparato de torsión.
- 5.2 La muestra debe ser representativa de la muestra total, que a su vez presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se adoptan todas las medidas y precauciones necesaria para la porción de muestra para ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio que a su vez presentara aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- 6.2 Una cantidad suficiente de la muestra de laboratorio se calienta con cuidado y con agitación continua hasta conseguir una consistencia de la misma que permita su vertido.
- 6.3 Se ajusta el cilindro del aparato de torsión de forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del recipiente para el ensayo situado en posición centrada, ajustado en el resalte que para tal fin se dispone en el fondo del baño.
- 6.4 Se transfiere, por vertido, la muestra al recipiente de ensayo en cantidad bastante para enrasarla con la marca grabada de que dispone el cilindro a 10 mm de su base inferior.
- 6.5 Se deja enfriar el conjunto recipiente-muestra a temperatura ambiente, durante 1 hora como mínimo. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a temperatura de  $25 \pm 0,1$  °C, durante al menos 90 minutos, para equilibrar la temperatura del agua del baño y

de la muestra. El nivel del agua en el baño estará suficientemente por encima del recipiente con la muestra.

- 6.6 Transcurridos los 90 minutos antes referidos, se introduce el pasador en el alojamiento que al efecto tiene el cilindro y con su ayuda se hace girar éste 180° en sentido de las agujas del reloj desde 180 a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Inmediatamente se retira de su alojamiento el pasador y después de 30 minutos  $\pm$  15 segundos, se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semicorona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

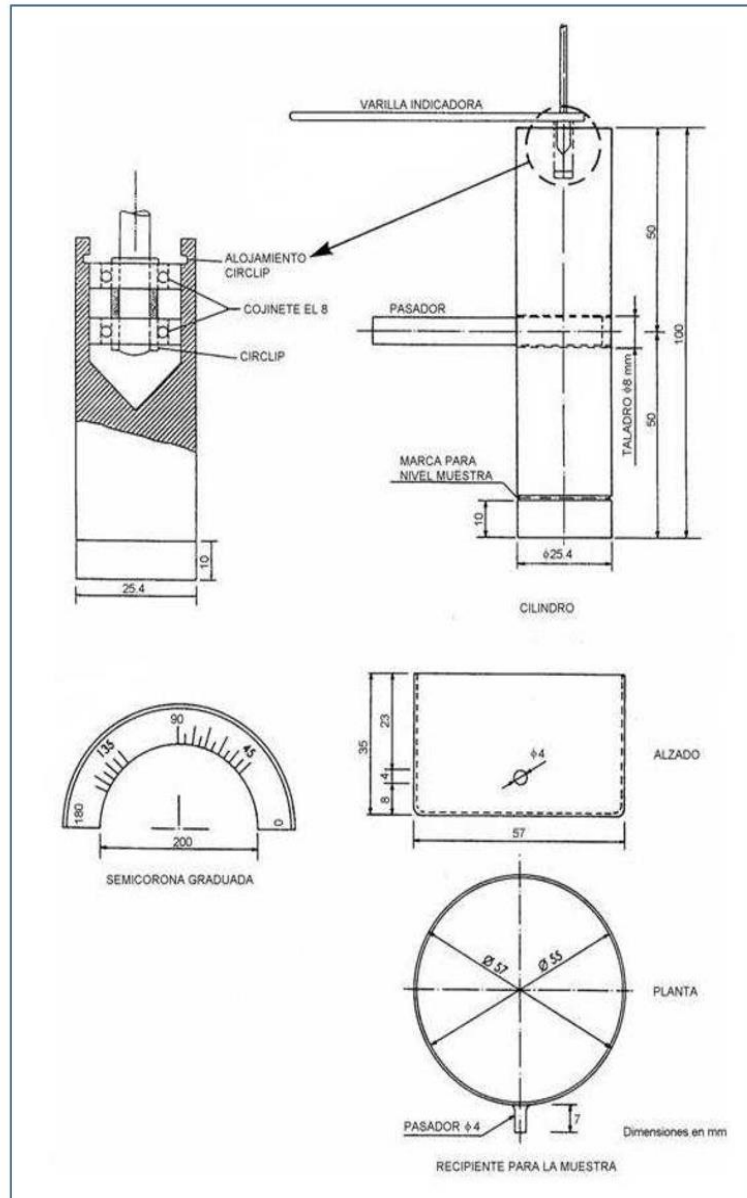


Figura 1. Cilindro, semicorona graduada y recipiente para la muestra



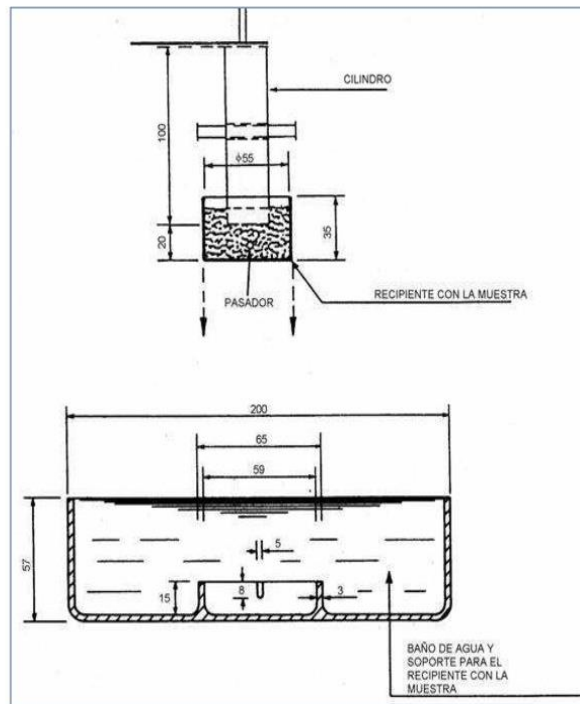


Figura 2. Esquema del dispositivo para el ensayo de recuperación elástica

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

7.1.1 Los cálculos se da mediante la fórmula :

$$\text{Recuperación elástica por torsión } Re_t = \frac{L}{180} 100$$

Donde L = ángulo recuperado.

