

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas
mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano
termoplástico**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Yanina Lizbeth Giron Villarreal

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2026

**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas
asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de
poliuretano termoplástico**

PRESENTADA POR

Yanina Lizbeth Giron Villarreal

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Ronald Esteban Villanueva Maguiña
PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por siempre iluminarme todo este camino.
A mis padres, Eduardo y Amalia, mis héroes, desde pequeña apoyaron cada paso y decisión que he tomado. Siempre han creído en mí, son la razón de mis logros y la fuente de inspiración de mis sueños. Esta tesis es un tributo a su infinito amor y dedicación.
A mi hermano Eduardo, mi compañero de vida, tu apoyo incondicional ha sido un pilar para todo este desafío.
A Gustavo, por tu apoyo y motivación en momentos difíciles y compartir este proceso conmigo.
A Jorge y Fiorella, por ser mis hermanos de corazón.

Agradecimientos

A Dios, a mis padres Amalia y Eduardo, a mi hermano Eduardo, gracias por su infinito amor y apoyo incondicional que me brindan.
A Gustavo por todas las amanecidas durante este proceso.
A Jorge y Fiorella por acompañarme en esta travesía.
A mis abuelas Humbelina y Noemi, por su infinito amor y paciencia durante la etapa base de mi vida.
A mis tías Dagne, Jacky y Victoria por las veces que han hecho el rol de segundas mamás y apoyarme en cada etapa.
A Henry y al Ing. Borja por sus orientaciones en esta investigación.

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	4%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
6	revistadigital.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	updocs.net Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
10	www.hindawi.com Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	11
Materiales y métodos	34
Resultados y discusión	53
Conclusiones	70
Recomendaciones	73
Referencias	74
Anexos	77

Resumen

Actualmente, el deterioro rápido de los pavimentos flexibles es un problema significativo en la ingeniería vial. Entre las principales razones que dan origen a esta problemática están la sobrecarga continua, el incremento de las cargas de tráfico y el mal manejo de mantenimiento de carreteras. A raíz de esto se están evaluando nuevos materiales y procesos para mejorar la resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas. Los elastómeros son polímeros que presentan excelentes propiedades elásticas y que fluyen muy bien a elevadas temperaturas. En esta investigación se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas modificadas mediante vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico en proporciones de 0, 1%, 2% y 4% en peso de agregados para tráfico ligero y medio. Los resultados indican que el peso unitario se incrementó y el porcentaje de vacíos se redujo a medida que se aumentaba el contenido de TPU. La estabilidad máxima fue de 1476 y 1900 kg con un contenido óptimo de TPU de 2.70% y 2.52%, en tráfico ligero y medio, respectivamente. El flujo Marshall se mantuvo dentro del rango establecido en la norma. El ensayo cántabro demostró que con TPU se redujo el desgaste hasta en 15.79% y 18.11%, para tráfico ligero y medio. Asimismo, con el ensayo Lottman se determinó que la razón de esfuerzo a tensión de las mezclas modificadas superó el 80%. Finalmente, el costo unitario de producción por metro cubico de mezcla modificada es similar al costo de la mezcla convencional.

Palabras clave: Mezcla asfáltica modificada, vía seca, elastómero de poliuretano termoplástico, propiedades físicas mecánicas.

Abstract

Currently, the rapid deterioration of flexible pavements is a significant problem in road engineering. Among the main reasons that give rise to this problem are continuous overload, increased traffic loads and poor road maintenance management. As a result, new materials and processes are being evaluated to improve the strength and durability of asphalt mixtures. Elastomers are polymers that have excellent elastic properties and flow very well at high temperatures. In this research, the physical-mechanical properties of asphalt mixtures modified by dry route with thermoplastic polyurethane elastomer in proportions of 0, 1%, 2% and 4% by weight of aggregates for light and medium traffic were evaluated. The results indicate that the unit weight increased and the percentage of voids decreased as the TPU content increased. The maximum stability was 1476 and 1900 kg with an optimal TPU content of 2.70% and 2.52%, in light and medium traffic, respectively. The Marshall flow remained within the range established in the standard. The Cantabrian trial showed that with TPU wear was reduced by up to 15.79% and 18.11%, for light and medium traffic. Likewise, with the Lottman test, it was determined that the stress-to-tension ratio of the modified mixtures exceeded 80%. Finally, the unit cost of production per cubic meter of modified mixture is similar to the cost of conventional mixing.

Keywords: Modified asphalt mix, dry way, thermoplastic polyurethane elastomer, mechanical physical properties.

Introducción

En los últimos años, los pavimentos flexibles presentan problemas de desgaste de forma rauda en su estructura a consecuencia del incremento de las cargas de tráfico y de deficiencias en el estado de conservación de estos [1]. Por ello, con la finalidad de reducir el deterioro de las superficies de las carreteras y aumentar su durabilidad, se vienen llevando estudios donde se busque la mejora de diversas propiedades de pavimentos flexibles convencionales.

La sobrecarga continua sobre las carreteras genera una disminución de la resistencia a la fatiga [2]. Los efectos sobre esta propiedad se ven reflejados notablemente en la carpeta de rodadura del pavimento, a través de grietas transversales y longitudinales. Asimismo, la rigidez de la mezcla asfáltica se ve afectada por la deformación por cargas, su repetición y otros factores climáticos como la variación de temperatura [3].

En un entorno cercano, se determinó en [4], a partir del análisis de 25 muestreos que el cercado urbano de la ciudad de Chiclayo presenta solo 7 tipos de fallas en pavimentos flexibles del total considerado en el método del PCI. La falla más incidente hallada son las grietas transversales y longitudinales con severidad media (25% del total), seguido del pulimento de agregados con 23% y los parcheos con 17%. Además, se definió que solo un 8% de los tramos analizados se encuentran en condición bueno, 56% se clasifican como regular y un 36% de las unidades presentan condición mala.

Otro efecto del tráfico son las cargas abrasivas que generan la disgregación de los agregados y con ello, la disminución de la estabilidad de la mezcla asfáltica, que a su vez conlleva a una deformación permanente [5]. En nuestro país, la razón de flujo de vehículos indica un crecimiento constante, como en el periodo desde marzo de 2022 hasta febrero de 2023 en el que la variación del Índice Nacional de Flujo Vehicular corresponde a un valor positivo de 4.8% [6]. Por tanto, se espera que las acciones de abrasión que genera el tránsito sigan aumentando con el tiempo.

Las capas del pavimento además de estar expuestas a las cargas reiteradas del flujo vehicular están propensas a factores ambientales y condiciones climáticas. Una consecuencia de estos es el daño por humedad y existen muchas formas en las cuales la estructura permite el paso del agua: las precipitaciones, que constituyen la fuente con mayor presencia sobre la superficie y; las aguas subterráneas que se introducen por capilaridad. Cuando la estructura presenta surcos, grietas, huecos o está compuesta por una mezcla asfáltica muy porosa, entonces está mucho más expuesta a la presión dinámica producto del daño por humedad [7].

En las mezclas bituminosas la presente continua deformación tiene relación con la humedad [5]. Las condiciones de estas respecto a la formación de surcos tienden a ser menos favorables en un ambiente húmedo que en uno seco. Esto es, debido a que la presencia del agua en la mezcla tiene un efecto negativo sobre la adherencia entre el ligante y los agregados. Ahora bien, de acuerdo con [8], a lo largo de los últimos periodos por motivo del calentamiento global se pronostican lluvias más intensas y extensas que serán perjudiciales para la vida útil de las carreteras; puesto que, aunque en el Perú los diseños de los pavimentos están normados y se corresponden con normas internacionales, estas parten desde el año 2000 aproximadamente, cuando el cambio climático no era considerado aún en el diseño.

En definitiva, existe el impulso de encontrar modernos métodos y materiales que permitan potenciar las propiedades de las mezclas bituminosas. Investigaciones recientes demuestran la efectividad de las mezclas asfálticas modificadas tanto por proceso húmedo como por proceso seco frente a las solicitaciones de servicio para los pavimentos actuales. En particular, la modificación por vía seca representa una buena alternativa considerando que, en climas cálidos y para tráfico lento, el comportamiento del cemento asfáltico es solo como aglutinante de carácter viscoso y los que resisten las cargas cíclicas de tráfico son los agregados [9].

Los polímeros son macromoléculas que, debido a sus propiedades, se convierten en materiales idóneos para llevar a cabo la modificación, como es el caso de los termoplásticos (una clase de polímeros), los cuales pueden ser manipulados bajo la acción del calor. Dentro de este tipo, se encuentra el elastómero de Poliuretano Termoplástico (TPU), que presenta buenas propiedades elásticas, abrasivas y es resistente al agua, por lo que puede ser considerado como modificador de mezclas bituminosas. Sin embargo, en el Perú aún está el campo muy abierto para estudiar el efecto de este tipo de polímeros sobre las propiedades de las mezclas anteriormente mencionadas.

Considerando la situación problemática descrita y la base teórica revisada acerca de las alternativas desarrolladas para la mejora de las propiedades de los pavimentos, planteo la siguiente pregunta: ¿Qué efectos sobre las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas produce la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico?

A través de esta investigación se plantea corroborar que la modificación de la mezcla asfáltica por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico permite la mejora de las propiedades físico-mecánicas de esta.

Por lo tanto, el objetivo general de la siguiente tesis consistió en evaluar las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas modificadas mediante vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico.

Los objetivos específicos considerados son:

- Determinar las propiedades físicas como peso específico aparente, peso unitario, peso específico teórico máximo y porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas convencionales y modificadas por proceso seco con TPU en peso de agregados.
- Medir la resistencia a la máxima carga de deformación de una mezcla asfáltica convencional y de mezclas modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico.
- Comparar el asentamiento gradual sin agrietamiento de una mezcla asfáltica convencional con mezclas asfálticas modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico mediante el proceso seco.
- Contrastar la resistencia a la segregación por acciones abrasivas de una mezcla asfáltica convencional con la de mezclas modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico en diferentes contenidos en peso de agregados.
- Analizar la susceptibilidad al daño por humedad de la mezcla asfáltica convencional y de mezclas asfálticas modificadas por proceso seco con elastómero de poliuretano termoplástico.
- Caracterización química del elastómero de poliuretano termoplástico.
- Establecer un comparativo económico de costo unitario de elaboración entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada por proceso seco con elastómero de poliuretano termoplástico.

En el **aspecto técnico**, en esta investigación se determinará si el diseño de mezclas asfálticas modificadas con adición de TPU es mejor que el diseño de las mezclas convencionales, respecto a las propiedades físico-mecánicas. De esta manera, a fin de optimizar las condiciones de diseño de las carpetas de rodadura de los pavimentos flexibles actuales para mejorar la transitabilidad vehicular y que su estructura alcance el ciclo de vida para el cual se diseña, se verificará la aplicación del elastómero como modificador de acuerdo con los resultados de estabilidad, flujo, resistencia a la tracción, al desgaste y al daño inducido por humedad.

En el **aspecto social**, la principal finalidad de este tipo de proyectos es hacer que los pavimentos duren más periodos porque genera que el requerimiento de mantenimientos periódicos y rutinarios para carreteras se pospongan. Por ende, con la modificación por vía seca de mezclas asfálticas con TPU se pretende ayudar en el aspecto económico, basándose en la implementación del proceso considerando la economía a escala. Además, garantizando mejores condiciones de las carpetas asfálticas y el mantenimiento en buen estado por más tiempo se

beneficiará también a los usuarios del sistema de transporte, quienes tendrán menos gastos en reparaciones y repuestos, así como una mejor optimización de tiempos de viaje.

En el **aspecto ambiental**, la relación entre la construcción y reparación de pavimentos de asfalto y, la contaminación generada es directamente proporcional. Según [10], esto involucra el consumo de energía de dos formas: La primera, abarca la producción de materiales desde la extracción de agregados, obtención del cemento asfáltico y su procesamiento previo hasta el transporte; mientras que la segunda, es la ejecución misma del tramo. Además, se estima que durante la elaboración de mezclas bituminosas se generan emisiones de O₂, N₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ y CH₄ [11]. Así pues, mientras menos se utilice la materia prima del asfalto menor será la contaminación generada, y esto se puede lograr reduciendo el número de mantenimientos a los pavimentos mediante el mejoramiento de las propiedades de las mezclas bituminosas.

Revisión de literatura

Se seleccionaron las siguientes investigaciones con respecto al tema:

En el artículo [12], se evaluó la propiedad de resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas bituminosas por vía seca a través de la incorporación de residuos plásticos de polietileno y poliestireno en porcentajes de 10, 30 y 50% en peso de la mezcla. Como fase inicial se realizó la combinación de agregados con un tamaño máximo de 14 mm y los residuos para verificar que cumplan con los requisitos mínimos para el diseño de la mezcla.

Los resultados indican que la estabilidad Marshall tiende a aumentar a medida que se incrementa el porcentaje de residuos plásticos. Así pues, se obtuvo que con 10% de adición se alcanzó una estabilidad de 21 kN, con el segundo porcentaje considerado el valor fue de 23.8 kN y, para 50% de residuos plásticos la resistencia a la deformación fue de 26.3 kN. En contraste con la mezcla patrón, se evidencia un incremento del 40, 58.7 y 75.3% respectivamente, debido a que la estabilidad fue de 15 kN, aproximadamente. Por otro lado, el flujo de la mezcla control fue inferior a 5 mm; mientras que, para los grupos experimentales se obtuvieron valores de 6.6, 8.2, 9.8 y 4.2 mm para contenidos de residuos plásticos de 10, 30 y 50%, correspondientemente.

De acuerdo con [13], la modificación de mezclas asfálticas con materiales termoplásticos representa una buena aplicación para la mejora de sus propiedades mecánicas. Durante la investigación se desarrollaron diseños con asfalto PEN 60/70 mediante el método Marshall, para los cuales se consideraron adiciones por vía seca de dos tipos de plástico reciclado. El primero se denomina mixto y es la composición de 68% polietileno, 20.33% polipropileno, 3.95% poliestireno y 7.72% tereftalato de polietileno; mientras que, el segundo tipo es plástico multicapa, una combinación de polietileno de baja densidad con tereftalato de polietileno.

Los contenidos de adición varían fueron de 2, 4, 6 y 8% de plástico en peso del aglutinante (6% de la mezcla) definido preliminarmente y luego se corrigió. Para un contenido óptimo de asfalto de 5.4% con un porcentaje de adición (PBR) del segundo tipo de residuos plásticos de 6.2% en peso de asfalto, se obtuvo una estabilidad de 1570 kg y un flujo de 3.30 mm. Entre tanto, con la mezcla asfáltica con residuos plásticos mixtos en un 2.35% en proporción al ligante, para un contenido óptimo de 5.7% se alcanzó una estabilidad de 1445 kg (incremento de 16.26% respecto al convencional) y 4.1 mm de flujo (una reducción del 8.78% de la mezcla patrón).

Además de eso, la mezcla patrón presenta un módulo resiliente 3.192 MPa, una resistencia a la tracción indirecta de 969 KPa, la fatiga por tracción indirecta hasta un total de 137 ciclos hasta la falla y 4.34% de desgaste Cántabro. Mientras que, la mezcla modificada con 2.35% de plástico mixto se evidenció un incremento del 49.37% del módulo resiliente, un 0.62% de resistencia a tracción indirecta, 175 ciclos hasta la falla por fatiga y 3.88% de desgaste, respecto a la mezcla convencional.

Por consiguiente, en [14] se realizó una evaluación de la influencia de la adición del caucho granulado (CR) a través de vía seca en la mezcla bituminosa. Por otro lado, en la mezcla convencional se usó cemento asfáltico modificado con polímeros; mientras que, para las dos mezclas modificadas con caucho (A y B) se empleó un ligante convencional con grado de penetración 50/70. Los agregados se mezclaron con el caucho a una temperatura de 185°C en un lapso de 1.5 min; para luego combinarse con el aglutinante durante 2 minutos, este último con una temperatura de precalentado de 160°C.

La adición de caucho se llevó a cabo en dos dosificaciones: 10 y 15% en peso del ligante, con un contenido óptimo de asfalto de 6.2% en todas las mezclas. Estas se mantuvieron acondicionadas a 165°C durante tres tiempos definidos: 60, 90 y 120 min. Luego de cada uno de estos se desarrollaron los ensayos.

Los resultados para la estabilidad Marshall para un tiempo de almacenamiento de 2 horas, fueron de 11 kN y 10 kN, para las adiciones CR-A y CR-B, respectivamente. En contraste con la mezcla convencional que tuvo una estabilidad de 10 kN, no hubo cambios relevantes. Por otro lado, el flujo con adiciones de caucho evidenció una reducción: 2.15 mm para CR-A, 2.05 mm para CR-B y 2.6 mm para la mezcla convencional, aproximadamente.

Se desarrollo una investigación [15], se realizaron diseños de mezclas bituminosas en caliente modificadas con caucho a través de vía seca en proporciones de 1, 2 y 4% en peso de la mezcla. El ligante que se empleó fue el que tiene grado de penetración 60/70.

Los agregados se mezclaron con el caucho granulado y calentaron a 160°C. Por su parte, el ligante se calentó a una temperatura de 160°C±1°C. Ambos componentes se combinaron hasta que el asfalto cubrió completamente a los agregados. Además, las briquetas fueron diseñadas para tráfico pesado y se compactaron a 75 golpes en cada cara.

Los valores de densidad para la mezcla modificada con 1% CR fue de 2.334, 2.360 y 2.331 gr/cm³, para tamaño de partículas de caucho de 0.71, 2 y 2.36 mm, respectivamente. Además, la estabilidad alcanzada fue de 17.52, 16.48 y 18.12 kN; mientras que, el flujo 3.37, 3.24 y 4.07 mm; con el mismo contenido de caucho y tamaño de grano, en el mismo orden.

Para el caso de 2% de CR, la densidad estimada fue 2.287, 2.266 y 2.280 gr/cm³; la estabilidad de 16.88, 14.78 y 16.07 kN; y un flujo de 3.15, 3.55 y 3.89 mm para tamaños de partícula de caucho de 0.71, 2 y 2.36 mm, correspondientemente.

Con un contenido de 4% de CR en la mezcla, se obtuvieron valores de densidad de 2.161, 2.140 y 2.158 gr/cm³; una estabilidad de 12.69, 11.81 y 13.20 kN; y un flujo de 3.05, 4.67 y 4.66 mm, respectivamente para caucho granulado con partículas de 0.71, 2 y 2.36 mm.