### 7.2 INFORME

7.2.1 Se informa el resultado del ensayo se expresa, como recuperación elástica por torsión, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180°.



## MTC E 504

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

#### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

#### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo está destinado para su empleo con mezclas densas bituminosas de laboratorio y aquellas producidas en planta, con agregados hasta de 25 mm de tamaño máximo y para recompactación de muestras de pavimentos asfálticos.

- 2.2 Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

**Nota 1.** Las mezclas no compactadas son empleadas para la determinación del peso específico teórico máximo.

- 2.3 Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral ó simplemente vacíos ó ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua.

- 2.4 La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.

- 2.5 Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla. Las mezclas densas generalmente mostrarán un pico en la estabilidad a un determinado contenido de ligante. Este pico en el contenido de ligante puede ser promediado con otros contenidos de ligante tal como el contenido de ligante en el contenido de la máxima densidad de la curva ligante-densidad y el contenido de ligante en los vacíos de aire deseados y vacíos llenados.

- 2.6 La estabilidad y flujo Marshall efectuados en laboratorio de campo, obtenida de especímenes hechos de mezclas producidas en planta pueden variar significativamente de los valores de diseño obtenidos en el laboratorio debido a las diferencias del mezclado que hay entre una





planta y la efectuada en laboratorio. Esto también incluye la eficiencia en el mezclado y el envejecimiento producido.

- 2.7 Las diferencias significativas en la estabilidad y flujo Marshall de un grupo de ensayos a otro ó de un valor promedio de un grupo numerosos de datos ó especímenes preparados de una mezcla producida en planta puede indicar pobre mezclado, técnicas incorrectas de ensayo, cambio de gradación, cambio del contenido de ligante, ó mal funcionamiento del proceso de planta. La fuente de la variación deberá ser averiguada y el problema resuelto.
- 2.8 Los especímenes a menudo serán preparados empleando el método indicado aquí, pero pueden ser preparados empleando otros tipos de procedimientos de compactación. Otros tipos de compactación pueden hacer variar las características de resistencia en comparación con los preparados por el método Marshall.
- 2.9 Los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden ser determinados también empleando núcleos provenientes de un pavimento para información y evaluación. Sin embargo estos resultados no pueden ser comparados con resultados de especímenes preparados en laboratorio y no deberán ser empleados para propósitos de especificación ó aceptación.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus".
- 3.2 ATM D 6927: "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures".

### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

#### 4.1 EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

- 4.1.1 Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados en la Figura 1.
- 4.1.2 Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.
- 4.1.3 Martillos de Compactación:
  - 4.1.3.1 Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo I) ó manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente ó a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la Figura 2.

**Nota 2.** Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

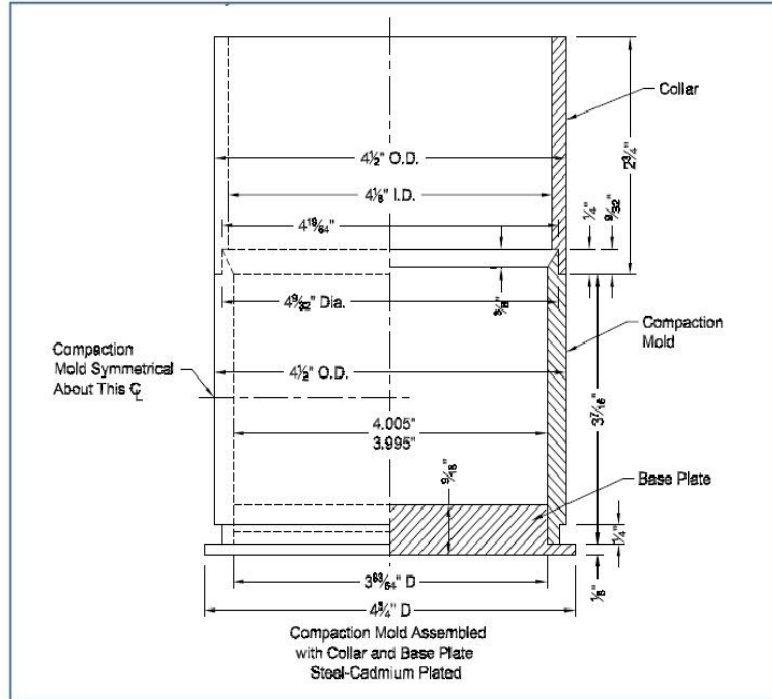
- 4.1.3.2 Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de apisonado y un peso deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con una caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y  $64 \pm 4$  golpes por minuto respectivamente.

**Nota 3.** El aparato para martillo Marshall tipo 3 está disponible en versiones con más de un martillo. La operación múltiple de varios martillos afectará la densidad de un espécimen. Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.



- 4.1.3.3 Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. Este podrá ser de roble, pino amarillo u otra madera que tenga un promedio de densidad de 670 a 770 kg/m<sup>3</sup>. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.
- 4.1.3.4 Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.
- 4.1.3.5 Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras, Los hornos serán de aire circulante ó termostáticamente controlados, las cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos a 30°C de las temperaturas requeridas para el mezclado y la compactación. Protecciones adecuadas ó baños de arena se emplearán sobre la superficie de las placas calentadoras para minimizar el sobrecalentamiento local.
- 4.1.4 Equipo Misceláneo
- 4.1.4.1 Aparatos de Mezclado, Se recomienda el mezclado mecánico. Cualquier tipo de mezclador mecánico puede ser empleado siempre y cuando la mezcla se mantenga a la temperatura de mezclado requerida y se produzca una mezcla homogénea y bien cubierta en la cantidad requerida y en un tiempo pertinente, así también que permita que toda la mezcla sea recuperada. Una bandeja de metal ó bolo de suficiente capacidad para el mezclado a mano puede ser empleado.
- 4.1.4.2 Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, ú otros adecuados.
- 4.1.4.3 Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, potes de vaciado ú otras bandejas podrán ser empleadas.
- 4.1.4.4 Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas ó espátulas para batido y mezclado a mano.
- 4.1.4.5 Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio ó de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 30C.
- 4.1.4.6 Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- 4.1.4.7 Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
- 4.1.4.8 Crayones de marcado, para identificar los especímenes.
- 4.1.4.9 Cucharón de base plana para bachar los agregados.
- 4.1.4.10 Cuchara larga para colocar la mezcla en el molde de especímenes.
- 4.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO
- 4.2.1 Cabezal de Ruptura (ver Figura 3)
- 4.2.2 Máquina de Carga a Compresión (ver Figura 4).
- 4.2.3 Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf).
- 4.2.4 Medidor de Flujo.

- 4.2.5 Baño de Agua (precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- 4.2.6 Horno, capaz de mantener la temperatura especificado  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- 4.2.7 Baño de Aire, para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- 4.2.8 Termómetros, con precisión de  $0,2^\circ\text{C}$ .