Finalmente, en [16] referente a la modificación de mezclas bituminosas con polietileno residual de baja densidad (LDPE). Se trabajaron dos tipos de agregados: una mezcla con agregados convencionales (CSA) y provenientes de concreto reciclado (RCA)

El contenido óptimo de polietileno residual para las dos mezclas fue de 7% en peso del ligante VG30. Para la mezcla con CSA combinados con pavimento recuperado y polietileno residual presentaron una estabilidad de 16 y 15.4 kN; y un flujo de 2.95 y 3 mm, con 30 y 40% de adiciones, respectivamente. Por su parte, las mezclas con RCA combinado con pavimento recuperado y polietileno residual resistieron deformaciones máximas de 17.3 y 18.1 kN; y un flujo de 2.86 y 2.8 mm, con 30 y 40% de modificadores de agregados, correspondientemente.

En [17] trata de un análisis sistemático literario acerca de la utilización del caucho granulado (CR) en la modificación de mezclas bituminosas. En base a eso, se recomienda usar este polímero elastomérico en un 20% de la mezcla cuando se modifica por vía húmeda; mientras que, cuando se sustituye al componente fino pétreo antes de mezclar con el asfalto, deberá ser en un porcentaje entre 1 a 3% en peso de agregados; es decir, por vía seca. Finalmente, se explicó que este último proceso no requiere de equipos especiales y que es posible mejorar propiedades tanto físicas como mecánicas, de deformación y de adherencia.

En [18] se evaluaron las propiedades de una mezcla asfáltica con ligante modificado con caucho granulado y con microfibras de vidrio. Esta mezcla fue de tipo SMA, que se caracteriza por contener una mayor proporción de agregado grueso, menor proporción de agregado fino y un mayor contenido de asfalto.

En esta investigación se realizó el ensayo de Lottman modificado para evaluar el daño inducido por humedad de las mezclas. Se llegó a la conclusión que todas las muestras cumplen con el requerimiento mínimo de 80% en el valor de relación de resistencia a la tracción indirecta (TSR). Así pues, la mezcla SMA con asfalto modificado con polímeros y fibras de celulosa (SMA C) obtuvo un TSR de 92.60%; la mezcla SMA con ligante modificado con caucho granulado (SMA CR) un TSR de 119.00% y el SMA modificado con polímeros y microfibra (SMA G) un TSR de 93.60%.

Con la adición de TPU se mejoraron propiedades como la resistencia a la deformación al verse reducida la penetración; mediante la propiedad de reblandecimiento se determinó que el asfalto modificado presenta mejor resistencia al envejecimiento que el asfalto patrón; así como también, al aumentar el contenido del elastómero aumentó la ductilidad.

Bases teóricas

Pavimento flexible:

Estructura que se encuentra constituida por capas de diferentes espesores, las cuales están diseñadas para soportar determinadas cargas de tráfico. Además, este tipo de pavimentos presenta una capa de rodadura bituminosa, que se encuentran sobre la base y subbase [9, 19].

Estructura:

- **Carpeta asfáltica:**

Aquella capa del pavimento asfáltico compuesta por material bituminoso, que cumple la función de resistir el desgaste que es ocasionado por factores ambientales y el tránsito vehicular [9, 19].

- **Base:**

Se encuentra sobre la subbase, está formado por agregados como la piedra chancada que debes estar bien compactada, su labor es transferir esfuerzos del tráfico [9]. Además, deberá presentar un CBR $\geq 80\%$ o en caso las condiciones sean desfavorables se estabilizará con cal, cemento o asfalto [19].

- **Subbase:**

Está sobre la subrasante, es una capa que a veces suele omitirse, la elección de los materiales para esta no es tan estricta debido a que las cargas que debe soportar son menores a comparación de las otras capas, pues a mayor profundidad es menos el esfuerzo a soportar [9]. Esta capa debe presentar un CBR $\geq 40\%$ de otra forma se deberá estabilizar con cemento, asfalto o cal [19].

Asfalto:

Es un componente negrozco, como se describe en [20]. Adicionalmente, presenta propiedades que le permite tener variabilidad de solido a semisólido, a ciertas temperaturas tiende a ser blando y se convierte en un material manejable para ser agregado a las mezclas asfálticas en caliente. Suelen ser clasificados en: Cemento asfáltico, asfalto diluido y asfalto emulsionado.

Mezclas asfálticas en caliente:

Según [21], es también conocida como hormigón asfáltico, está compuesto por materiales pétreos que son graduados, cemento asfáltico y filler, los cuales se mezclan a temperaturas entre 105°C a 165°C.

Componentes

- **Cemento Asfáltico:**

Es un tipo de asfalto que se usa para pavimentos flexibles. Presenta propiedades impermeabilizantes; así como también una composición viscosa, la cual hace que sea fácil la adhesión a los materiales tales como los pétreos [20]. Asimismo, de acuerdo con [9], el cemento asfáltico resiste a ácidos y sales, lo que permite la correcta construcción de un pavimento flexible.

Por último, se menciona en [19], La temperatura influye un factor importante al escoger el cemento asfáltico, pues dependerá de las zonas en donde se construirá la pavimentación. Por lo que, la elección de material asfáltico deberá estar acorde al grado de penetración que presentan y estos a su vez son seleccionados de acuerdo con el grado de temperaturas.

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

Tabla 01: Relación del cemento asfáltico con la temperatura [22]

- **Agregados Pétreos:**

En [23,24], se nombra a aquellas partículas de material mineral cuya composición se basa en arenas y gravas, ya sean por medio naturales o de forma triturada. Por ende, para una correcta estructura de la mezcla asfáltica, los agregados de origen pétreos deberán tener una granulometría idónea y la exigencia de calidad tanto en resistencia como en durabilidad. Asimismo [25], menciona que estos agregados no deben extralimitación de materiales planos,

poco angulares o flexibles, que impida la correcta integración de la mezcla bituminosa.

Además [24], denomina agregado grueso a aquel material que no logra pasar de la malla 10, es decir que sus diámetros de este material superen a 2.00 mm, y se considera material fino a aquellos que no son retenidos por la malla N.º 4. (4.75 mm), pero será retenido en la malla N.º 200 (0.075 mm).

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD(msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción*	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

TABLA 02: Condiciones para los agregados gruesos [22]

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (m.s.n.m.)	
		≤3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

TABLA 03: Condiciones para los agregados finos [22]

- **Filler:**

Como lo menciona [22], es un material de polvo mineral cuyo uso es para llenar vacíos de mezclas asfálticas y para mejorar la adherencia entre el asfalto y los agregados pétreos, por lo general se usan como tipo de filler (cal hidratada, cemento portland, polvo de roca o de escoria y cenizas).

Fuentes de los agregados

Como indica [20], la clasificación según el origen de los agregados para fines de pavimentación son los naturales, procesados y sintéticos (también llamados artificiales).

Naturales:

Presentan transformaciones leves tales como la erosión y el desgaste. Se encuentran presentes en la naturaleza tales como arena y la grava, tienen uso constructivo.

Procesados:

También son de origen natural, sin embargo, estos pasaron por procesos de trituración o tamización para su uso. En muchos casos tamizan a los agregados luego de ser triturados o reducidos para una mejor gradación en el uso de pavimentos, de esta forma se utilizarán solo los apropiados para mezclas bituminosas. Pues al cambiar la textura de esta mejora la adherencia con el cemento asfáltico.

Sintéticos o artificiales:

No se encuentran de forma natural, se generan a partir de procesos químicos y físicos. En algunos casos son el resultado de transformación industrial. Estos agregados representan una alternativa novedosa en las pavimentaciones.

Gradación de agregados para mezclas asfálticas calientes:

De acuerdo con [25], la mezcla de agregados pétreos debe cumplir con las gradaciones idóneas para bases asfaltadas donde el MAC -1 es idóneo para rodaduras y espesores mayores a 5 cm, el MAC -3 para espesores menores a 3 cm y el MAC -2 para espesores mayores a 3 cm.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

TABLA 04: Gradación de mezcla de agregados [22]

Mezclas de agregados:

La estructura para las mezclas bituminosas debe de cumplir con los requisitos de exigencia de calidad de las mezclas de concretos asfálticos [22].

PARÁMETRO DE DISEÑO	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8- 16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como: $1/(GEB50 - GEB5)$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes

TABLA 05: Condiciones para mezclas de concreto asfáltico [22]

TAMIZ	VACIOS MINIMOS EN AGREGADO MINERAL
	% Marshall
2,36 mm (N.º 8)	21
4,75 mm (N.º 4)	18
9,50 mm (3/8")	16
12,5 mm (1/2")	15
19,0 mm (3/4")	14
25,0 mm (1")	13
37,5 mm (1 1/2")	12
50,0 mm (2")	11.5

TABLA 06: Porcentajes de VMA [22]

Modificación de mezclas asfálticas en caliente:

Como menciona [23], actualmente hay dos maneras para poder modificar una mezcla asfáltica, la primera es media la vía húmeda en la cual consiste en agregar el aditivo directo al asfalto, donde se mezclan en un molino coloidal y, la segunda manera es mediante la vía seca que permite la incorporación del aditivo al agregado pétreo.

Polímeros

Macromoléculas que están formados por grupos de monómeros. Se emplea para modificar mezclas bituminosas proporcionando mejora en su flexibilidad, dilatando su deterioro temprano, sino por el contrario alarga la vida útil de estas mismas [24].

Existen dos divisiones de polímeros: Naturales y artificiales, el primero es el resultado del funcionamiento sistemático de los organismos y el segundo se obtiene a través de grupos moleculares llamados monómeros [26].

Clasificación de Polímeros

Según [25,26], los polímeros se pueden clasificar mediante sus propiedades y forma estructural, todo esto conlleva a clasificarlos para usos viales en termoplásticos y termoendurecibles

Termo-Endurecibles:

No se pueden reestablecerse para volver a transformarse y es el producto de la interacción química entre la base y el endurecedor [26].

Termoplásticos:

Polímeros lineales que suelen ablandarse por factor del calor del medio, pero al enfriarse también se pueden moldear sin necesidad que pierdan alguna propiedad [26].

- **Plastómeros:**

Presentan deformaciones pseudo plásticas con escasas de elasticidad y al ser dilatados excede su tensión de fluencia con la cual no puede volver a su largura inicial [25].

- **Elastómeros:**

Son de naturaleza amorfa e insaturado, presentan excelentes propiedades elásticas gracias a su proceso de vulcanización que les hace adquirir una estructura reticulada [25].

POLIMEROS		
TERMO- ENDURECIBLES	TERMO-PLÁSTICOS	
	PLASTOMEROS	ELASTOMEROS
Resina Epoxl Poliuretanos Poliesteres	Polietileno(PE) Polipropileno(PP) E.V.A(etileno-acetato de vinilo) P.V.C(policloruro de vinilo)	S.B.R(estireno-butadieno) Cauchos naturales:Isopreno Cauchos Artificiales:Neopreno S.B.S(Estireno-butadieno-estireno) TPU (Poliuretano Termoplástico)

TABLA 07: Clasificación de los polímeros [25]

Elastómero de Poliuretano Termoplástico (TPU)

De acuerdo con [27], son Copolímeros lineales del tipo AB, cuya composición polimérica está constituido por un primer bloque de segmento blando, largo y flexible, lo cual proviene de la derivación del poliéster o poli alqueno. Su segundo bloque está compuesto de forma rígida, que es debido a la formación de la reacción de isocianatos que presenta bajo peso molecular diluyente de la cadena de diamina. Esto provoca que los bloques duros restrinjan la movilidad de los segmentos que son blandos, lo cual genera que cuando los elastómeros se estiren presenten mejor resistencia a la deformación. Además, los elastómeros de poliuretanos termoplásticos tienen propiedades de que los hacen resistente a zonas cercas al mar y contribuyen a la estabilidad si en caso serian atacados por hidrocarburos y oxígeno. En su mayoría son utilizados en recubrimientos y adhesivos, calzado y piezas de automóviles.

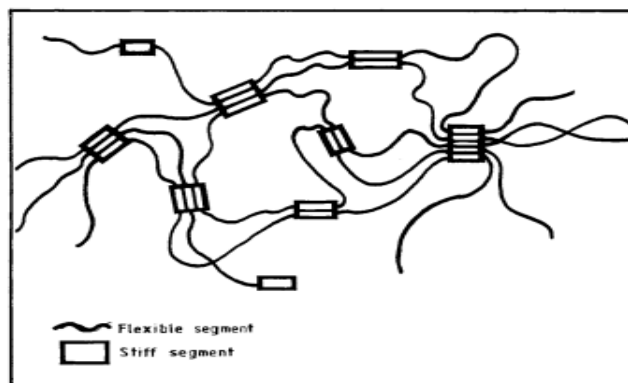


Figura 01: Composición del TPU [27]

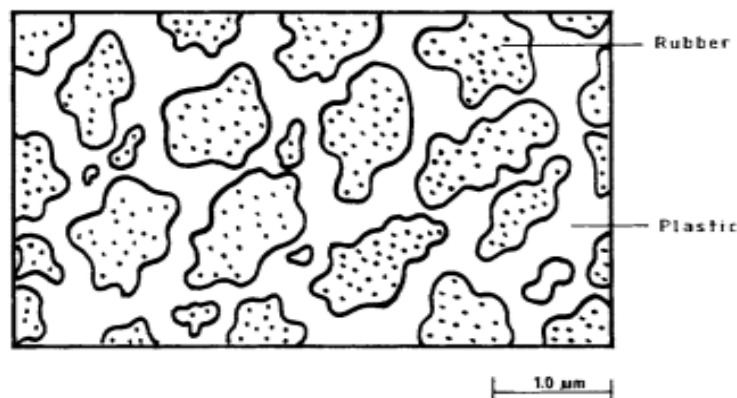


Figura 02: Fases del elastómero termoplástico [27]

Ensayos de laboratorio

Teniendo en consideración a lo establecido en [28,29,30], se describen a continuación los ensayos:

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Tiene como finalidad determinar la disgregación de los agregados a través de soluciones saturadas de sulfato de magnesio durante un tiempo aproximado de 16h a 18 h aproximadamente. Cada espécimen debe estar cubierta 1.5 cm, tendrá una temperatura de $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, siendo estas tapadas previamente. En el secado del espécimen, esta será escurrida aproximadamente 15 minutos y pasará a estar en un horno que presenta temperatura que oxilan de 105. °C a 110 PC. La muestra secada debe tener un peso invariable.

Materiales y Equipos de laboratorio:

- Muestra de agregado
- Sulfato de magnesio
- Recipientes
- Balanza
- Tamiz
- Horno

Procedimientos:

- Se selecciona la mezcla a evaluar
- Se tamiza la mezcla para de esta forma asegurar que cumplan con las especificaciones del tamaño que se requiere
- Se pesa la muestra seca y se registra su peso de esta misma
- Se disuelve el sulfato de magnesio en agua destilada en una solución del 5% en peso.
- La muestra seleccionada se añade en una bandeja, se procede a cubrir completamente con la solución de sulfato de magnesio preparada previamente
- Se deja las muestras sumergidas durante 24 horas a temperatura ambiente
- Después de la sumersión, hoy se procede a retirar la muestra y se deja secar al aire durante un periodo de 24 horas o hasta que esté completamente seca
- Se pesa la muestra después de secado y se registra su peso.

Abrasión Los Ángeles

Se utiliza para la determinación del desgaste de los agregados gruesos, estos deben presentar una medida menor a 37.5 mm de diámetro (malla 1 ½”). Se hará girar el tambor junto con un numero indicado de elemento de acero de geometría esférica junto con la gradación indicada del espécimen. Después de ser girado a 1000 revoluciones, el espécimen

triturado es separado del tambor, será tamizado para poder mediar la degradación en la pérdida de su porcentaje.

Equipos de laboratorio:

- Balanza.
- Tamices.
- Máquina de los Ángeles
- Cilindros de molienda

Procedimiento

- Se selecciona una determinada muestra de agregados, los cuales se van a evaluar
- Se clasifican los agregados mediante tamices para asegurar el tamaño adecuado
- Se pesa una cantidad específica de los agregados y se registra su peso inicial
- Se enciende la máquina, esto permite que los cilindros giren a una velocidad constante generalmente de 30 a 33 revoluciones por minuto durante un tiempo determinado que normalmente son 500 revoluciones.
- Una vez concluido este proceso, la muestra seleccionada ya ensayada, se camisa en la malla N° 10
- El material muestra se debe encontrar totalmente liberado del polvo, de esto depende si es lavado o no.
- Finalmente, se seca la muestra a una temperatura que oscila entre los 105 a 110 grados centígrados y se registra su peso.

Índice de Durabilidad

Al hallar el análisis de índice de durabilidad de los agregados, asignando un valor que muestra la resistencia de estos mismos al mostrar una determinada resistencia al producir finuras de arcilla que perjudicarían mediante el proceso de una degradación mecánica. Determinando de esta forma una evaluación rápida de calidad de procedencia del espécimen.

Equipos de laboratorio:

- Balanza.
- Tamices.
- Recipientes
- Horno

Procedimientos:

- Se selecciona una cierta cantidad de agregados los cuales se van a evaluar
- Se pesa una determinada porción de agregado secos y se registra su peso

- En un recipiente se sumerge la muestra completamente en el agua a una temperatura ambiente
- Se deja la muestra sumergida durante un periodo de 24 horas
- Se procede a retirar la muestra del agua y se deja secar a temperatura ambiente durante un período de 24 horas
- Después coma se coloca la muestra lo al horno lo cual estará a una temperatura de ciento grados centígrados durante 24 horas para de esta forma asegurar que la muestra esté completamente seca.
- Finalmente, se pesa la muestra y se registra su peso.

Partículas chatas y alargadas

Su objetivo es la comprobación del cumplimiento de las caracterizaciones que limitan las muestras de agregados gruesos. Determina el porcentaje presente de particular planas, chatas y alargadas que forman parte del agregado pétreo grueso.