**Figura 1. Molde de Compactación**

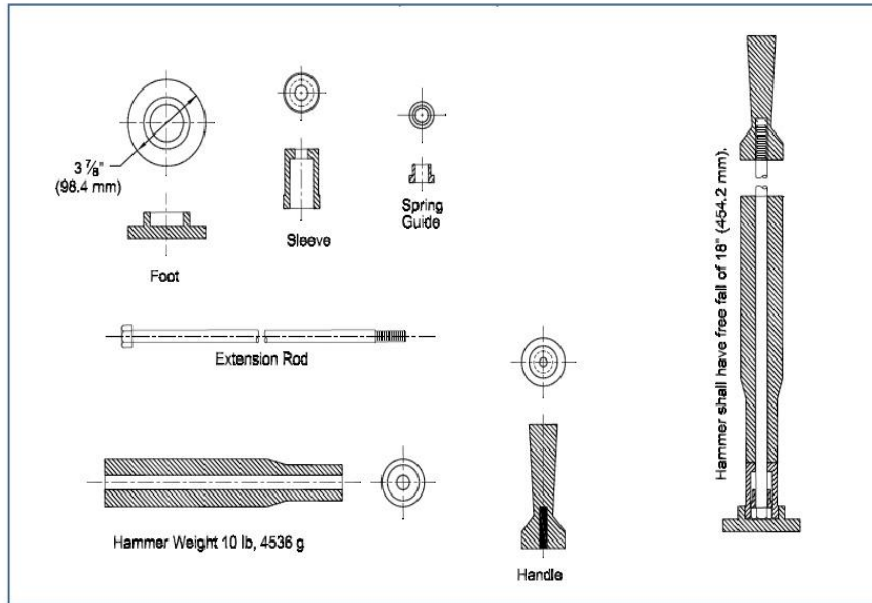


Figura 2. Martillo de Compactación

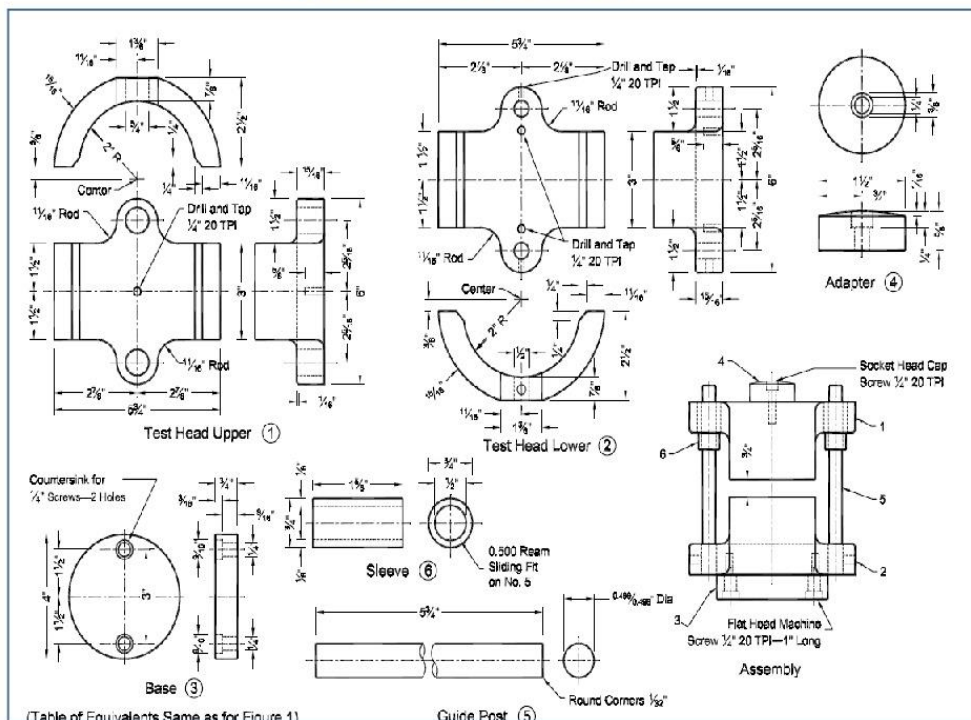


Figura 3. Cabezal de Rotura



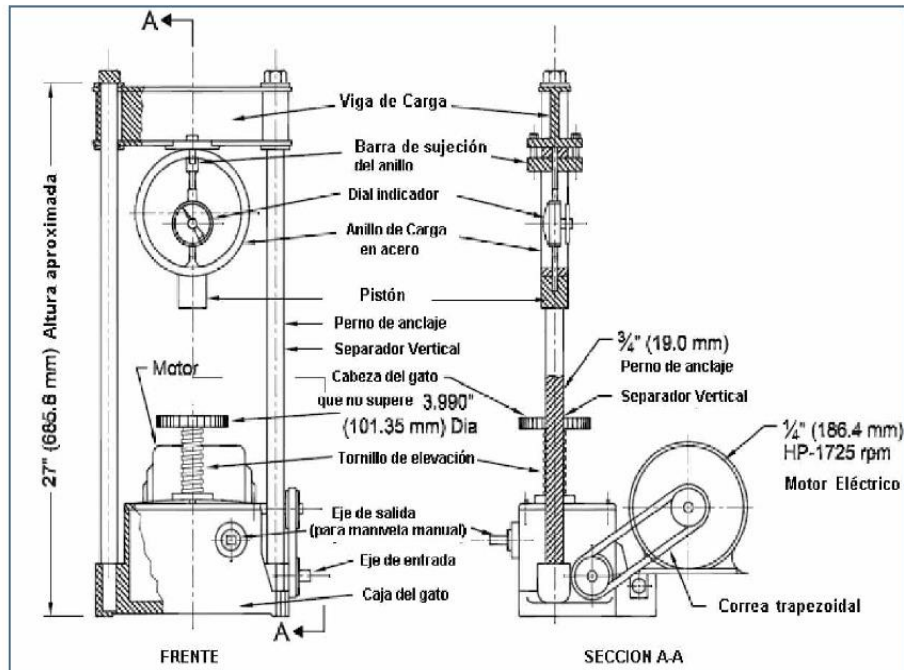


Figura 4. Máquina de Carga a Compresión

## 5.0 MUESTRA

5.1 No existe información al respecto para este método.

## 6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Especímenes de Ensayo

6.1.1 Preparación de Agregados, Secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105 °C a 110 °C. Después del secado, separa los agregados por tamizado en seco en las fracciones deseadas. Las fracciones mínimas siguientes son las recomendadas:

- 25 a 19 mm (1 a ¾ pulg)
- 19 a 12,5 mm (¾ a ½ pulg)
- 12,5 a 9,5 mm (½ a 3/8 pulg)
- 9,5 a 4,75 mm (3/8 a N°4)
- 4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)
- 2,36 mm (pasante la N°8)

6.1.2 Determinación de temperaturas de mezcla y compactación:

6.1.2.1 El cemento asfáltico empleado en preparar las muestras será calentado para producir viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s para mezclado y compactado respectivamente. Un ejemplo de una carta viscosidad temperatura se da en la Figura 2 de D 2493.

**Nota 4.** La selección de las temperaturas de compactación y mezclado a viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s, respectivamente no aplican a asfaltos modificados. El usuario contactará con el productor para establecer los rangos apropiados de temperaturas de compactación y mezclado.



- 6.1.2.2 Mezclas con Asfaltos Cut back, La temperatura a la cual un asfalto cut back será calentado para producir una viscosidad de 0,17 a 0,02 Pa.s será la temperatura de mezcla. La temperatura de compactación para mezcla de asfalto cut back se selecciona empleando una carta viscosidad versus porcentaje de solvente para asfaltos cut back. De la carta compuesta determine el porcentaje de solvente del asfalto cut back por peso a partir de su viscosidad a 60°C después que este haya perdido el 50% de su solvente (para asfaltos de curado medio y rápido) ó 20% de su solvente (para asfaltos de curado lento). La temperatura de compactación se determina de la carta viscosidad temperatura como aquella a la cual el asfalto cut back debe ser calentado para producir una viscosidad de 0,28 ± 0,03 Pa.s después de la pérdida de la cantidad especificada de solvente original.
- 6.1.2.3 Mezclas de Pavimentación Recompactadas, Los materiales obtenidos de un pavimento existente serán calentados en recipientes cubiertos en horno a 3°C de la temperatura de compactación deseada. El calentamiento durará lo suficiente como para obtener la temperatura deseada. Si la temperatura de compactación para una mezcla específica no se conoce, la experiencia ha mostrado que estas mezclas serán compactadas una temperatura entre 120 °C a 135 °C. Durante la preparación para el calentamiento a temperatura de compactación el material será calentado y trabajado hasta una condición de mezcla suelta. Cualquier agregado roto podrá ser removido. La estabilidad de mezclas recalentadas y recompactadas de pavimentos existentes es común que sea más alta que la original debido al endurecimiento del asfalto en servicio. El proceso de recalentamiento solo tendrá una menor influencia en el endurecimiento del asfalto.
- 6.1.3 Preparación de la Mezcla
- 6.1.3.1 Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes.
- 6.1.3.2 Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de 63,5 ± 2,5 mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente). Colocar los agregados de las bachadas en contenedores sobre una placa de calentamiento ó en horno y calentar a temperatura por encima de, pero sin exceder la temperatura de mezcla establecida en 6.1.2 por más de 28 °C para mezclas con cemento asfáltico y brea y 14 °C para mezclas con asfaltos cut back. Cargar el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclar en seco con cuchara (por 5 s, aprox.) con cuchara ó pala. Formar un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso a la temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Para mezclas preparadas con asfaltos cut back introducir la espátula en el bowl de mezclado y determinar el peso total de los componentes de la mezcla más el bowl y la espátula antes de proceder con el mezclado. Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada en 6.1.2. Mezclar los agregados y el material bituminoso rápidamente hasta que estén cubiertos totalmente por 60 s para bachadas simples y por 120 s para bachadas para especímenes múltiples.
- 6.1.3.3 Acondicionar las bachadas simples en contenedores de metal cubiertos en horno a 8 °C a 11 °C por encima de la temperatura de compactación establecida en 6.1.2 para un mínimo de 1 h y máximo de 2 h.
- 6.1.3.4 Para muestras de múltiples bachadas, colocar la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Mezcle a mano para asegurar uniformidad y cuartear a un tamaño de muestra para conformar el espécimen de altura requerida. Para cementos asfálticos y alquitrán poner las muestras en contenedores de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida en 6.1.3.2 para acondicionarlos por espacio mínimo de 1 h y máximo de 2 h. Curar la mezcla de asfalto cut back en el bowl de mezclado en un horno ventilado mantenido aproximadamente a 11 °C por encima de la temperatura de compactación. El curado debe ser continuado en el bowl de mezclado hasta una pérdida





precalculada de 50% en peso del solvente. La mezcla puede ser batida en el bowl de mezclador durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Sin embargo se debe tener cuidado para prevenir la pérdida de mezcla. Pesar la mezcla durante el curado a intervalos consecutivos de 15 min inicialmente y menos de 10 min conforme se aproxima al peso de la mezcla con el 50% de pérdida de solvente.

- 6.1.3.5 Otros materiales bituminosos ó producidos en planta pueden requerir técnicas especiales de curado.

**Nota 5.** Calentar las mezclas por un período de tiempo antes de la compactación puede resultar en especímenes que tengan propiedades diferentes de aquellos que son compactados inmediatamente después de su mezclado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado).

- 6.1.4 Compactación de los Especímenes:

- 6.1.4.1 Limpiar completamente el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación y calentarlos ambos en agua hirviendo en horno ó en una placa calentadora a temperatura entre 90 y 150 °C. Colocar un pedazo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar otra pieza de papel no absorbente para que encaje en la parte superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar entre los límites de las temperaturas de compactación establecida en 6.1.2.

- 6.1.4.2 Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de base y el collar y voltear y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. Permitir que el espécimen se enfríe lo suficiente para prevenir algún daño y extraer el espécimen de su molde. El enfriar los especímenes en el molde puede ser facilitado por su inmersión en agua fría. Para facilitar la extracción, el molde y el espécimen pueden ser brevemente sumergido en agua en un baño de agua caliente para calentar el molde de metal y reducir la distorsión del espécimen. Cuidadosamente transfiera el espécimen a una superficie suave y plana y permita que se enfríe a temperatura de sala (puede ser toda la noche). Se puede emplear también un ventilador para facilitar el enfriado.

- 6.1.4.3 Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

**Nota 6.** El vástago del martillo debe ser limpiado y aceitado ligeramente.

- 6.1.5 Ensayo de Estabilidad y Flujo.

- 6.1.5.1 Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

- 6.1.5.2 Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de  $\pm 0,020$  del promedio tal como se indica en D 6926.

- 6.1.5.3 Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.



- 6.1.5.4 Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. O colocarlos en horno de 120 a 130 min.
- 6.1.5.5 Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1$  °C para cemento asfáltico,  $49 \pm 1$  °C para alquitrán con caucho y  $38 \pm 1$  °C para alquitrán.
- 6.1.5.6 Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a  $25 \pm 1$  °C.
- 6.1.5.7 Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- 6.1.5.8 Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
- 6.1.5.9 El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de  $63,5 \pm 2,5$  mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B \times C$$

Donde:

- A = Estabilidad corregida.
- B = Medida de la estabilidad (carga).
- C = Razón de correlación de la tabla 1.

### 7.2 INFORME

- 7.2.1 Identificación de la muestra (número, si es mezcla de laboratorio ó de planta ó núcleo del pavimento).
- 7.2.2 Tipo de material bituminoso, fuente y grado.
- 7.2.3 Tipos de agregado, fuente y gradación.
- 7.2.4 Tipo y tiempo de curado antes de la compactación.