Equipos de laboratorio:

- Calibradores o regla
- Tamices.
- Balanza
- Espátula y recipientes

Procedimiento:

- Se selecciona una muestra de agregados para posteriormente evaluarlos
- Se utilizan tamices para clasificar los agregados
- De una cierta cantidad representativa de partículas hoy se procede a medir utilizando la regla o calibrador
- Se registra las dimensiones como longitud ancho y altura
- Se clasifican las partículas utilizando la relación de aspecto entre longitud y ancho
- Se considera como partículas chatas aquellas longitudes mayores a 5 veces su ancho y partículas alargados cuando la longitud es menor o 5 veces el ancho
- Finalmente, se procede a pesar la muestra seleccionada lo cual fue retenida en las barras especificadas.

Caras fracturadas

Su finalidad es elevar el mayor esfuerzo cortante a través del aumento de fricción que existe entre las partículas de mezclas de determinados agregados sueltos o compactados, aportando mayor estabilidad a las superficies al aumentar las texturas de los agregados, los

cuales serán usados en pavimentos de superficie de origen granular. Se considerará una cara fracturada siempre y cuando el área proyectada sea igual o más larga que el área de su sección transversal máxima. Para este ensayo, es importante la separación del material fino mediante el tamizado, lo cual se separará el espécimen utilizando el tamiz de la malla 4, que consta 4.75 mm de diámetro.

Equipos de laboratorio:

- Balanza
- Tamices
- Regla
- Espátula y recipientes

Procedimiento:

- Primero, se realiza una inspección de la fractura, si es posible se procede a lavar el agregado para poder facilitar la identificación de la fractura.
- Se procede a clasificar las partículas, a través de una espátula se separan aquellas partículas redondas de aquellas que presentan una o más caras fracturadas.
- Si alguna partícula cubre más del 25 % o más de la superficie de una partícula, se considera fractura.
- Se pesan las caras fracturas en dos contenedores distintos.
- Finalmente, las partículas de una sola fractura es indispensable sumar ambos contenedores para obtener el total.

Sales Solubles Totales

Su propósito, es determinar la cantidad de sulfatos de los agregados que serán empleados en bases de mezclas asfálticas mediante un proceso analítico de cristalización, dónde el agregado pétreo es sometido a determinados lavados agregando agua destilada a temperatura de ebullición, de esta forma se obtendrá el contenido total de sales. Además, se detectará las sales a través de reactivos químicos. Al finalizar se obtendrá el total del agua en donde se terminará la cantidad del total de sales mediante el proceso de cristalización.

Equipos de laboratorio:

- Muestra
- Agua destilada
- Cristales o polvo de sal
- Vasos
- Balanza

- Papel filtro
- Embudo
- Horno
- Tamiz

Procedimiento:

- Se selecciona una muestra del material, se homogeniza la muestra, para de esta manera para confirmar que la consistencia sea uniforme.
- Se pesa 10 gr de la muestra y se coloca en un vaso precipitado.
- Se añade 100 ml de agua destilada al vaso, y se procede a agitar hasta que las sales se disuelvan completamente.
- Se procede a la utilización de papel filtro para para separar la solución de residuos que no fueron disueltos de manera completa.
- En un vaso precipitado de 50 ml se transfiere a solución, para después colocarla al horno y dejarlo enfrían a temperatura ambiente.
- Asegurarse que el vaso con la solución este seco completamente, para finalmente pesarlo.

Absorción

El ensayo determina el peso específico tanto seco como saturado de determinada superficie seca, la absorción y el peso específico aparente del agregado. El periodo de sumersión del espécimen es 24 horas para poder saturar los poros, se procederá a retirar el agua, se secará la superficie y se pesará. Además, esta muestra se pesa después de ser inmersa en agua. El espécimen será secado a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Equipos de laboratorio:

- Muestra
- Balanza
- Cesta
- Recipiente de agua
- Tamiz
- Estufa

Procedimiento:

- Se selecciona una muestra representativa de 5 kg de material en su estado seco a temperatura ambiente

- Se coloca la muestra en un horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. aproximadamente y se deja pesar hasta que alcance un peso constante. Se anota el peso seco.
- Se sumerge en agua la muestra durante 24 horas, asegurarse que la muestra se encuentre completamente sumergida.
- Se seca la muestra, para finalmente registrar su peso una vez saturada con agua en su interior.
- La muestra se seca a temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 105°C aproximadamente en un periodo de 1 a 3 horas.

Equivalente de Arena

Su objetivo es la determinación de la finesa, cantidad relativa de las arcillas que se presentan en una determinada muestra de ensayo. Además, se puede hallar el límite de la cantidad permitida define esa arcillosa en los agregados y de esta forma se demostraría la calidad proveniente de su proceso de producción de estos mismos. La temperatura idónea para este ensayo será de $22 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el proceso.

Equipos y materiales de laboratorio:

- Cilindro graduado
- Tampón del cilindro
- Tamiz
- Embudo
- Cronometro
- Tubos flexibles
- Recipiente
- Agitador manual o mecánico

Procedimiento:

- Rellenar los cilindros con solución de cloruro de calcio hasta alcanzar una altura de $4 \pm 0,1$ ".
- Introducir con ayuda de un embudo la muestra en el cilindro.
- Las burbujas de aire del fondo son eliminadas con pequeños golpes, dejar que la muestra repose un periodo de 10 minutos aproximadamente.
- Para la agitación, es necesario cubrir el cilindro con un tapón, invertirlo y agitar en posición horizontal durante unos 30 segundos completando en su totalidad 90 ciclos.

- Se colocar el cilindro de pie en una superficie estable y quitar el tapón.
- Se procede a lavar el material, para ellos es necesario usar un tubo irrigador para lavar el material adherido a las paredes del cilindro, insertándolo hasta el fondo
- Se aplica presión, mientras la solución fluye, esto hará que los materiales finos se acumulen sobre las partículas de arena más gruesa.
- Para la segmentación, se deja el cilindro en reposo durante un lapso de 20 minutos aproximadamente, después de retirar el tubo irrigador para permitir que los materiales se sedimenten.
- Finalmente, se mide el nivel superior de la suspensión de la arcilla.

Azul de metileno

Se realiza este ensayo para precisar la cantidad dañina que presenta la muestra tales como materiales de tipo orgánicos y tipo arcillosos que son concurrentes en la parte de finesa del material. Para esto se requiere el material fino que pase por tamiz N. °200

Equipos y materiales:

- Jeringa
- Vaso precipitado
- Varilla
- Cronómetro
- Papel filtro
- Cronómetro
- Matraz volumétrico
- Tamiz N° 200
- Agua destilada
- Azul de metileno
- Horno

Procedimiento:

- Se selecciona 10 g de la muestra que pasa a través de la malla 200 y se coloca en un vaso precipitado.
- En un recipiente se incorpora agua destilada y se mezcla agitando hasta que quede más de manera homogénea.
- Con ayuda de una jeringa se añade el azul metileno en dosis de 0.5 ml, mezclando mediante la agitación durante un lapso de 60 segundos después de cada adición

- Con una varilla agitadora coma y se extrae una gota de la mezcla y se coloca sobre un papel filtro. Se repetirá hasta que se forme un anillo bien definido de color azul alrededor de la gota del papel.
- Se repite el proceso para confirmar los resultados se realizan los cálculos pertinentes tras la verificación

Índice de Plasticidad

Determina el índice de plasticidad y el límite líquido de un determinado suelo. Además, estos determinan la compresibilidad, permeabilidad y compactación, resistencia al corte y expansión. Cierta cantidad de plásticos en el suelo expresa la consistencia relativa y agrega el porcentaje más fino de 2 micras. Consiste en formar barritas de la muestra de 3.22 mm de diámetro con la mano frotando sobre una superficie lisa, llevándola a una humedad baja sin que estas barritas se rompan. De desmoronarse implica que la muestra presenta propiedades plásticas.

Equipos:

- Espátula
- Recipiente
- Balanza
- Horno
- Tamiz 40
- Agua destilada
- Superficie de rodadura

Procedimiento:

- Se procede a combinar la muestra de agregado que se ha seleccionado entre 15 y 20 ml de agua destilada, hasta obtener una mezcla totalmente homogénea, se utilizará una espátula.
- Además, se añade agua destilada entre 1 a 3 mililitros durante el proceso.
- Una vez que la mezcla se encuentre totalmente uniforme y homogénea coma y se procede a aplicar aproximadamente 35 golpes con una cazuela para lograr adecuadamente su compactación.
- Se coloca una cantidad específica de mezcla y se asegurara que se encuentre correctamente distribuida en la base
- Se presiona hacia abajo y se compacta la parte de la muestra que estará en la cazuela para prevenir la formación de posibles burbujas.

- Con ayuda de una espátula se nivelará y ajustará la muestra hasta que alcance aproximadamente 1 cm de profundidad en su zona más gruesa.
- Se aplicarán golpes a través de una manija, los cuales serán de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la masa se encuentran en el fondo de la cazuela.
- Luego, se procede a extraer una porción de la mezcla del mismo ancho que la espátula, asegurando así de incluir la parte que estuvo en contacto con la base y se coloca en un recipiente adecuado.

Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca

Su fin, es el cálculo del peso unitario y el aparente de la compactación de las muestras de mezclas asfálticas, se debe tener en cuenta que este tipo de ensayos no deben usarse en especímenes que presenten vacíos abiertos o que puedan absorber del volumen una cantidad mayor al 2% del agua. Además, se debe considerar la conversión de unidades requeridas del peso específico a peso unitario, para ello se debe multiplicar el peso unitario del agua en determinada temperatura por el peso específico, lo cual este deberá estar a la misma temperatura que el agua.

Equipos:

- Especímenes
- Balanza
- Recipiente para el agua
- Termómetro
- Secador
- Vasos precipitados

Procedimientos:

Para la preparación de especímenes

- Se satura las muestras en el agua durante un determinado tiempo hasta que estos absorban el agua para que los poros estén saturados de esta misma.
- Se procede a secar las muestras con ayuda de una toalla.

Para la determinación del peso en el aire

- Se pesa la muestra después de quitar el sobre exceso de agua.

Para la determinación del peso específico aparente:

- En el agua se sumerge la muestra.

- Se vuelve a pesar la muestra en el agua.

Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas densas

Su objetivo, es el cálculo de porcentajes de vacío presentes en las mezclas asfálticas, determinando primero el peso específico aparente y teórico de la mezcla asfáltica para prevenir la posible influencia de las diferentes gradaciones, del porcentaje del cemento asfáltico.

Equipos y materiales:

- Muestras
- Balanza
- Recipiente para el agua
- Termómetro
- Secador
- Vasos precipitados
- Agua destilada

Procedimiento:

- Se selecciona la muestra
- Se seca la muestra a una temperatura de 105°C y 110°C en un tiempo de 2 a 4h.
- Se pesa la muestra estando completamente seca.
- Para la determinación del peso en agua, se sumerge la muestra hasta que este saturada, sin burbujas de aire y se pesa la muestra sumergida en agua.

Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos

Determina los resultados de vacíos de aire en este tipo de mezclas de compactación, la cantidad de asfalto que absorben los agregados y el cálculo referencial de la compactación de mezclas bituminosas. Para ello, es importante la calibración de los frascos y picnómetros a usar, luego tener en cuenta de no quebrar las partículas al momento de ser separadas, usar de diámetro de 6.3 mm la muestra fina.

Equipos y materiales:

- Muestras
- Balanza
- Recipiente para el agua
- Termómetro
- Secador
- Vasos precipitados

Procedimiento:

- Seleccionar la muestra que se requiera
- Se seca la muestra siempre y cuando tenga exceso de humedad.
- Si la muestra tiene humedad se seca a temperatura de 105°C a 110°C por un periodo de 2 a 4 horas aproximadamente.
- Finalmente, una vez seca se procede a pesar la muestra.

Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall

Su fin, es realización del diseño de mezclas bituminosas y sus parámetros de comportamiento. Además, las muestras compactadas por este ensayo se usan para el cálculo de resistencia a tracción indirecta, módulos, estabilidad y flujo. La estabilidad Marshall muestra la máxima resistencia de deformación. Además, el flujo del contenido óptimo de asfalto no debe pasar el límite superior para que las mezclas no sean de consideración plástica o de característica inestable y si en caso el flujo este bajo el límite inferior la mezcla estaría de muy rígida.

Materiales:

- Agregados
- Asfalto
- Aditivos
- Agua

Equipos:

- Equipo Marshall
- Moldes
- Compactador
- Horno
- Bascula
- Termómetro
- Calibrador
- Prensa
- Equipo de medición

Procedimiento:

- Se prepara la muestra, donde se elige una determinada mezcla que contiene agregados y asfaltos según las especificaciones dadas, Se mezcla correctamente los agregados y el asfalto hasta que se encuentre un informe.

- Se procede a compactar dicha mezcla mediante una compactadora, donde se elige la determinada cantidad de golpes según el diseño.
- Hoy se dejan enfriar las muestras a temperatura ambiente. Luego se procede a curar los especímenes, a una temperatura de 60 °C durante un determinado tiempo de 24 horas.
- Se colocan, los especímenes en el equipo de Marshall, se procede a someter un determinado aumento de carga axial, hasta que falle el espécimen.
- Se mide los desplazamientos laterales del espécimen, lo cual nos brindará información sobre la fluidez de este mismo.
- Se procede a determinar la relación que existe entre la estabilidad y la fluidez.

Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste

Su fin, es la estimación del valor de pérdida del desgaste de las mezclas asfálticas, luego de ser sometidas bajo acciones abrasivas a través de la máquina de los ángeles, proceso por el cual se representa la disgregación generada por efectos del tráfico. La temperatura de este ensayo estará entre la temperatura de 15 y 30 °C.

Materiales y equipos:

- Muestra de mezcla bituminosa
- Equipo cántabro
- Agregados
- Balanza
- Tamiz

Procedimientos:

- Se prepara la muestra mediante la compactación, en un molde siguiendo con el procedimiento especificado.
- Se pesa inicialmente la muestra para obtener un registro de la masa inicial
- Se coloca la muestra en el tambor de cántabro junto con una cantidad determinada de agregados las cuales simulan el desgaste.
- Al momento de ejecutar el ensayo su velocidad idónea será entre 30 y 40 revoluciones por minuto durante un tiempo de 30 minutos.
- En el tiempo que dure este proceso, los agregados y la mezcla interactuarán provocando el desgaste.

- Finalmente, para completar el ensayo se pesa la muestra nuevamente para determinar de esta forma la pérdida del peso.

Resistencia al daño provocado por humedad

El objetivo es estimar la vulnerabilidad de las mezclas bituminosas. Evalúa las consecuencias el acondicionamiento acelerado y la saturación en agua. Determina el diseño de las mezclas bituminosas y del asfalto, realizadas y compactadas en laboratorio. También, mezclas bituminosas creadas en campo y compactadas en áreas de laboratorio. Finalmente, los núcleos de las mezclas bituminosas las cuales son adquiridos del pavimento en algún periodo los cuales son mezclados y compactados en el mismo campo.

Materiales y equipos:

- Muestra bituminosa
- Recipientes
- Balanza
- Horno
- Equipos de compactación
- Calibrador

Procedimientos:

- Para la preparación de la muestra, se elige correctamente los agregados y se mezcla junto con el asfalto, se procede a compactar en un molde estándar por lo general de forma cilíndrica, luego se les deja curar a una temperatura ambiente durante 24 horas
- Se procede a pesar las muestras compactadas y registrar su peso.
- estas muestras son sumergidas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas
- Después de la inmersión, se procede a secar las muestras en un horno a una temperatura de 60 °C durante un periodo de 24 horas.
- Para la prueba de compresión se coloca la muestra en un calibrador de compresión y se procede a aplicar la carga axial hasta que esta falle
- Finalmente, se procede a registrar su máxima carga soportada como la resistencia a la compresión.

Materiales y métodos

Dentro de los materiales encontramos:

Cemento asfáltico

Se empleará el cemento asfáltico con grado de penetración 60/70, que de acuerdo con los parámetros establecidos en [22] debe tener las siguientes características:

Tipo		Grado de Penetración	
Grado	Ensayo	PEN 60-70	
Pruebas sobre el material botuminoso			
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0	
Indice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies)			
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M20	Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5h			
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	52+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	50	

TABLA 08: Propiedades del cemento asfaltico con grado de penetración 60/70 [22]

Agregados:

La obtención de agregados será de la cantera Tres Tomas de la Provincia de Ferreñafe del departamento de Lambayeque. Se verificará que cumplan con los requisitos establecidos en [22] para cada tipo.

Filler:

Se utilizará cemento Portland Tipo I como filler para mejorar la adherencia entre los agregados y el ligante.

Elastómero de poliuretano termoplástico (TPU):

El TPU es un elastómero con propiedades elásticas que tiene diversas aplicaciones. Para efectos de este estudio, la provisión de este material estará dada por la empresa distribuidora de materias primas del sector industrial “IDC COMPONENTES SAC”. El elastómero de poliuretano termoplástico obtenido será de la marca LARIPUR.

La ficha técnica del producto se detalla en la siguiente tabla:

Propiedad	Unidad	Valor	Norma
Densidad	gr/cm ³	1.20	ISO 2781
Dureza, Shore A	A	84	ISO7619-1
Resistencia a la tracción	MPa	58.2	ISO 22654
Alargamiento a la rotura	%	570	ISO 22655
Módulo 100%	MPa	5.2	ISO 22656
Módulo 300%	MPa	14.8	ISO 22657
Resistencia al desgarro (ángulo)	N/mm	83	ISO 34-1
Deformación permanente a 23°C	%	22	ISO 815-1
Resistencia a la abrasión	mm	35	ISO 4649
Punto de reblandecimiento Vicat	°C	90	ISO306

TABLA 09: Propiedades del Poliuretano Termoplástico

Dentro de las características de esta investigación se tiene:

Tipo de investigación

Según el fin perseguido:

De acuerdo con el fin perseguido, la investigación es de tipo aplicada, debido a que plantea mejorar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas través de su modificación por vía seca con TPU, para innovar en alternativas respecto a la situación problemática de las condiciones deficientes de las carpetas de rodaduras actuales.

Según la metodología de estudio:

Según la secuencia metodológica asumida, esta investigación se caracteriza por ser de tipo experimental, puesto que se evaluarán las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas modificadas mediante vía seca con elastómero poliuretano termoplástico.

Según el tipo de datos analizados:

En base a esta clasificación, la investigación es de carácter cuantitativo debido a que los valores por analizar estarán dados por la medición de las variables por medio de los indicadores, los cuales corresponden a los ensayos a las mezclas asfálticas convencionales y modificadas por proceso seco con TPU.