- 7.2.5 Tipo de martillo (sostenido manualmente, ó fijo, mecánicamente ó manualmente operado, pie de martillo plano ó sesgado).
- 7.2.6 Número de golpes por lado.
- 7.2.7 Temperatura de mezclado.
- 7.2.8 Temperatura de Compactación.
- 7.2.9 Tipo y tiempo de curado.
- 7.2.10 Peso específico bulk individual y promedio.
- 7.2.11 Altura de cada espécimen de prueba en milímetros aproximación de 0,25 mm.
- 7.2.12 Valores individuales y promedio de la estabilidad Marshall (corregidos y sin corregir, si se requiere) aproximación de 50 N.
- 7.2.13 Valores individuales y promedio del flujo Marshall en unidades de 0,25 mm.
- 7.2.14 Temperatura del Ensayo de estabilidad y flujo.

**TABLA 1. Factores de Estabilidad de Correlación <sup>A</sup>**

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76



<sup>A</sup> Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para  $2 \frac{1}{2}$ " (63,5 mm) del espécimen.

<sup>B</sup> La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4" (101,6 mm)

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISIÓN

8.1.1 No se aplica una regla de precisión para esta práctica. Los especímenes deberán ser aceptados ó rechazados por otros ensayos basados en requerimientos del criterio que está siendo aplicado. Para la determinación de la estabilidad y flujo Marshall de acuerdo a la Práctica D 6926, emplee solo aquellos especímenes replicados que tienen peso específico bulk dentro de  $\pm 0,02$  de su promedio.

**Nota 7.** Para dos especímenes preparados por laboratorios participantes en un programa de ensayo AMRL, un solo operador 1s y la deferencia aceptable de dos resultados, d2s, para el peso específico bulk fue de 0,007 y 0,020 respectivamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran disponibles como un reporte de investigación.





PERÚ

Ministerio de Vivienda  
Construcción y Saneamiento



**SENCICO**  
SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA  
LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

**NORMA CE.010**  
**PAVIMENTOS URBANOS**

**LIMA – PERÚ**  
**2010**

**PUBLICACIÓN OFICIAL**

NTE CE.010 PAVIMENTOS URBANOS

Material	Vías locales	Concreto asfáltico ***	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> ≥ 38 MPa (380 kg/cm <sup>2</sup> )
	Vías colectoras			
	Vías arteriales			
	Vías expresas			

Notas: \* N.A.: No aplicable; \*\* N.R.: No Recomendable; \*\*\* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

- En ningún caso la capa de rodadura será la base granular o el afirmado, a menos que sea tratada. Bajo la responsabilidad de la Entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras y del **PR**, se podrá considerar otras soluciones tales como: Bases tratadas con cemento, con asfalto o cualquier producto químico.
- En el caso de los pavimentos flexibles y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: micropavimentos, lechadas bituminosas (slurry seal), tratamientos asfálticos superficiales, etc.
- En el caso de los pavimentos rígidos y bajo responsabilidad de la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras, se podrá considerar otras soluciones tales como: concreto con refuerzo secundario, concreto con refuerzo principal, concreto con fibras, concreto compactado con rodillo, etc.
- Los estacionamientos adyacentes a las vías de circulación tendrán de preferencia, las mismas características estructurales de estas. Alternativamente se podrán usar otros tipos de pavimentos sustentados con un diseño

TABLA 31

Criterio en el Método Marshall de Diseño de Mezclas*	Vías locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	EAL < 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤ EAL < 10 <sup>6</sup>	EAL ≥ 10 <sup>6</sup>
	Tránsito Liviano	Tránsito Mediano	Tránsito Pesado
Números de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, kN	3,4	5,44	8,16
Flujo, 0,25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 - 14
Porcentaje de vacíos llenos de aire**, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos, en el agregado mineral***, VMA (min - max)	Ver Tabla 32		
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA (min - max)	70 - 80	65 - 78	65 - 75

Notas: ○

\* Se debe considerar todos los criterios en el diseño de mezclas de pavimentación.

\*\* Por encima de los 3000 m.s.n.m.m., se recomienda un valor de 2%.

\*\*\* El porcentaje de vacíos en el agregado mineral se calcula sobre la base de las gravedades específicas bulk ASTM de los agregados.



**TABLA 32**

MALLA	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje de vacíos de diseño *		
	3,0	4,0	5,0
1,18 mm (N° 16)	21,5	22,5	23,5
2,36 mm (N° 8)	19,0	20,0	21,0
4,75 mm (N° 4)	16,0	17,0	18,0
9,50 mm (3/8")	14,0	15,0	16,0
12,5 mm (1/2")	13,0	14,0	15,0
19,0 mm (3/4")	12,0	13,0	14,0
25,0 mm (1.0")	11,0	12,0	13,0
37,5 mm (1.5")	10,0	11,0	12,0
50,0 mm (2.0")	9,50	10,5	11,5
63,0 mm (2.5")	9,00	10,0	11,0

\* Interpolarse para valores de vacíos llenos de aire comprendidos entre los indicados.

**4.4 PAVIMENTOS ESPECIALES**

**4.4.1** Se consideran como pavimentos especiales a los siguientes:

- a) Aceras o Veredas.
- b) Pasajes Peatonales.
- c) Ciclovías.

**4.4.2** Estos pavimentos deberán cumplir los siguientes requisitos:

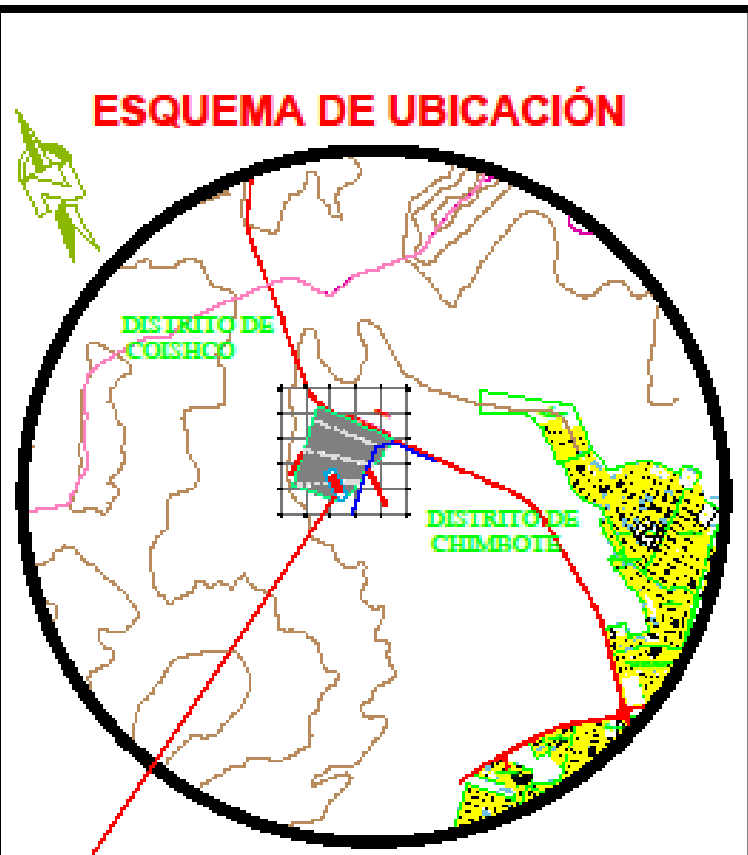
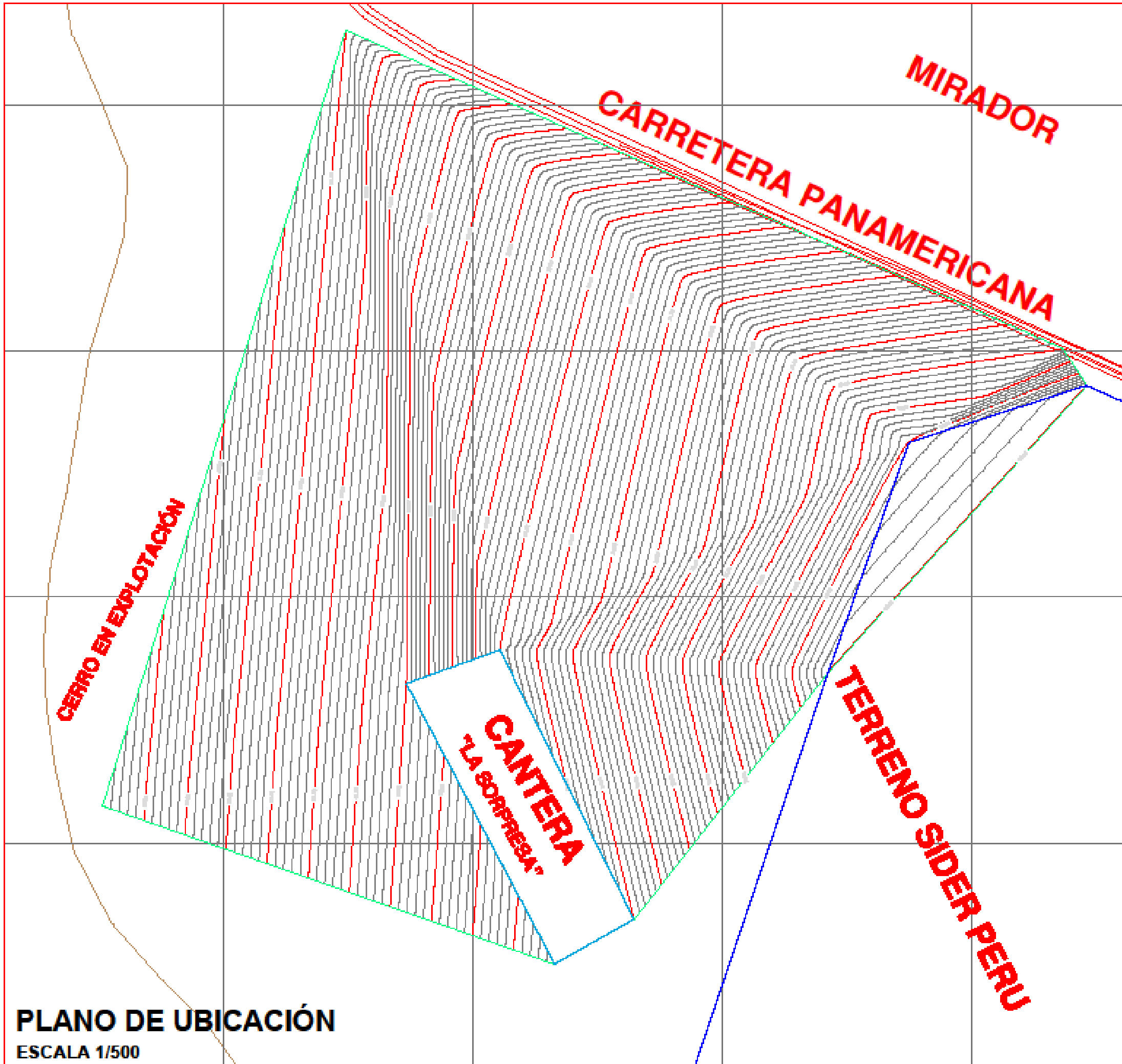
**TABLA 33**