Nivel de investigación

A través de esta investigación se busca establecer un precedente de la correlación que existe entre la adición de elastómero de poliuretano termoplástico y sus efectos sobre las propiedades físico-mecánica de las mezclas asfálticas. Por ende, el nivel de investigación es explicativo.

Diseño de investigación

$$G \rightarrow O_1 \times O_2$$

Descripción del diseño:

- **G:** Las mezclas asfálticas como objeto de estudio.
- **O₁:** Medición de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas convencionales.
- **×** : Adición de elastómero de Poliuretano termoplástico (estímulo).
- **O₂:** Medición de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas modificadas por vía seca.

Se medirán las propiedades físico-mecánicas tanto de las mezclas patrón como de las mezclas modificadas por proceso seco con TPU. En el sentido de este estudio, se considerarán las propiedades de estabilidad, flujo, resistencia a la tracción indirecta, y al daño inducido por humedad.

Métodos

Población:

La población estará constituida por 102 briquetas de mezcla asfáltica, que estarán distribuidas de acuerdo con lo siguiente:

Las mezclas asfálticas se diseñarán por el método Marshall y se considerarán dos tipos de tráfico: Ligero y medio. El rango de contenido de cemento asfáltico será de 4.5 a 6.5% con una variación de 0.5% con cada diseño en peso de la mezcla de acuerdo con las bases en [28]. Es necesario precisar que por cada contenido de asfalto se realizarán 3 briquetas de mezcla asfáltica. Por tanto, para las propiedades de estabilidad, flujo, peso específico teórico máximo, peso específico aparente, peso unitario y porcentaje de vacíos de las mezclas convencionales se tiene:

GRUPO CONTROL	TIPO DE TRÁFICO	Contenido de asfalto					
		4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	TOTAL
	LIGERO	3	3	3	3	3	15
	MEDIO	3	3	3	3	3	15
	TOTAL	6	6	6	6	6	30

TABLA 10: Población grupo control para contenido óptimo del ligante

Fuente: Propia, 2024

Para las mezclas asfálticas modificadas por vía seca con diferentes contenidos de TPU, considerando el porcentaje óptimo del ligante obtenido de las convencionales y las propiedades señaladas, se tiene lo siguiente:

GRUPO EXPERIMENTAL	CONTENIDO DE TPU	Contenido Óptimo de asfalto		TOTAL
		T. Ligero	T. Medio	
	1%	3	3	6
2%	3	3	6	
3%	3	3	6	
4%	3	3	6	
N° BRIQUETAS	12	12	24	

TABLA 11: Población grupo experimental

Fuente: Propia, 2024

Adicionalmente, para determinar la resistencia a la segregación por medio del ensayo de Cántabro se elaborarán 4 briquetas por cada diseño óptimo según el tipo de tráfico. De esta manera, el número de briquetas para las mezclas convencionales serán:

GRUPO CONTROL	TIPO DE TRÁFICO	Briquetas (% óptimo de Asfalto)
	LIGERO	4
	MEDIO	4
	TOTAL	8

TABLA 12: Población grupo control para ensayo Cántabro.

Fuente: Propia, 2024

Del mismo modo, para las mezclas modificadas por vía seca con TPU se estima:

GRUPO EXPERIMENTAL	Mezcla modificada (% óptimo de TPU)		TOTAL
	T. Ligero	T. Medio	
	4	4	8

TABLA 13: Población grupo experimental para ensayo Cántabro.

Fuente: Propia, 2024

Además, para definir el daño inducido por humedad de las mezclas convencionales para cada tipo de tráfico con el porcentaje óptimo del ligante se deben realizar 16 briquetas. En este ensayo se aplica la tracción directa (ST) tanto para especímenes secos y acondicionados, de los cuales dos especímenes serán empleados para establecer el procedimiento de compactación.

GRUPO CONTROL	TIPO DE TRÁFICO	Briquetas (% óptimo de Asfalto)
	LIGERO	8
	MEDIO	8
	TOTAL	16

TABLA 14: Población grupo control para ensayo daño inducido por humedad

Fuente: Propia, 2024

Asimismo, para determinar esta propiedad en las mezclas modificadas por proceso seco con TPU se realizará lo siguiente:

GRUPO EXPERIMENTAL	Mezcla modificada (% óptimo de TPU)		TOTAL
	T. Ligero	T. Medio	
	8	8	16

TABLA 15: Población grupo experimental para ensayo daño inducido por humedad.

Fuente: Propia, 2024

Muestra:

La muestra en esta investigación estará conformada por todas las briquetas consideradas en la población, puesto que se trata de una investigación no probabilística de acuerdo con el muestreo ejecutado.

Rango de aplicación

El porcentaje inicial de reemplazo de 1.0 % en peso de agregados considerado en esta investigación se basa en el contenido mínimo de sustitución como agregado fino en [15], en el cual se trabajó del 1.0 % al 4.0% con otro polímero termoplástico de la misma familia elastomérica y con partículas de tamaño similar a 2 mm (malla N°.10), igual que el TPU. El 4% en peso de agregados es planteado a fin de manejar un contenido ligeramente superior a los valores recomendados de 1.0% al 3.0% del modificador en [17], debido a que dicho material pertenece a la misma clasificación que el Elastómero de Poliuretano Termoplástico (TPU). Por su parte, se considerarán porcentajes de 2.0% y 3.0% de TPU en peso de agregados por constituir los límites del valor promedio entre el porcentaje inicial y final seleccionados.

Variables

Variable independiente:

Modificación por Vía seca con Elastómero de Poliuretano Termoplástico

Variable dependiente:

Propiedades Físico – Mecánicas de la mezcla asfáltica

Tablas de operacionalización de variables:

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
Modificación por Vía seca con Elastómero de Poliuretano Termoplástico	Cantidad de TPU como agregado fino	% en peso del agregado	0%, 1%, 2%, 3% y 4% del peso	Balanza

TABLA 16: Operacionalización de variable independiente

Fuente: Propia, 2024.

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	METODO DE MEDICIÓN
Propiedades Físico – Mecánicas de la mezcla asfáltica	Propiedades físicas	Peso específico aparente y peso unitario	gr/cm ³	Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca MTC E 514
		Porcentaje de vacíos	%	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas MTC E 505
		Peso específico teórico máximo	gr/cm ³	Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas MTC E 508
	Propiedades mecánicas	Estabilidad Marshall	N	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall MTC E 504
		Fluencia	mm	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall MTC E 504
		Resistencia a la tracción indirecta	KPa	Módulo Resiliente Diametral para Mezclas Asfálticas ASTM D-4123
		Resistencia al desgaste	%	Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cantabro de pérdida por desgaste MTC E 515
		Resistencia al daño inducido por humedad	KPa	Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad MTC E 522
		Resistencia a la deformación y susceptibilidad por humedad	mm	Resistencia a la deformación y susceptibilidad por humedad AASHTO T 324-04

TABLA 17: Operacionalización de variable dependiente

Fuente: Propia, 2024

VARIABLES INTERVINENTES	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR	MÉTODO DE MEDICIÓN
Penetración del asfalto	0.1 mm	60-70	Método de ensayo de penetración MTC E 304
Tamaño de agregados	mm	Mac 2	Análisis granulométricos de agregados gruesos y finos MTC E 204
Tamaño de granos de TPU	mm	Entre mallas N° 10 y N°4	Análisis granulométricos de agregados gruesos y finos MTC E 204

TABLA 18: Variables intervinientes

Fuente: Propia, 2024

Procedimientos

Ensayos de agregados finos y gruesos

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

- De una muestra de 100 gr de material fino los cuales son retenidos en los tamices N.º 4, N.º8, N.º16, N.º30, N.º50 y N.º100
- En el caso del agregado grueso se necesita 300 gramos del tamiz N.º 4, 330 gr del tamiz 3/8” y 670 gr del tamiz 1/2”
- Se procede a lavar el material y se coloca en un horno durante un laxus de 24h para después agregar el sulfato de magnesio mezclado ya con agua destilada.
- Se cubre la muestra con la solución y se deja reposar 24 h
- Se procede a escurrir la solución y de nuevo va al horno por 24 h, este ciclo se repite 5 veces.
- Finalmente, una vez que el material se encuentre completamente seco se enjuaga con agua destilada, se ingresa al horno, se tamiza por los tamices utilizados inicialmente y se pesa.



FIGURA 03: Durabilidad al sulfato de magnesio

Fuente: Propia, 2024

Abrasión Los Ángeles

- Tomando en cuenta el tamaño máximo nominal que fue obtenido a través de la granulometría, lo cual es de 1/2”. Se seleccionó la graduación correspondiente lo cual es el B. El material elegido es colocado en la máquina de Los Ángeles y se opera una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto hasta completar las 500

revoluciones. Finalmente, se procede a pesar el material retenido en el tamiz número 10.



FIGURA 04. Ensayo de Abrasión Los Ángeles

Fuente: Propia, 2024

Partículas chatas y alargadas

- Se elige una muestra lo cual pasa la malla número cuatro, lo cual debe tener aproximadamente 100 partículas que se dividirán en grupos de alargadas chatas o ni chatas ni alargadas. Finalmente se selecciona qué grupo pertenece.

Caras fracturadas

- En primer lugar, se lava una muestra retenida en el tamiz número cuatro y se determina el peso. Se procede, identificar el número de caras fracturadas mediante la dispersión del material y el análisis de cada partícula. Por ejemplo, si una cara presenta menos de $1/4$ de su área transversal será clasificado como fractura. Luego, las partículas se dividen según el número de cara o fracturas y para aquellas que no cumplen las características. Finalmente, se pesa los grupos anteriormente mencionados.



FIGURA 05. Ensayo de Caras Fracturadas

Fuente: Propia, 2024

Sales Solubles Totales

- En primer lugar, se selecciona una muestra seca, la cual será sumergido en taras con agua destilada, se asegurará que el agua esté por encima de 3 cm de la muestra y se deja reposar durante un lapso de 24 horas. Después, pasado un tiempo se escurre el agua y se coloca en una hornilla hasta que comience a hervir. El líquido resultante se coloque unos vasos precipitados de 50 mililitros y es llevado al horno durante 24 horas para finalmente pesar el resultado.



FIGURA 06: Ensayo de Sales solubles totales

Fuente: Propia, 2024

Absorción

- De una muestra de 5 kg lo cual es tamizado por la malla número cuatro, en el caso de presentar impurezas se limpia con agua y se introduce al horno. Después, el material se deja reposando en agua durante 24 horas, se procede a extender sobre una superficie completamente plana para de esta forma secar superficialmente el agregado con ayuda de un paño absorbente. Además, se coloca en una canastilla Y se pesa el material lo cual se encuentra sumergido en el agua, de esta forma se asegura eliminar el aire atrapado dentro del agregado. Finalmente, se deja secar en el horno durante un lapso de 24 horas y nuevamente se pesa.



FIGURA 07: Ensayo de absorción

Fuente: Propia, 2024

Equivalente de Arena

- De una muestra de 1 kg de agregado fino se realiza el proceso de cuarteo. Luego, en una galponera con agua destilada se reemplaza 100 ml por una solución de stock, se agita hasta que se encuentre de manera homogénea. Con ayuda de 3 tubos de probetas graduadas, se distribuye el contenido de la solución de manera homogénea hasta llegar a la medida de 10 cm. A la par se llena un molde con material fino humedecido lo cual será chuceado por 25 golpes. Además, cada tubo se le añadirá material fino con ayuda de un embudo y se procede a agitar hasta 100 revoluciones. Se deja reposar durante un periodo de 15 minutos antes de ser agitado nuevamente. Luego se deja reposar 30 minutos más, pero de esta forma medir el material acentuado. Con ayuda de un objeto el material metálico se compacta el material y se registra la medida.



FIGURA 08: Ensayo de equivalente de arena

Fuente: Propia, 2024

Azul de metileno

- Se selecciona 50 gr de agregado fino lo cual es pasado por el tamiz número 200.
- Luego, se añaden 250 ml de agua destilada y con una jeringa.
- Se añade azul de metileno gota tras gota, mezclando de manera homogénea
- Finalmente, en un papel filtro se gotea hasta que esta tina de color azul.



FIGURA 09: Ensayo azul metileno

Fuente: Propia, 2024

Índice de Plasticidad

- Se elige el material que pasa por los tamices número 40 y 200, se le incorpora agua destilada hasta que la muestra se encuentre saturada y se deja reposar durante 24 horas. Se procede a realizar el ensayo utilizando el equipo de casa grande y se opera la manivela a una velocidad de 2 golpes por segundo para que de esta forma las mitades se unan nuevamente. Se anota el número de golpes y se toma una pequeña cantidad del material con la espátula para pesarlo. Esta muestra, se coloca en el horno durante 24 horas y se vuelve a pesar. El proceso se repite aumentando la humedad del agregado en cada intento para reducir el número de golpes requeridos.

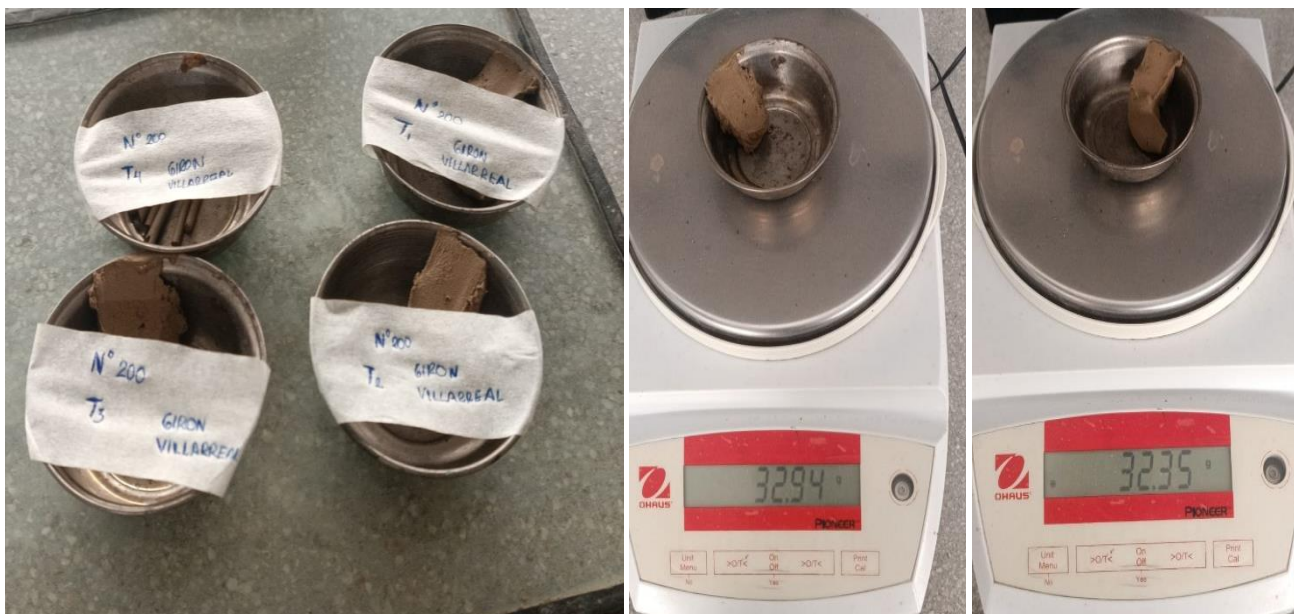


FIGURA 10: Ensayo de índice de Plasticidad

Fuente: Propia, 2024

Modificación por vía seca de la mezcla asfáltica:

Las proporciones de elaboración para el diseño de las mezclas bituminosas se determinará a partir de la combinación de agregados por medio de tanteo, se seleccionó 6000gr entre material pétreo y fino, de tal manera que la gradación final establecida se encuentre dentro de los parámetros MAC 2.



FIGURA 11: Mallas para determinación del Mac 2

Fuente: Propia, 2024

La mezcla asfáltica tendrá un peso total de 1500 gr. y los contenidos de cemento asfáltico variarán desde 4.5% hasta 6.5% en peso de la mezcla. Por tanto, el peso de agregados en la mezcla será la diferencia entre el peso total y la suma de proporciones de cemento asfáltico y filler definidos.

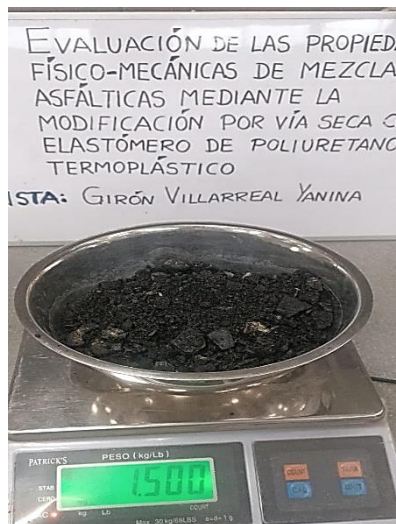


FIGURA 12: Peso total de los materiales de la mezcla bituminosa

Fuente: Propia, 2024

El polímero elastómero poliuretano termoplástico se mezclará durante un tiempo aproximado de 1.5 minutos con los agregados calentados previamente a una temperatura de 185°C. Por su parte, el asfalto PEN 60/70 en estado sólido se calentará hasta lograr un adecuado grado de fluidez (con una temperatura mínima de 160°C). Los agregados ya combinados con el TPU se mezclarán, alrededor de 2 minutos, con el cemento asfáltico precalentado hasta que sea una mezcla homogénea.



FIGURA 13: Preparación de la mezcla asfáltica

Fuente: Propia, 2024

Preparación de especímenes para ensayos:

Las briquetas de mezclas asfálticas serán elaboradas utilizando moldes metálicos de dimensiones estandarizadas. Antes de colocar la mezcla se introducirá un papel no absorbente con la forma del molde.



FIGURA 14: Utilización de moldes para la elaboración de briquetas

Fuente: Propia, 2024

Previo a la compactación, se chuseará la mezcla 15 veces a lo largo del perímetro del molde y 10 veces en el centro. Adicionalmente, se colocará otro papel en la parte superior, del mismo tipo señalado anteriormente.

La compactación de las mezclas bituminosas se realizará mediante el martillo compactador, pudiendo ser operado manualmente o de forma mecánica. En este punto, el número de golpes a ambas superficies planas de la briqueta estará de acuerdo con el tipo de tráfico: 35 golpes para el tráfico ligero y 50 para el medio. Luego, se procede a desmoldar la briqueta



FIGURA 15: Compactación y desmolde de briquetas asfálticas

Fuente: Propia, 2024

- Se determina el peso de la briqueta asfáltica, y de esta forma se realiza el proceso con cada espécimen de briqueta.



FIGURA 16: Peso de las briquetas

Fuente: Propia, 2024

- Se mide a cada espécimen: El diámetro y alturas



FIGURA 17: Medición de las briquetas

Fuente: Propia, 2024

En la densidad del bulk, es necesario tener previamente el peso seco del material. Luego, se coloca la balanza sobre un estante situado sobre un lavado lo cual tiene una profundidad necesaria que permite la inclusión de un balde lleno de agua. Además, como se coloca unas uniones sobre la balanza con una canastilla dentro del balde y se gradúa como peso neutro o cero para facilitar las mediciones. Una vez instalada y con ayuda de una balanza se introduce

la briqueta en la canastilla y se espera aproximadamente 5 minutos hasta que el agua deje de burbujear y se estabilice el peso.



FIGURA 18: Sumergimiento de briquetas
Fuente: Propia, 2024



FIGURA 19: Muestras superficialmente secas
Fuente: Propia, 2024

Determinación del contenido óptimo de asfalto

En primer lugar, se determina el peso unitario y peso específico aparente (de cada espécimen bituminoso) para luego, proceder con el ensayo de estabilidad y el flujo a través del equipo Marshall. Luego de la realización del ensayo, de cada 3 muestras con el mismo porcentaje de

asfalto ensayada se procede a seleccionar 1, mediante el cual se realiza el ensayo Rice para calcular el peso específico teórico máximo a un total de 30 muestras



FIGURA 20: Especímenes de mezcla bituminosa

Fuente: Propia, 2024

Para el óptimo contenido de cemento asfáltico se haya primero el peso unitario, vacíos al aire y estabilidad.



FIGURA 21: Ensayo de peso unitario y peso específico aparente

Fuente: Propia, 2024



FIGURA 22: Ensayo Marshall

Fuente: Propia, 2024

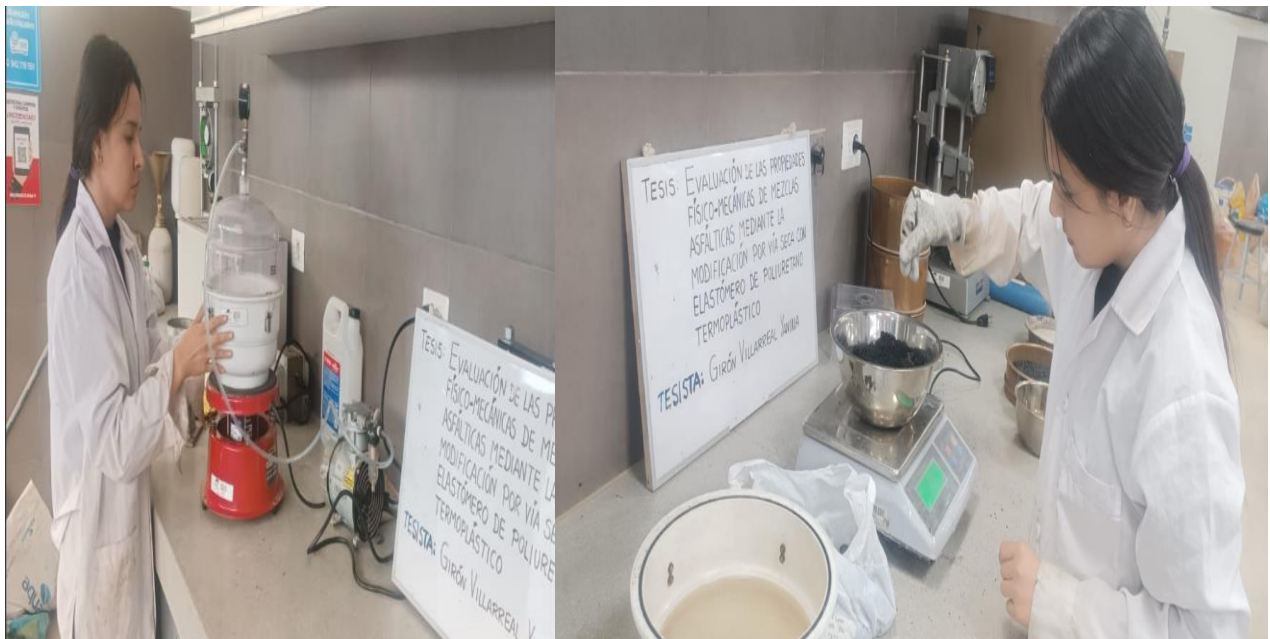


FIGURA 23: Ensayo Rice.

Fuente: Propia, 2024

Ensayo de Lottman

A través del contenido óptimo de mezclas asfálticas convencionales y de mezclas asfálticas modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico, se realizó el ensayo de Lottman se realizaron 8 muestras por cada tráfico, tanto para muestras convencionales como para las

modificadas con el elastómero de poliuretano termoplástico. De los cuales 4 son seleccionadas para el grupo seco y 4 para el grupo húmedo. Las del grupo seco son usadas a temperatura ambiente sumergiéndolas por dos horas. Luego, son ensayadas con su respectivo equipo. De otra forma, las húmedas son llevadas a que reposen durante 16 horas en un refrigerador, previamente son sumergidas y saturadas en agua para finalmente ser ensayadas.



FIGURA 24: Realización del ensayo de Lottman

Fuente: Propia, 2024

Ensayo de cántabro:

Se utilizó 4 briquetas de las muestras convencionales como de las modificadas en los dos tipos de tráfico (Mezcla C y B). Las muestras que fueron seleccionadas fueron de los óptimos contenidos de asfalto como de TPU. EL proceso de ensayo consiste, en llevar un peso inicial. Luego, colocar las briquetas dentro de la máquina de los ángeles por un total de 300 vueltas. Finalmente se obtendrá un peso final y se comparará con el inicial.



FIGURA 25: Ensayo de Cántabro

Fuente: Propia, 2024

Estrategia de análisis de datos

Los resultados de cada ensayo se evaluaron utilizando hojas de cálculos específicos.

Aspectos Éticos

A lo largo del desarrollo del proyecto, que abarca el proceso de investigación, y se ha respetado estrictamente la honestidad y los derechos de autor, utilizando citas y referencias de acuerdo con la norma IEEE. Así mismo, hoy se ha comprobado mediante el uso de software turnitin, que el porcentaje de similitud se mantenga por debajo del 25%.

Resultados y discusión

Resultados

A) Ensayos de agregados

a) Ensayo de Absorción de agregado grueso

La absorción que presentó el agregado grueso es de 0.85%

ABSORCION GRUESO		
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.419
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.440
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.470
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.85

TABLA 19: Porcentaje de absorción del agregado grueso.

Fuente: Propia, 2024

b) Ensayo de abrasión los Ángeles

El % de desgaste por abrasión es de 19.8 las cuales fueron retenidos en las mallas de 1/2 " y 4 ".

PESOS RETENIDOS	
PESO RETENIDO EN LA MALLA 1"	0.00 gr
PESO RETENIDO EN LA MALLA 3/4"	0.00 gr
PESO RETENIDO EN LA MALLA 1/2"	2500 gr
PESO RETENIDO EN LA MALLA N 4	2500 gr
% de desgaste por abrasión	19.8
% de uniformidad	0.4

TABLA 20: Porcentaje de desgaste de ensayo de abrasión.

Fuente: Propia, 2024

c) Ensayo de Sales Solubles Totales

El resultado del ensayo de sales solubles totales constituyentes en los agregados grueso y fino son de 0.19 % y 0.20 % respectivamente.

Agregado grueso

SALES SOLUBLES PARA A.GRUESO	
Relación de la mezcla suelo - agua destilada	5.00
Número de beaker	1
Peso de beaker	g. 32.00
Peso de beaker + residuo de sales	g. 32.10
Peso de residuo de sales	g. 0.10
Volumen de la solución tomada	ml 53
Constituyentes de sales solubles totales	ppm 1887
Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%) 0.19

TABLA 21: Porcentaje sales solubles en peso seco del agregado grueso.

Fuente: Propia, 2024

Agregado fino

SALES SOLUBLES PARA A.FINO	
Relación de la mezcla suelo - agua destilada	5.00
Número de beaker	2
Peso de beaker	g. 32.79
Peso de beaker + residuo de sales	g. 32.90
Peso de residuo de sales	g. 0.11
Volumen de la solución tomada	ml 56
Constituyentes de sales solubles totales	ppm 1950
Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%) 0.20

TABLA 22: Porcentaje sales solubles en peso seco del agregado fino.

Fuente: Propia, 2024

d) Ensayo de Equivalente de arena

En las muestras presentadas se obtuvo un promedio de equivalente de arena de 61% para agregado fino.

EQUIVALENTE DE ARENA			
MUESTRANº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	8.10	7.80	7.90
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.90	4.80	4.70
EQUIVALENTE DE ARENA	60.49 %	61.54 %	59.49 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	61 %		

TABLA 23: Porcentaje de equivalente de arena

Fuente: Propia, 2024

e) Ensayo de Absorción de agregado fino.

El agregado fino presenta un porcentaje de absorción de 0.49%

ABSORCION FINO		
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.597
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECC	(g/cm ³)	2.610
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.631
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.49

TABLA 24: Porcentaje absorción

Fuente: Propia, 2024

f) Ensayo de Índice de Plasticidad (malla Nº 40)

Se observó, utilizando la malla 40, que el agregado fino no contiene índice de plasticidad.

g) Ensayo de Índice de Plasticidad (malla Nº 200)

Se observó, utilizando la malla 200, que el agregado fino no contiene índice de plasticidad.

h) Ensayo de Durabilidad de agregado grueso

Se obtuvo un total de desgaste de 12%

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	0.0
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	7.1
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	2.9
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	2.0
9.5 mm	4.75 mm	

TABLA 25: Porcentaje del desgaste por durabilidad

Fuente: Propia, 2024

i) Ensayo de Durabilidad de agregado fino

Se obtuvo un total de desgaste de 14.9%

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	1.8
Nº 4 4.75 mm	Nº 8 2.36 mm	2.2
Nº 8 2.36 mm	Nº 16 1.18 mm	2.0
Nº 16 1.18 mm	Nº 30 600 µm	2.2
Nº 30 600 µm	Nº 50 300 µm	2.1
Nº 50 300 µm	Nº 100 150 µm	2.1

TABLA 26: Porcentaje del desgaste por durabilidad del agregado fino

Fuente: Propia, 2024

j) Ensayo de Caras fracturadas

Se determino 93.47% de partículas con una cara fracturada y 59.89 % con dos o más caras fracturadas de una muestra de 1000 gr.

Peso Total de la Muestra	(grs.)	1000.00
Partículas con una cara fracturada	(%)	93.47
Peso Total de la Muestra	(grs.)	1000.00
Partículas con una cara fracturada	(%)	59.89

TABLA 27: Porcentaje partículas con una y dos caras fracturadas.

Fuente: Propia, 2024

k) Ensayo de Partículas chatas y alargadas

Se obtuvo 7.51 % de partículas de chatas y alargadas de una muestra de 1000 gr.

	Pulg	mm
Tamaño máximo	3/4"	38.1
Tamaño máximo nominal	1/2"	25.40
Peso Total de la muestra	1000 gr	
Partículas Chatas y alargadas	7.51 %	

TABLA 28: Porcentaje partículas de chatas y alargadas.

Fuente: Propia, 2024

l) Azul de metileno

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado
	Cada	NÚMERO		
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	14

TABLA 29: Azul metileno

Fuente: Propia, 2024

Diseño de Mezcla asfáltica

Según el diseño del análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos en una mezcla bituminosa, después de preparar varias mezclas de prueba y realizar los ajustes necesarios, se consiguió una gradación que se ajusta a los parámetros de MAC 2 [22]

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	
		RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0.00			100.00	100	
1/2"	12.500	647.47	10.8	10.8	89.21	80	100
3/8"	9.500	731.80	12.2	23.0	77.01	70	88
1/4"	6.350	670.25	11.2	34.2			
Nº 4	4.750	654.64	10.9	45.1	54.93	51	68
Nº 8	2.360	539.47	9.0	54.1			
Nº 10	2.000	249.58	4.2	58.2	41.78	38	52
Nº 16	1.190	460.01	7.7	65.9			
Nº 30	0.600	510.30	8.5	74.4			
Nº 40	0.425	271.06	4.5	78.9	21.09	17	28
Nº 50	0.300	300.60	5.0	83.9			
Nº 80	0.177	285.59	4.8	88.7	11.32	8	17
Nº 100	0.150	81.41	1.4	90.0			
Nº 200	0.075	261.58	4.4	94.4	5.60	4	8
< Nº 200	FONDO	336.24	5.6	100.0			

TABLA 30: Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.

Fuente: Propia, 2024

Curva granulométrica

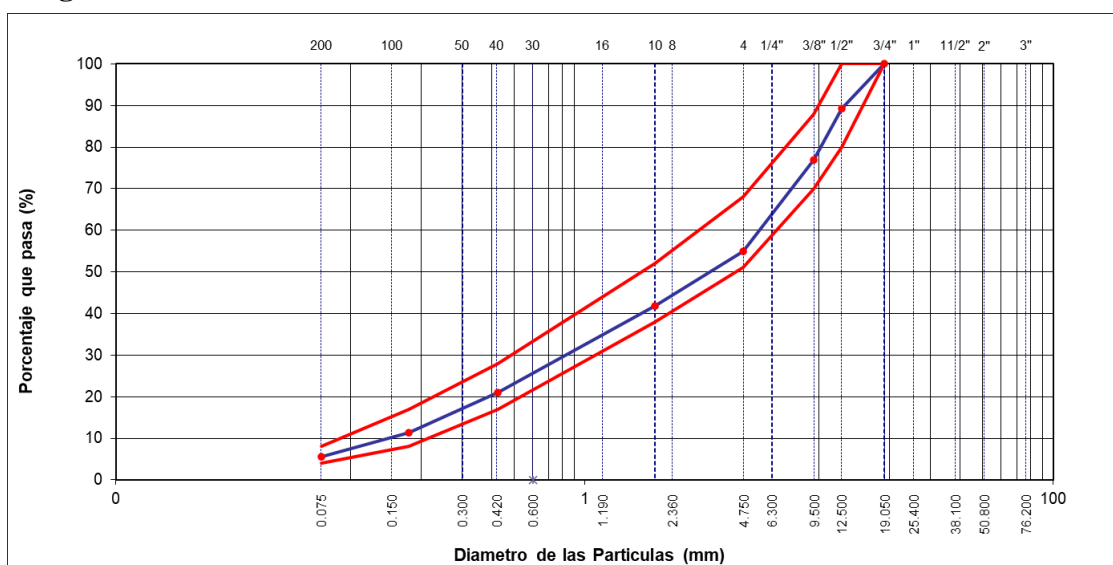


TABLA 31: Grafica del porcentaje que pasa mediante el diámetro de partículas.

Fuente: Propia, 2024

B) Ensayo Marshal

a) Mezcla asfáltica con asfalto patrón

El óptimo contenido de asfalto de la mezcla convencional se detalla a continuación.

RESULTADOS	T. LIGERO	T. MEDIO
Óptimo Contenido C.A	5.73	5.63
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.23	2.22
Vacios (%)	3.40	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	16.75	17.25
Vacios Llenados de C.A (%)	80	78
Flujo (mm)	4.78	3.66
Estabilidad (Kg)	1115	1420
Relación Polvo - Asfalto	1.02	1.01

TABLA 32: Valores del contenido óptimo de una mezcla convencional en el tráfico ligero y medio.

Fuente: Propia, 2024

Respecto a los valores de estabilidad, en todos los casos de óptimo contenido de cemento asfáltico convencional PEN 60/70, se cumple con la normatividad peruana. Esto significa, que se superó valores mínimos de 554.73 kg y 461.93 kg establecidos para tránsito medio y ligero respectivamente. Para la mezcla C, el caso más favorable es con 5.73% de asfalto porque alcanza una estabilidad de 1115 kg y un flujo de 4.78 mm. Mientras que, para la mezcla B el óptimo contenido de asfalto fue de 5.63%, un flujo de 3.66 mm. y una estabilidad de 1420 kg.

b) Mezcla asfáltica modificada con 1%, 2%, 3% y 4% de Elastómero de poliuretano termoplástico

El óptimo contenido de asfalto de elastómero de poliuretano termoplástico presenta lo siguiente:

RESULTADOS	T. LIGERO	T. MEDIO
Óptimo Contenido C.A	2.73	2.52
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.20	2.22
Vacios (%)	3.80	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	20.30	19.30
Vacios Llenados de C.A (%)	81	81
Flujo (mm)	4.72	3.94
Estabilidad (Kg)	1475	1900
Relación Polvo - Asfalto	0.49	0.45

TABLA 33: Valores del contenido óptimo de una mezcla modificada con TPU en el tráfico ligero y medio.

Fuente: Propia, 2024

La mezcla asfáltica modificada con TPU, presenta una mejora significativa en las propiedades de estabilidad y flujo. Para la mezcla ligera, el caso más favorable es con 2.73% de contenido de TPU en la mezcla porque alcanza una estabilidad de 1475 kg y el flujo de 4.72 mm. Mientras que, para la mezcla de Trafico medio, el óptimo contenido de TPU fue de 2.52% con una estabilidad de 1900 kg y un flujo de 3.94 mm.

Ensayo de Cántabro

Para tráfico ligero

El promedio de % de desgaste de una mezcla convencional es de 3.85 %, y para modificada un promedio de 3.20 %

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS						
N° DE BRIQUETA	TIPO	% DE FILLER	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	3.0%	1087.42	1048.2	3.61%	3.85%
2	CONVENCIONAL		1063.31	1021.3	3.95%	
3	CONVENCIONAL		1103.93	1058.81	4.09%	
4	CONVENCIONAL		1147.91	1105.01	3.74%	
1	MODIFICADA	3.0%	1120.96	1092.9	2.50%	3.20%
2	MODIFICADA		1064.95	1026.1	3.65%	
3	MODIFICADA		1104.36	1064.7	3.59%	
4	MODIFICADA		1050.66	1018.6	3.05%	

TABLA 34: Ensayo de Cántabro para tráfico ligero

Fuente: Propia, 2024

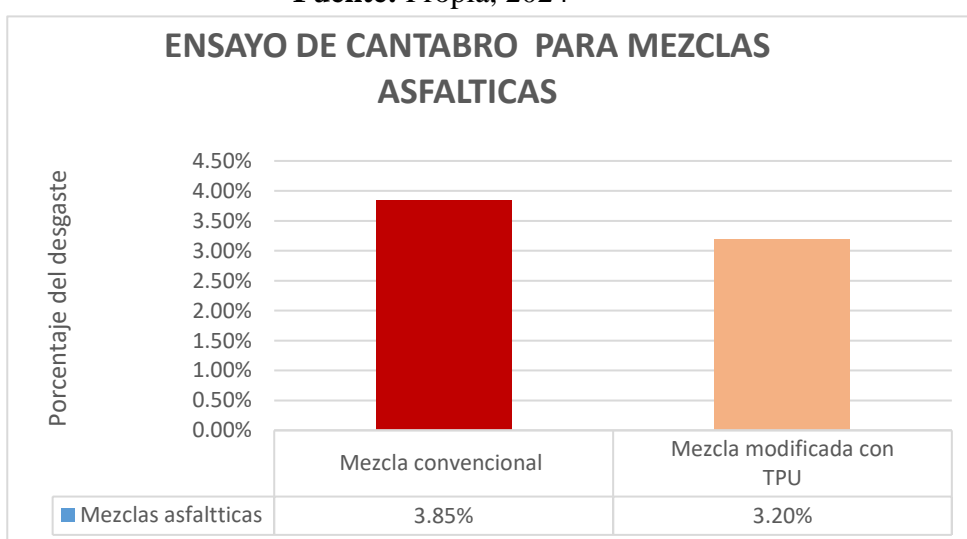


Gráfico 01: Ensayo de Cántabro para tráfico ligero de mezclas asfálticas convencional vs Mezcla asfáltica con TPU

Fuente: Propia, 2024

Para tráfico medio

El promedio de % de desgaste de una mezcla convencional es de 5.08 %, y para modificada un promedio de 4.16 %

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS						
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	3%	1157.09	1110.7	4.01%	5.08%
2	CONVENCIONAL		1116.50	1074.8	3.73%	
3	CONVENCIONAL		1064.98	1026.1	3.65%	
4	CONVENCIONAL		1115.02	1015.4	8.93%	
1	MODIFICADA	3.0%	1093.35	1045.5	4.38%	4.16%
2	MODIFICADA		1136.46	1101.3	3.09%	
3	MODIFICADA		1071.99	997.8	6.92%	
4	MODIFICADA		1115.17	1089.9	2.27%	

TABLA 35: Ensayo de Cántabro para tráfico medio

Fuente: Propia, 2024

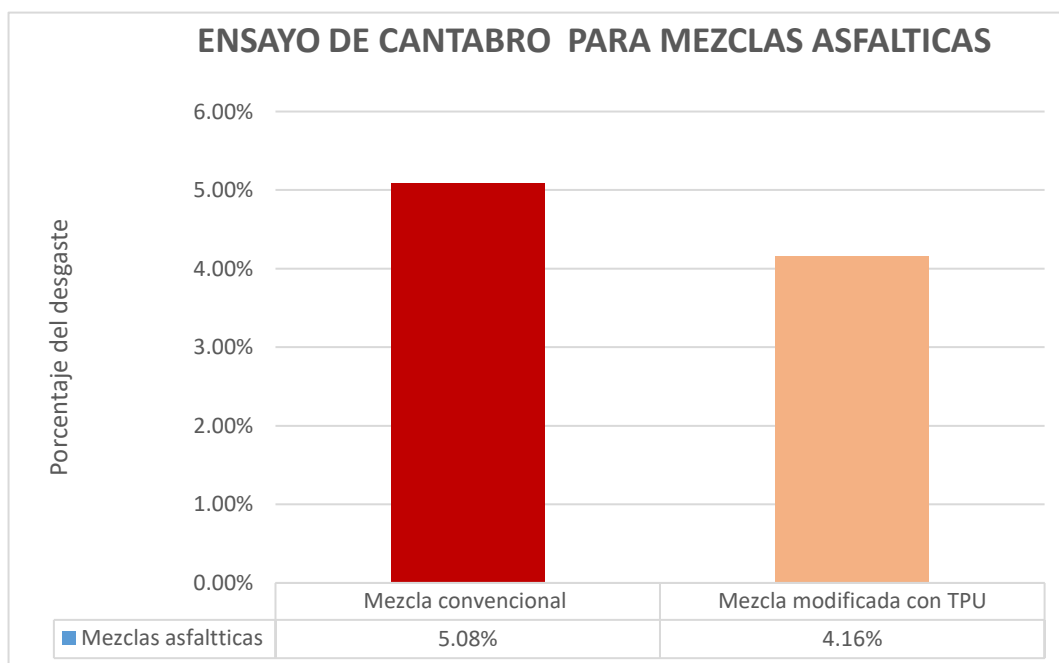


Gráfico 02: Ensayo de Cántabro para tráfico ligero de mezclas asfálticas convencional vs Mezcla asfáltica con TPU

Fuente: Propia, 2024

C) Ensayo de Lottman

Para tráfico ligero

El promedio de % de Razón del esfuerzo de tensión (TRS) de una mezcla convencional es de 80.48%, y para modificada un promedio de 81.25 %

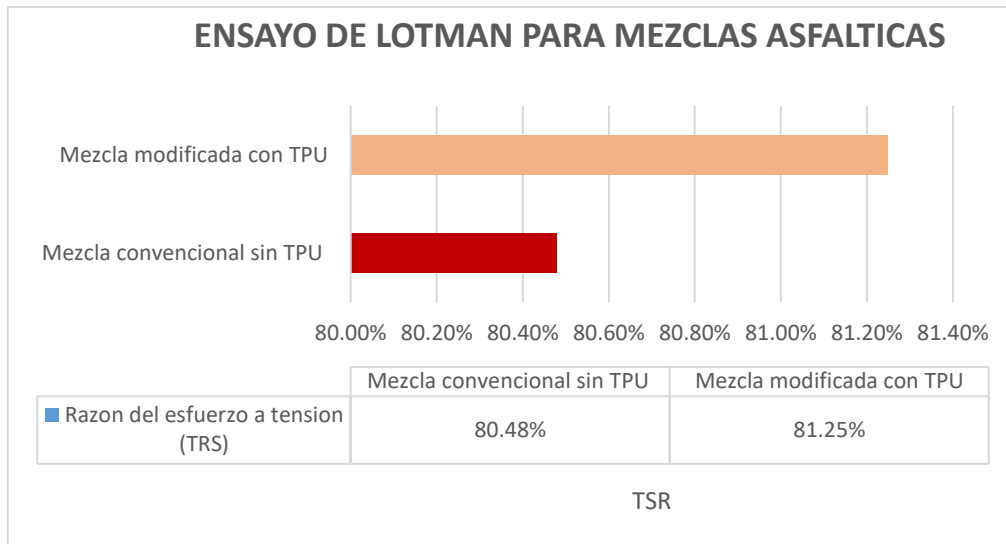


Gráfico 03: Ensayo de Lottman para tráfico ligero de mezclas asfálticas convencional vs Mezcla asfáltica con TPU

Fuente: Propia, 2024

Para tráfico Medio

El promedio de % de Razón del esfuerzo de tensión (TRS) de una mezcla convencional es de 80.48%, y para modificada con TPU un promedio de 81.25 %.

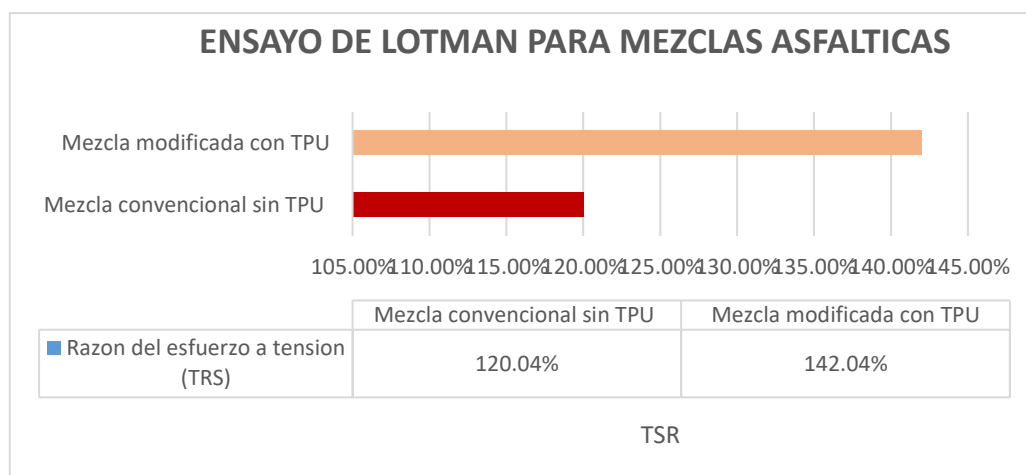


Gráfico 04: Ensayo de Lottman para tráfico ligero de mezclas asfálticas convencional vs Mezcla asfáltica con TPU

Fuente: Propia, 2024

D) Caracterización del elastómero de poliuretano termoplástico

Ensayo de Peso específico y de absorción

El peso específico del TPU es de 1.125 g/cm³ y 0.02 % de absorción

ABSORCION TPU		
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.125
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	1.126
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.126
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.02

TABLA 36: Ensayo de Absorción de TPU

Fuente: Propia, 2024

Ensayo de Granulometría

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
N.º 4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.00
N.º 8	2.360	384.00	76.8	76.8	23.20
N.º 10	2.000	116.00	23.2	100.0	0.00

TABLA 37: Ensayo de Granulometría del TPU

Fuente: Propia, 2024

Ensayo de densidad

Mediante el ensayo se obtuvo una densidad y peso específico del TPU de 1.13 gr/ cm³

Densidad del TPU:	1.13 g/cm ³
Determinación del peso específico del TPU:	1.13 g/cm ³

TABLA 38: Ensayo de Densidad del TPU

Fuente: Propia, 2024

E) Costo económico

Se realizó la evaluación económica para mezclas asfálticas convencionales y modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico para el tipo de mezclas B y C.

Para la mezcla convencional Tipo de B se obtuvo un total de 647.43 soles por m³.

MEZCLA CONVENCIONAL - MEZCLA B					
Peso unitario de M.A.C	2215	kg			
Rendimiento	236	m ³ /día		Costo por m³	647.43
INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					5.31
Operario	hh	2.75	0.0932	24.22	2.26
Peón	hh	3.00	0.1017	17.29	1.76
Oficial	hh	2.00	0.0678	19.13	1.30
MATERIALES					581.41
Asfalto PEN 60/70	gal	5.60%	32.0312	13.10	419.61
Piedra	m ³	42.55%	0.6636	68.00	45.13
Arena	m ³	49.49%	0.7309	47.00	34.35
Cemento (filler)	kg	2.36%	52.2740	0.71	36.90
Petróleo	gal		3.5820	12.68	45.42
EQUIPO					60.72
Herramientas manuales	%		5.0000	5.31	26.57
Planta de asfalto	hm	1.00	0.0339	470.80	15.96
Cargador frontal	hm	1.00	0.0339	277.12	9.39
Generador 400 kw	hm	1.00	0.0339	259.50	8.80

TABLA 39: Costos de una mezcla Convencional Tipo B

Fuente: Propia, 2024

Para la mezcla convencional Tipo de C se obtuvo un total de 657.99 soles por m³.

MEZCLA CONVENCIONAL - MEZCLA C					
Peso unitario de M.A.C	2228	kg/m ³			
Rendimiento	236	m ³ /día		Costo por m³	657.99
INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					5.31
Operario	hh	2.75	0.0932	24.22	2.26
Peón	hh	3.00	0.1017	17.29	1.76
Oficial	hh	2.00	0.0678	19.13	1.30
MATERIALES					591.97
Asfalto PEN 60/70	gal	5.70%	32.7945	13.10	429.61
Piedra	m ³	42.50%	0.6668	68.00	45.34
Arena	m ³	49.44%	0.7344	47.00	34.52
Cemento (filler)	kg	2.36%	52.5251	0.71	37.08
Petróleo	gal		3.5820	12.68	45.42
EQUIPO					60.72
Herramientas manuales	%		5.0000	5.31	26.57
Planta de asfalto	hm	1.00	0.0339	470.80	15.96
Cargador frontal	hm	1.00	0.0339	277.12	9.39
Generador 400 kw	hm	1.00	0.0339	259.50	8.80

TABLA 40: Costos de una mezcla Convencional Tipo C

Fuente: Propia, 2024

Para la mezcla Modificada Tipo de C del % óptimo de TPU, se obtuvo un total de 650.18 soles por m³.

MEZCLA MODIFICADA % ÓPTIMO TPU - MEZCLA C					
Peso unitario de M.A.C	2200	kg/m ³			
Rendimiento	236	m ³ /día		Costo por m³	650.18
INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					5.31
Operario	hh	2.75	0.0932	24.22	2.26
Peón	hh	3.00	0.1017	17.29	1.76
Oficial	hh	2.00	0.0678	19.13	1.30
MATERIALES					584.15
Asfalto PEN 60/70	gal	5.70%	32.3824	13.10	424.21
Piedra	m ³	42.50%	0.6585	68.00	44.78
Arena	m ³	46.96%	0.6887	47.00	32.37
Cemento (filler)	kg	2.36%	51.8650	0.71	36.61
TPU	kg	2.48%	0.0483	15.80	0.76
Petróleo	gal		3.5820	12.68	45.42
EQUIPO					60.72
Herramientas manuales	%		5.0000	5.31	26.57
Planta de asfalto	hm	1.00	0.0339	470.80	15.96
Cargador frontal	hm	1.00	0.0339	277.12	9.39
Generador 400 kw	hm	1.00	0.0339	259.50	8.80

TABLA 41: Costos de una Mezcla C modificada % Optimo de TPU

Fuente: Propia, 2024

Para la mezcla Modificada Tipo de C del % óptimo de TPU, se obtuvo un total de 647.75 soles por m³.

ASFALTO MODIFICADO 5% TPU - MEZCLA B					
Peso unitario de M.A.C	2220	kg/m ³			
Rendimiento	236	m ³ /día		Costo por m³	647.75
INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					5.31
Operario	hh	2.75	0.0932	24.22	2.26
Peón	hh	3.00	0.1017	17.29	1.76
Oficial	hh	2.00	0.0678	19.13	1.30
MATERIALES					581.72
Asfalto PEN 60/70	gal	5.60%	32.1035	13.10	420.56
Piedra	m ³	42.55%	0.6651	68.00	45.23
Arena	m ³	47.18%	0.6982	47.00	32.82
Cemento (filler)	kg	2.36%	52.3920	0.71	36.98
TPU	kg	2.32%	0.0456	15.80	0.72
Petróleo	gal		3.5820	12.68	45.42
EQUIPO					60.72
Herramientas manuales	%		5.0000	5.31	26.57
Planta de asfalto	hm	1.00	0.0339	470.80	15.96
Cargador frontal	hm	1.00	0.0339	277.12	9.39
Generador 400 kw	hm	1.00	0.0339	259.50	8.80

TABLA 42: Costos de una Mezcla B modificada % Optimo de TPU

Fuente: Propia, 2024

Discusiones

El objetivo de esta investigación fue evaluar la modificación de la mezcla asfáltica por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico, respecto a las propiedades físico-mecánicas de esta. En base a esto, existieron dos fases: la primera englobó la determinación del contenido óptimo de asfalto patrón, con previo estudio de caracterización de agregados, y su posterior análisis físico mecánico por medio de diferentes ensayos. La segunda etapa consistió en la evaluación de propiedades con la modificación en seco de la mezcla con TPU.

Los resultados de los ensayos de agregados permiten establecer si son aptos para la realización de la mezcla asfáltica. Sus propiedades se compararon con los parámetros dispuestos en la norma EG 2013, por medio de la cual se determinó que cumplía con todos ellos como se muestra a continuación:

AGREGADO GRUESO	ENSAYOS	EG 2013	ENSAYO
	Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	18% max	12.00%
	Abrasión los Ángeles	40% max	19.80%
	Partículas chatas y alargadas	10% max	7.51%
	Caras fracturadas	85/50	93.5 / 59.9
	Sales solubles totales	0.5% max	0.19%
	Absorción	1% max	0.85%

TABLA 43: Ensayos de agregados gruesos

AGREGADO FINO	ENSAYOS	EG 2013	ENSAYO
	Equivalente de arena	Min 60	61.00%
	Azul de metileno	8 max	1.40
	Indice de plasticidad (malla N° 40)	NP	NP
	Durabilidad (al sulfato de magnesio)	-	14.90%
	Indice de plasticidad(malla N° 200)	4 max	NP
	Sales solubles totales	0.5% max	0.20%
Absorción	0.5% max	0.49%	

TABLA 44: Ensayos de agregados finos

Respecto a los ensayos de propiedades físicas de las mezclas asfálticas, se pudo constatar que el peso unitario de la parte experimental con muestras modificadas por vía seca con el elastómero mostró un aumento directamente proporcional al aumento de contenido de TPU, similar al comportamiento de la mezcla patrón a medida que se aumentaba el contenido del ligante. Del mismo modo, el porcentaje de vacíos evidenció una reducción a medida que se aumentaba el contenido de TPU.

La mezcla patrón con tráfico ligero tuvo un peso unitario de 2.23 gr/cm² para un contenido de asfalto de 5.70%. Mientras que, la mezcla modificada con TPU para tráfico ligero, con un contenido óptimo de 2.70% de TPU, tuvo un peso unitario de 2.20 gr/cm², un tanto menor comparado con el resultado anterior descrito. Por su parte, para el tráfico medio el peso unitario

se mantuvo con un valor de 2.22 gr/cm² tanto para la mezcla patrón con un contenido óptimo de 5.60% de asfalto y para la mezcla modificada con un contenido óptimo de TPU de 2.52%. Con relación al porcentaje de vacíos, para la mezcla patrón los resultados indicaron una reducción de estos a medida que se aumentaba el contenido de asfalto, tal como se esperaba. Asimismo, en la mezcla modificada el comportamiento fue el mismo. Así pues, se tuvo que para el contenido óptimo en tráfico ligero el porcentaje de vacíos fue 3.40%, que se encontró dentro de los parámetros establecidos por la norma [22]. De igual forma, el tráfico medio tuvo 3.50% de vacíos, que también se encontró dentro de los parámetros. Para el caso de las mezclas modificadas, para tráfico ligero y medio, se obtuvieron unos contenidos de vacíos de 3.80% y 3.60%, respectivamente.

El porcentaje de vacíos es una propiedad importante dentro de la mezcla asfáltica, puesto que un bajo contenido de este indica que existe la probabilidad de que el asentamiento sea de carácter plástico durante la vida útil del pavimento. Por otro lado, un alto contenido de vacíos indica una alta permeabilidad, que a larga puede resultar en el endurecimiento del asfalto o en la segregación de la mezcla asfáltica. Bajo estos conceptos, entonces se puede afirmar que las mezclas modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico presentan resultados ideales respecto a esta propiedad, puesto que se encuentran dentro del rango de 3 y 5% exigido [22].

Otros de los puntos de estudio son las propiedades de estabilidad y flujo Marshall. Se determinó que los valores de resistencia a la máxima deformación, mediante la modificación por vía seca de las mezclas asfálticas con TPU, muestran un aumento considerable con respecto a los resultados obtenidos con el asfalto patrón. Asimismo, se precisa que el máximo asentamiento gradual se mantuvo dentro de los valores preestablecidos por la normativa peruana.

Para el tráfico ligero, la estabilidad promedio de la mezcla con asfalto PEN 60/70 fue de 1115 kg y un flujo de 4.78 mm con un contenido óptimo de 5.70%. De acuerdo con [22], la estabilidad mínima para este tipo de tráfico es de 462 kg y el asentamiento gradual admisible debe ser mayor a 2.03 mm y menor a 5.08 mm. Por tanto, los resultados de las muestras convencionales son aceptables.

Para el tráfico medio, las mezclas asfálticas sin modificaciones presentaron una estabilidad promedio de 1420 kg y un asentamiento máximo de 3.66 mm, dentro de los valores permisibles establecidos [22].

TIPO DE TRÁFICO	PROPIEDAD	CONTENIDO		EG 2013
		0.00%	2.70%	
LIGERO	Estabilidad (kg)	1115.00	1475.00	> 462
	Flujo (mm)	4.78	4.72	2.03 - 5.08

TABLA 45: Valores permisibles en Trafico Ligero

TIPO DE TRAFICO	PROPIEDAD	CONTENIDO		EG-2013
		0.00%	2.52%	
MEDIO	Estabilidad (kg)	1420.00	1900.00	> 544
	Fujo(mm)	3.66	3.94	2.03-4.06

TABLA 46: Valores permisibles en Trafico Medio

En una investigación con residuos plásticos [13], para una proporción de 6.20% del estímulo (PBR) en peso de asfalto y con un contenido de ligante óptimo de 5.40% se obtuvo una estabilidad de 1570 kg y un flujo de 3.30 mm. Entretanto, con un óptimo porcentaje de 2.35% de plásticos mixtos en base al peso de asfalto, que representó un 5.70% de la mezcla se logró una estabilidad de 1445 kg y 4.10 mm de asentamiento máximo.

Bajo esa misma línea, otro estudio [14] con caucho granulado de dos tipos (A y B) en proporciones en peso del ligante y asfalto convencional PEN 50/70 en un contenido óptimo de 6.20% evidenciaron resultados de estabilidad de 1121.70 kg y 1019.70 kg (11 kN y 10 kN), respectivamente. Mientras que, el flujo Marshall fue de 2.15 mm y 2.05 mm para la mezcla con caucho granulado tipo A y B, en el mismo orden. En contraste con lo desarrollado en [15], respecto a los ensayos de estabilidad y flujo para mezclas modificadas por vía seca con caucho granulado de tamaño de 2.36 mm, en proporciones de 1, 2 y 4% en peso de la mezcla; la estabilidad alcanzada fue de 18747.70 kg (18.12 kN), 1638.70 kg (16.07 kN) y 1346.00 kg (13.20 kN), correspondientemente. Mientras que, el asentamiento máximo fue de 4.07 mm, 3.89 mm y 4.66 mm, de acuerdo con los porcentajes indicados.

Otras mezclas analizadas son las que se modificaron con polietileno residual de baja densidad (LDPE) y dos tipos de agregados (convencionales y aquellos provenientes de concreto reciclado). Se obtuvo entonces, con un 7.00% de LDPE, estabilidades de 1631.60 kg y 1570.40 kg (16 y 15.4 kN) y flujos de 2.95 y 3.00 mm, de acuerdo con los tipos de agregados mencionados respectivamente.

En consecuencia, de acuerdo con los requerimientos de tráfico medio, se pudo determinar que el elastómero de poliuretano termoplástico como modificador por vía seca de las mezclas asfálticas presenta un mejor comportamiento que las mezclas con adiciones de residuos plásticos, el polietileno residual de baja densidad y el caucho granulado, respecto a la propiedad

de estabilidad, que para este estudio fue de 1900.00 kg con un porcentaje óptimo de TPU de 2.52%. Sin embargo, fue posible notar que el caucho granulado, por ser de propiedades similares al TPU y pertenecer a la misma familia de polímeros, presentó con valores cercanos de estabilidad con 1% de modificación.

Los valores de flujo promedio de las mezclas asfálticas modificadas con TPU, para el tráfico medio, fue de 3.94 mm y resultó ser mayor que los otros polímeros ya descritos anteriormente. No obstante, sigue manteniéndose dentro de los parámetros establecidos por la normativa en [22].

Por otro lado, con relación al tráfico ligero, la estabilidad promedio de la mezcla modificada con TPU (1475 kg) fue menor al de las mezclas con adiciones de PBR, el polietileno residual de baja densidad y el caucho granulado de tamaño 2.36 mm. En tanto que, el asentamiento máximo obtenido fue de 4.72 mm y para un contenido óptimo de TPU de 2.70%. Ambas propiedades se encuentran dentro de los límites plasmados en [22].

Otras propiedades desarrolladas en esta investigación fueron la resistencia a la segregación por acciones abrasivas y la tracción indirecta de muestras acondicionadas y no acondicionadas a la humedad.

El ensayo de Cántabro mostró una reducción del 15.79% del valor de desgaste (3.20%) con la modificación por vía seca con TPU en comparación con el valor obtenido con la mezcla convencional para tráfico ligero que fue de 3.85%. De la misma manera, para el caso del tráfico medio, el porcentaje de desgaste con la intervención del elastómero disminuyó en un 18.11%, puesto que el desgaste de mezcla convencional fue de 5.08%. En contraste con [13], la mezcla modificada con 2.35% de plástico mixto presentó una disminución de 0.46% de desgaste con respecto a la mezcla convencional, alcanzando un valor de 3.88%. Esta tendencia indica una mayor resistencia a la segregación y un mejor comportamiento frente a los efectos del tráfico.

El ensayo Lottman modificado TSR abarcó la tracción indirecta a muestras secas y sumergidas. Para las mezclas asfálticas con asfalto PEN 60/70 en proporción de 5.70% del total y sometidas a tráfico ligero, presentaron una fuerza tensible de 2.94 kPA y 3.66 kPA, en el mismo orden. Mientras que, con 2.70% de elastómero en peso de agregados en la mezcla asfáltica, se obtiene un valor reducido en la resistencia a la tracción indirecta promedio, teniendo valores de 2.19 y 2.70 kPA, para muestras sumergidas y secas, correspondientemente. El mismo comportamiento se demuestra con las mezclas acondicionadas para tráfico medio, pues se tiene que para las mezclas convencionales la fuerza tensible fue de 4.25 y 3.54 kPA; por el contrario, las mezclas modificadas con TPU alcanzaron 3.64 y 2.56 kPA de fuerza tensible, para muestras sumergidas y secas, en el mismo orden.

No obstante, particularmente en cada tipo de tráfico, se observa un crecimiento de la razón de esfuerzo a tensión entre las muestras secas y las muestras acondicionadas. Esto es que, en el caso del tráfico ligero, la razón de esfuerzo de la mezcla modificada supera en 0.77% a la razón de la mezcla óptima convencional. Del mismo modo, en el contexto del tráfico medio, existe una variación del 22% respecto a la mezcla convencional.

En un estudio [18] se evaluó el daño por humedad de mezclas SMA modificadas con el polímero caucho granulado. Los resultados indicaron que la relación de resistencia a la tracción indirecta presentó un valor de 119.00%; es decir, no existió daño por humedad. En contraste a esto, la mezcla modificada con TPU, en el caso de tráfico medio tampoco evidenció el daño por humedad, pues se obtuvo un valor de TSR de 142.04%. Además, se reconoció que tanto las mezclas convencionales como aquellas modificadas por vía seca con TPU presentaron un TSR superior a 80%; es decir, el estímulo no afectó negativamente y cumplió con el requisito mínimo establecido.

Los resultados obtenidos de la caracterización del elastómero de poliuretano termoplástico permitieron contrastar los valores mostrados en la ficha técnica del producto. Respecto a la densidad del material, se obtuvo en laboratorio un valor 1.13 gr/cm³, que representa una variación del 5.83% en base al valor teórico manejado. Asimismo, fue posible apreciar tamaños de granos inferiores a 4.75 mm, pero superiores a 2 mm; es decir, el material se retuvo en las mallas N° 8 y 10; y presentó una absorción casi nula, con valores promedio de 0.02%.

Conclusiones

- Se analizaron las propiedades físicas de las mezclas asfálticas convencionales con asfalto PEN 60/70 y modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico.

El peso unitario de las mezclas convencionales evidenció un crecimiento a medida que se aumentaba el contenido de asfalto; no obstante, el porcentaje de vacíos mostró una relación inversamente proporcional al aumento del ligante. Todos estos resultados eran predecibles.

Para el caso de la mezcla modificada con TPU el comportamiento en ambos casos fue similar, con un aumento del peso unitario y una reducción de los vacíos a medida que se incrementaba la proporción del estímulo. Esto se fundamenta en las características del polímero, cuya incorporación mejora la cohesión y asegura una compactación más efectiva, con una densidad general superior y una disminución de la porosidad de la mezcla.

- Los valores de estabilidad de las mezclas modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico fueron superiores tanto al valor mínimo establecido por la normativa peruana, así como a los valores obtenidos de las muestras del grupo control.

Para el tráfico ligero, la resistencia a la máxima carga de deformación de la mezcla modificada fue de 1475 kg; mientras que, la de la mezcla convencional fue de 1115 kg. En el caso del tráfico medio, la estabilidad Marshall de la mezcla modificada fue superior en 480 kg respecto a la mezcla convencional.

El hecho de que los valores de estabilidad de las mezclas experimentales sean mayores que los del grupo control con asfalto convencional PEN 60/70 representa un mejor comportamiento frente al ahuellamiento; es decir, una mayor resistencia a deformaciones permanentes bajo carga; así como también, indica una mayor resiliencia frente a cambios de temperatura y condiciones climáticas adversas.

- El flujo Marshall de las mezclas modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico se mantuvo dentro del rango aceptable establecido por la normativa peruana.

En contraste con las muestras del grupo control, para el tráfico ligero, el asentamiento máximo de la mezcla modificada (4.72 mm) resultó ser relativamente menor que el de la mezcla convencional (4.78 mm), lo cual indica una rigidez ligeramente mayor y una mayor resistencia a deformaciones bajo condiciones de carga.

Sin embargo, en el caso del tráfico medio, la mezcla modificada con TPU presentó un valor promedio de flujo superior al promedio de la mezcla patrón, los cuales tomaron valores de 3.94 mm y 3.66 mm, respectivamente. Este aumento indica que existirá una mayor capacidad de deformación, lo que podría resultar beneficioso puesto que permitirá absorber las tensiones generadas por cargas más elevadas.

- El ensayo Cántabro permitió determinar que, respecto al tipo de tráfico ligero, con proporciones de 0% y 2.70% de adición de elastómero de poliuretano termoplástico el desgaste fue un promedio de 3.20% y 3.85%, respectivamente. De la misma manera, para el caso del tráfico medio, para 0% y 2.52% de adición de elastómero de poliuretano termoplástico el desgaste fue de 5.08% y 4.16%, correspondientemente.

Estos resultados demuestran que la mezcla modificada presenta una mayor cohesión y adhesión entre todos sus componentes debido a que los polímeros, al caracterizarse por ser materiales viscoelásticos, aportan propiedades que permiten que la mezcla mantenga su integridad frente a variaciones de temperatura y a ciclos de carga.

- A través del ensayo de Lottman modificado TSR permitió establecer que las muestras modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico presentaron una mayor razón del esfuerzo a tensión (TSR) que las mezclas convencionales promedio, respecto a tracción indirecta medida a los especímenes no acondicionados. Además, los resultados superan el 80% de TSR e indican que no existe una reducción significativa en la fuerza tensible de las muestras húmedas en comparación con las secas, que a su vez se resume en una menor vulnerabilidad al daño por humedad.
- Se caracterizó las propiedades físico-mecánicas del TPU determinando de esta forma algunas de sus propiedades que este presenta para un correcto control de calidad. Presentó un máximo tamaño nominal de 8" (2.360 mm), peso específico de 1.13 gr/cm³ absorción de 0.02 % y densidad de 1.13 gr/cm. Además, no se caracterizaron ensayos adicionales para la determinación de otras propiedades debido a que fueron otorgadas de la Ficha Técnica que este presenta.
- El comparativo económico de costo unitario de producción de mezclas asfálticas permitió determinar que, para aplicaciones de tráfico medio, los costos de producción con intervención del elastómero son comparables, con variaciones mínimas respecto a la mezcla convencional, puesto que la primera implica un gasto de s/ 647.80 por metro cúbico y la segunda en mención s/ 647.40. No obstante, en el contexto de tráfico ligero, la mezcla asfáltica modificada con TPU presenta una reducción de s/ 7.80 por metro

cúbico, atribuible a su menor peso unitario con un contenido óptimo del elastómero que es de 2.70%. Bajo el esquema de una economía a gran escala, la modificación por vía seca con TPU optimiza los costos producción, transporte y mejora en las propiedades mecánicas y de durabilidad, lo que puede resultar en menores gastos de mantenimiento a largo plazo.

Recomendaciones

- Debido a que el asfalto PEN 60/70, de acuerdo con la normativa peruana, es factible de utilizar en zonas costeras donde la temperatura media promedio anual se encuentre dentro del rango $15^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$, se recomienda la modificación de mezclas asfálticas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico, utilizando ligantes asfálticos con diferente grado de penetración al empleado en esta investigación. Ello permitirá extender el rango de aplicación a zonas con temperaturas diferentes a las mencionadas, con asfalto PEN 40/50, 80/100 y 120/150, según sea el caso.
- Se recomienda investigar más a fondo cómo diferentes proporciones del elastómero afectan las propiedades de durabilidad de la mezcla. Es decir, además de los ensayos Marshall y Cántabro, sería conveniente aplicar Rutting Test o ensayo de rueda cargada de Hamburgo para evaluar la resistencia a la deformación permanente y el ahuellamiento. Esto permitirá identificar la proporción óptima que maximice el rendimiento sin comprometer la economía.
- Sería conveniente realizar un análisis de ciclo de vida de la mezcla asfáltica modificada con el elastómero, lo cual permitirá evaluar el impacto ambiental comparando su huella de carbono y sostenibilidad en comparación con mezclas asfálticas convencionales. El estudio puede incluir etapas desde la producción del polímero hasta su aplicación en obra y su vida útil, de tal manera que se puedan considerar también los beneficios ambientales a largo plazo.
- En esta investigación se consideraron dos tipos de tráfico: ligero y medio. Las variaciones que se generan en laboratorio al simular estos tipos de tráfico dependen del número de golpes que recibe la mezcla durante la etapa de compactación, que a su vez tiene un efecto sobre la porosidad de la briqueta. Se recomienda llevar a cabo la modificación por vía seca con el elastómero de poliuretano termoplástico para el tipo de tráfico pesado y verificar si se puede extender la aplicación.

Referencias

- [1] N. Abdul Hassan et al., “Engineering properties of crumb rubber modified dense-graded asphalt mixtures using dry process”, *IOP Conf. Series: Earth Environmental Sci.*, vol. 220, p. 012009, febrero de 2019. Accedido el 7 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/220/1/012009>
- [2] Z. Selsal, A. S. Karakaş y B. Sayin, “Effect of pavement thickness on stress distribution in asphalt pavements under traffic loads”, *Case Stud. Construction Mater.*, abril de 2022, art. n.º e01107. Accedido el 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01107>
- [3] Y. Ye, G. Li, C. Zhuang, S. Zhao y H. Guo, “Study on fatigue damage evolution and model prediction of asphalt pavement in the end-stage of service”, *Case Stud. Construction Mater.*, agosto de 2023, art. n.º e02377. Accedido el 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02377>
- [4] M. D. Mercedes Tello, “Modelo de gestión para mantenimiento de pavimentos flexibles en vías urbanas del distrito de Chiclayo”, Tesis de maestría, Univ. Nac. Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2019. Accedido el 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/5914>
- [5] K. Zhang, W. Xie y Y. Zhao, “Permanent deformation characteristic of asphalt mixture under coupling effect of moisture, overload and loading frequency”, *Construction Building Mater.*, vol. 272, p. 121985, febrero de 2021. Accedido el 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121985>
- [6] INEI, “FLUJO VEHICULAR A NIVEL NACIONAL AUMENTÓ 2,9% EN FEBRERO DE 2023”, Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, N° 058, 21 de abril de 2023.
- [7] W. Wang, L. Wang, H. Xiong y R. Luo, “A review and perspective for research on moisture damage in asphalt pavement induced by dynamic pore water pressure”, *Construction Building Mater.*, vol. 204, pp. 631–642, abril de 2019. Accedido el 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.167>
- [8] R. Torres, "TRANSPORTE, COMUNICACIONES Y SEGURIDAD ALIMENTARIA," *Debate Agrario*, (47), pp. 57-75, 2015. Available: <http://usat.lookproxy.com/scholarly-journals/transporte-comunicaciones-y-seguridad-alimentaria/docview/1779961687/se-2>.
- [9] S. MINAYA y A. ORDOÑEZ, DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS, 2a ed. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2006.

- [10] L. P. Thives y E. Ghisi, “Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review”, *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 473–484, mayo de 2017. Accedido el 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.087>
- [11] A. R. Conference, *Proceedings Asphalt Rubber 2003 Conference*.
- [12] P. N. A. Asare, F. A. Kuranchie, E. A. Ofosu y F. Verones, “Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana”, *Cogent Environmental Sci.*, vol. 5, n.º 1, p. 1576373, enero de 2019. Accedido el 7 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/23311843.2019.1576373>
- [13] P. Jitsangiam, K. Nusit, P. Teeratitayangkul, G. Ping Ong y C. Thienchai, “Development of a modified Marshall mix design for Hot-mix asphalt concrete mixed with recycled plastic based on dry mixing processes”, *Construction Building Mater.*, vol. 404, p. 133127, noviembre de 2023. Accedido el 8 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133127>
- [14] I. Rodríguez-Fernández, F. Tarpoudi Baheri, M. C. Cavalli, L. D. Poulikakos y M. Bueno, “Microstructure analysis and mechanical performance of crumb rubber modified asphalt concrete using the dry process”, *Construction Building Mater.*, vol. 259, p. 119662, octubre de 2020. Accedido el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119662>
- [15] E. H. Tan, E. M. M. Zahran y S. J. Tan, “The Optimal Use of Crumb Rubber in Hot-Mix Asphalt by Dry Process: A Laboratory Investigation Using Marshall Mix Design”, *SSRN Electron. J.*, 2022. Accedido el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4198535>
- [16] S. Purohit, M. Panda y A. Kumar Das, “Performance of waste polyethylene modified bituminous paving mixes containing reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate”, *Construction Building Mater.*, vol. 348, p. 128677, septiembre de 2022. Accedido el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128677>.
- [17] S. P. Muñoz Perez, L. M. Hoyos Diaz y K. D. C. Puicon Herrera, “Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria”, *Infraestruct. Vial*, vol. 23, n.º 41, pp. 11–19, febrero de 2021. Accedido el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15517/iv.v23i41.44410>
- [18] F. Morea, R. Nosetti, L. Gonzalez y A. Sánchez, “Performance analysis of non-conventional Stone Mastic asphalt (SMA) elaborated with crumb rubber bitumen or by mean of glass macrofibers addition”, *Construction Building Mater.*, vol. 400, p. 132654, octubre de

2023. Accedido el 26 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132654>

[19] MANUAL DE CARRETERAS: SECCION DE SUELOS Y PAVIMENTOS, Ministerio de Transporte y Comunicaciones -2014

[20] Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfálticas en Caliente. Asphalt Inst., 2001.

[21] M. Velázquez, MANUAL DEL ASFALTO de THE ASPHALT INSTITUTE. Bilbao: URMO, S. A. EDICIONES ESPAATERO. 10, 1972.

[22] MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCION, Ministerio de transportes y Comunicaciones-2013

[23] H.A. Rondon y F.A. Reyes, Pavimentos: Materiales, construcción y diseño, 1a ed. Bogota: ECOE Ediciones, 2015.

[24] Universidad Mayor de San Simón, MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS. Cochabamba: UMSS, 2004.

[25] A. Montejo, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, 3a ed. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2006.

[26] H. L. Arenas Lozano, Tecnología del cemento asfáltico, 5a ed. España: Acad. Española, 2018.

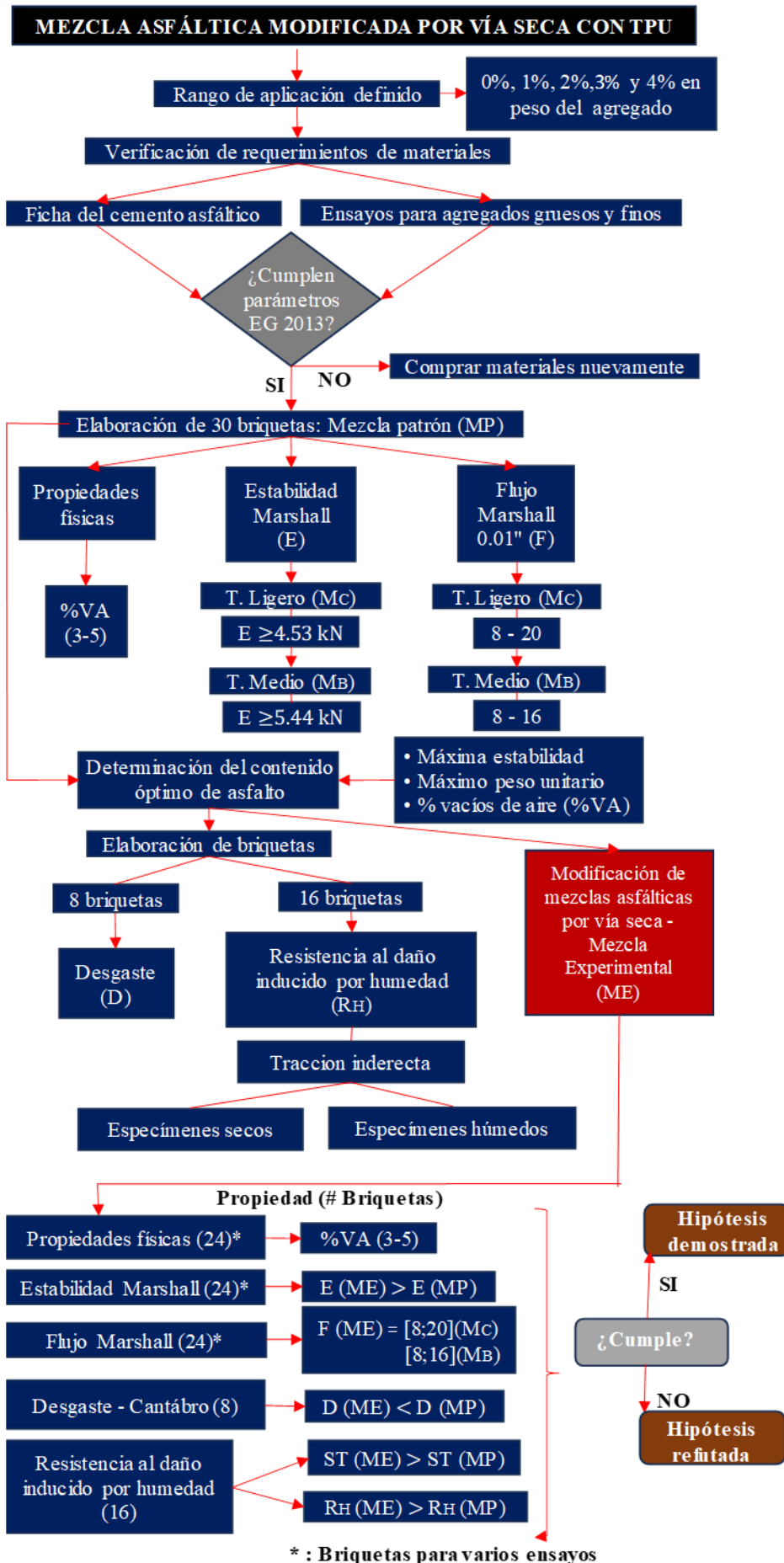
[27] R. O. Ebewele, Polymer Science and Technology. CRC Press, 2000. Accedido el 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1201/9781420057805>

[28] MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES, Ministerio de transportes y Comunicaciones-2016

[29] Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate, ASTM D4791-19, American Society for Testing and Materials, Pensilvania, 2023.

[30] Standard Method of Test for The Qualitative Detection of Harmful Clays of the Smectite Group in Aggregates Using Methylene Blue, AASHTO TP 57, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C., 2006.

Anexos



MATRIZ DE CONSISTENCIA								
Proyecto de Investigación:								
Plantamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Unidad de medida	Rango de Aplicación	Metodología	
¿Qué efectos sobre las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas produce la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico?	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas modificadas mediante vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las propiedades físicas como peso específico aparente, peso unitario, peso específico teórico máximo y porcentaje de vacíos de mezclas asfálticas convencionales y modificadas por proceso seco con TPU en peso de agregados. • Medir la resistencia a la máxima carga de deformación de una mezcla asfáltica convencional y de mezclas modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico. • Comparar el asentamiento gradual sin agrietamiento de una mezcla asfáltica convencional con mezclas asfálticas modificadas con elastómero de poliuretano termoplástico mediante el proceso seco. • Contrastar la resistencia a la segregación por acciones abrasivas de una mezcla asfáltica convencional con la de mezclas modificadas por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico en diferentes contenidos en peso de agregados. • Analizar la susceptibilidad al daño por humedad de la mezcla asfáltica convencional y de mezclas asfálticas modificadas por proceso seco con elastómero de poliuretano termoplástico. 	La modificación de la mezcla asfáltica por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico permite la mejora de las propiedades físico-mecánicas de esta.	Variable independiente: Modificación por Vía seca con Elastómero de Poliuretano Termoplástico	Cantidad de TPU como agregado fino	% en peso de agregados	0%, 1%, 2%, 3% y 4% del peso de agregados	<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El fin perseguido: Aplicada • La metodología de estudio: Experimental • El tipo de datos analizados: Cuantitativa <p>Nivel de Investigación: El nivel de la investigación es Explicativo</p> <p>Diseño de la Investigación: El diseño es Experimental porque se manipula la variable independiente mediante los indicadores, para evaluar los efectos sobre la variable dependiente.</p>	
			Variable dependiente: Propiedades Físico – Mecánicas de la mezcla asfáltica	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida		Método de medición
			Propiedades físicas	Peso específico aparente y peso unitario	gr/cm ³	Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca MTC E 514		
				Porcentaje de vacíos	%	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas MTC E 505		
				Peso específico teórico máximo	gr/cm ³	Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas MTC E 508		
			Propiedades mecánicas	Estabilidad Marshall	N	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall MTC E 504		
				Fluencia	mm	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall MTC E 504		
				Resistencia al desgaste	%	Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cantabro de pérdida por desgaste MTC E 515		
				Resistencia al daño inducido por humedad	KPa	Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad MTC E 522		
			Variables Intervinientes:	Unidad de medida	Valor	Método de medición		
Penetración del asfalto	mm	60-70	Método de ensayo de penetración MTC E 304					
Tamaño de agregados	mm	Mac 2	Análisis granulométricos de agregados gruesos y finos MTC E 204					
Tamaño de granos de TPU	mm	Entre mallas N° 10 y N°4	Análisis granulométricos de agregados gruesos y finos MTC E 204					



TECHNICAL DATA SHEET

LARIPUR 8025 LARIPUR 8025 EG

GENERAL DESCRIPTION

LARIPUR 8025/8025 EG is a polyester-based TPU. The standard version is designed for injection moulding e.g. of sport soles, wheels, screen elements, masks and technical items while the extrusion grade (EG) one for the manufacturing of hoses, profiles, transmission belts and films.

TYPICAL CHEMICAL- PHYSICAL PROPERTIES

Parameter	Typical Value	Unit	Method
Density	1.20	gr/cm ³	ISO 2781
Shore Hardness	84	A	ISO 7619-1
Abrasion Loss	35	mm ³	ISO 4649
Tensile Modulus:	50%	4.0	N/mm ²
	100%	5.2	
	300%	14.8	
Tensile Strength	58.2	N/mm ²	ISO 22654
Elongation at Break	570	%	ISO 22654
Tear Strength	83	N/mm	ISO 34-1
Vicat Softening Point	90	°C	ISO 306
Compression set:	70h/23°C	22	%
	22h/70°C	40	

The above reported data do not constitute sales specifications for the material in object.

The properties reported in this Technical Data Sheet are determined on annealed, injection moulded specimens and represent the average of values obtained from a significant number of production lots.

The international standards above indicated are intended as a reference for the execution of the relative tests, whereas the choice of available options and any possible variation are detailed in our respective internal standards.

The informations reported in this Technical Data Sheet are based on our current best knowledge, however, even if we guarantee the quality consistency of our LARIPUR products, we reserve the option to periodically issue updated versions of this Technical Data Sheet and respective sale specifications as well.

The extrusion grade LARIPUR are identified by a specific end code (EG, EA, AE, DP, EM, EF, EP, U, EUV or HFM). This code has to be indicated when ordering those grades.


STORAGE AND STABILITY

LARIPUR 8025/8025 EG is supplied in regular pelletized form and packaged in 25 kg bags or 500 kg and 1000 kg octabins.

LARIPUR 8025/8025 EG must be stored in its original and sealed containers and kept in a dry and well-ventilated place, avoiding the direct sun radiation.

The shelf life of LARIPUR 8025/8025 EG is of six months from the date of delivery to the final customer, if stored in its original sealed packaging and in proper conditions.

SAFETY

The product is not considered dangerous, nevertheless we recommend to read the Material Safety Data Sheet before handling.

PROCESSING RECOMMENDATIONS

Before processing, material needs to be dried at 80-90°C for 3 hours, preferably using a dehumidifying drier fed by air with a dew point lower than -30°C.

Suggested moulding temperature profile:

Zone	Temperature
Zone 1	180°C
Zone 2	185°C
Zone 3	190°C
Nozzle	185°C

Suggested extrusion temperature profile:

Zone	Temperature
Zone 1	185°C
Zone 2	190°C
Zone 3	195°C
Zone 4	190°C
Adapter	185°C
Die	180°C

Being affected by the type of machine used, processing conditions and downstream equipment, the suggested temperature profiles has to be considered as just indicative.

Edition 3 – 03/2019

INFORMEN° LEM USAT 042-2024-II

FECHA: 23 de Octubre 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Yanina Lizbeth Girón Villarreal

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Peso Específico y absorción de agregado grueso y fino.
- Resistencia al desgaste de los agregados.
- Sales solubles.
- Límites líquido y plástico.
- Análisis Granulométrico de agregados.
- Equivalente de arena.
- Sulfato de magnesio para agregados gruesos y finos.
- Chatas y alargadas.
- Caras fracturadas.
- Azul metileno.
- Densidad del Tpu
- Granulometría del Tpu
- Peso específico del Tpu
- Ensayo Rice.
- Ensayo de método de Marshall.
- Ensayo de Lotman (TRS).
- Ensayo de Cántabro.



Henry
Rivadeneira
Oblinas
Tec. Laboratorio
USAT



Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental





Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Junio del 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Agregado fino - Cantera Tres Tomas - Cantera la Victoria

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Pe	(g)	1017.9	1017.9
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	709.43	709.43
3.- Peso del Agua	(g)	308.45	308.45
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	707.13	706.83
5.- Peso del Frasco	(g)	209.43	209.43
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.597
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.610
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.631
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.49

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Agregado grueso - Tres Tomas-Cantera La Victoria

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	4243	4243
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	4279	4279
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del can	(g)	3405	3405
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2525	2525

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.419
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.440
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.470
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.85

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT Universidad Católica
Sede Trujillo - Tarma





Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión Chiclayo, 17 de Junio del 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

I.- Datos.

1.- Peso del Tpu + Peso del Frasco+ Peso del Agua	(g)	758.2	758.2
2.- Peso del TPU Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	702.43	702.43
3.- Peso del Agua	(g)	55.77	55.77
4.- Peso del Tpu Secado al Horno+ Peso del Frasco	(g)	702.33	702.33
5.- Peso del Frasco	(g)	202.43	202.43
6.- Peso del Tpu Secada al Horno	(g)	500	500
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.125
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	1.126
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.126
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.02



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
Universidad Católica
Lambayeque


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
LAMBAYEQUE
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 17 de Junio del 2024

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Cantera Tres Tomas
Cantera La Victoria

Muestra : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	19.8
% de uniformidad	%	0.4

Requerimiento: 40 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry
Rivas Obliús
Tec. Laboratorio
USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Yanina Lizbeth Girón Villarreal
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 17 de junio del 2024

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA: NTP 339.152 / USBR E - 8

Canteras : Tres Tomas - La Victoria
Muestra : Arena

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1950
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.20

OBSERVACIONES :

- 1) Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004:1993)



Henry Riu deneyru Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Tesista : Yanina Lizbeth Girón Villarreal
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 17 de Junio del 2024

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

<u>Canteras</u> : Tres Tomas - La Victoria		
<u>Muestra</u> : Piedra		
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1887
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.19

OBSERVACIONES:

- 1) Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004:1993)


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO



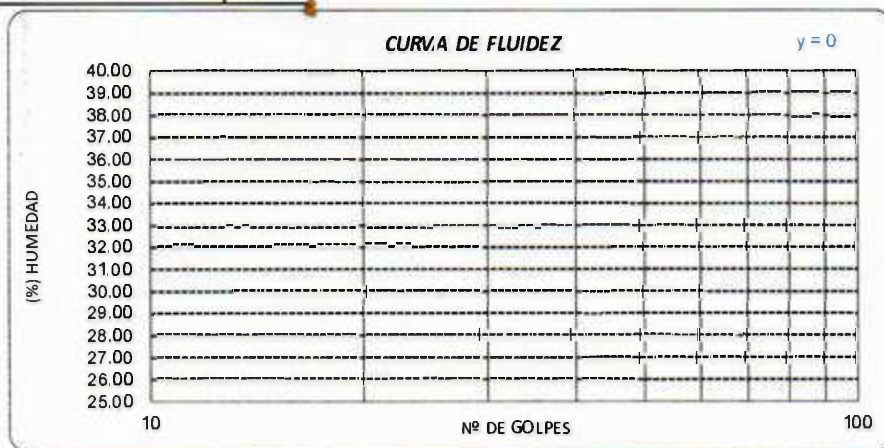
Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de ensayo : Chiclayo 17 de Junio del 2024

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo


NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo.	Limite líquido			Limite Plástico		
	1	2	3	4		
N° de tarro						
N° de golpes	35	25	12			
Tarro + suelo húmedo	37.55	35.6	33.42	33.42		
Tarro + suelo seco	37.55	35.6	33.42	33.42		
Agua	0	0	0	0		
Peso del tarro	17.75	18.24	18.76	17.84		
Peso del suelo seco	19.8	17.36	14.66	15.58		
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00		

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Limite Líquido	0.00
Limite Plástico	0.00
Índice de Plasticidad	0.00



Observaciones: No presenta plasticidad


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