Elemento		Tipo de Pavimento	Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar			
Sub-rasante		Espesor compactado: $\geq 150$ mm			
Base		CBR $\geq 30$ %		CBR $\geq 60$ %	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	$\geq 30$ mm			
	Concreto de cemento Portland	$\geq 100$ mm			
	Adoquines	$\geq 40$ mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)			
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*			
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm <sup>2</sup> )			
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm <sup>2</sup> )	N.R. **		

\* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.


\*\* N.R.: No Recomendable.

**ANEXO 09:**  
**PLANO DE UBICACIÓN DE**  
**CANTERA**



**PLANO DE LOCALIZACION**  
ESCALA 1/5000


**PLANO DE UBICACIÓN**  
ESCALA 1/500

		FACULTAD DE INGENIERIA E.A.P. INGENIERIA CIVIL	
<b>LICENCIADO:</b> CARRETERA PANAMERICANA NORTE-KM 436	<b>DISTRICTO:</b> Coishco	<b>DISTRITO:</b> Chimbote	<b>PROFESOR:</b> Juan Agustín
<b>TEMA:</b> INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE SUELO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE 2018	<b>LIBRO:</b>		
<b>PLANO:</b> UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	<b>LIBRO:</b>		
<b>FECHA:</b> Julio - 2018	<b>CICLO:</b> INDICADA	<b>ALUMNO:</b> Valverde Valderrama Juan Carlo	<b>U-01</b>

ANEXO 10:

Feedback Studio - Google Chrome  
 Es seguro | [https://evturnitin.com/app/carta/es/?student\\_user=18e+8u=1064057423&io=979304201&lang=es](https://evturnitin.com/app/carta/es/?student_user=18e+8u=1064057423&io=979304201&lang=es)

feedback studio | Jhan Carlo VALVERDE VALDERRAMA | Desarrollo de Tesis - X



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

\*Influencia del tamaño de huale reciclado en las propiedades mecánicas del pavimento asfáltico modificado; Nuevo Chumbote - 2018\*

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**  
**Jhan Carlo VALVERDE VALDERRAMA**

**ASESOR:**  
**Concepción Hugo DIAZ GARCIA**

**LÍNEA DE INVESTIGACION:**  
**Diseño de Infraestructura Vial**

Página: 68 de 80    Número de palabras: 18408    Text-only Report    High Resolution     Activado

5%

Resumen de coincidencias

Match	Percentage
1	3%
2	1%
3	1%
4	<1%
5	<1%
6	<1%


Ver Tareas en inglés (Perú)

11:42 a.m. 29/06/2018





# ANEXO 11:

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 08 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Dr. CERNA CHAVEZ RIGOBERTO docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Chimbote, revisor (a) de la tesis titulada "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE - 2018", del (de la) estudiante VALVERDE VALDERRAMA, JHAN CARLO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 5% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chimbote, 11 de Julio del 2018



.....  
Dr. CERNA CHAVEZ RIGOBERTO

DNI: 32942267

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

**ANEXO 12:**



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)  
"César Acuña Peralta"**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LAS TESIS**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres: (solo los datos del que autoriza)

VALVERDE VALVERDE JUAN CARLO

D.N.I. : 76807851

Domicilio : PUEBLO JOVEN SURAFLORES ALTO N2-112 17-20

Teléfono : Fijo : Móvil : 968729135

E-mail : jhancv-3-qy@hotmail.com

**2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS**

Modalidad:

Tesis de Pregrado

Facultad : Ingeniería

Escuela : Ingeniería Civil

Carrera : Ingeniería Civil

Título : Ingeniero Civil

Tesis de Post Grado

Maestría

Doctorado

Grado : .....

Mención : .....

**3. DATOS DE LA TESIS**

Autor (es) Apellidos y Nombres:

VALVERDE VALVERDE JUAN CARLO

Título de la tesis: "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE MAIZE

RECUBRIENDO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO,  
NUEVO CITIBOTE - 2018"

Año de publicación : 2018

**4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN  
ELECTRÓNICA:**

A través del presente documento,

Si autorizo a publicar en texto completo mi tesis.



No autorizo a publicar en texto completo mi tesis.



Firma :

Fecha : 13/07/18



## ANEXO 13:



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

### AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E. P. Ingeniería Civil

---

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

VALVERDE VALDERRAMA, JHAN CARLO

INFORME TÍTULADO:

“INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE HULE RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO, NUEVO CHIMBOTE - 2018”

---

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

---

INGENIERO CIVIL

SUSTENTADO EN FECHA: Miercoles, 11 de Julio de 2018

NOTA O MENCIÓN: Dieciseis ( 16 )



  
FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN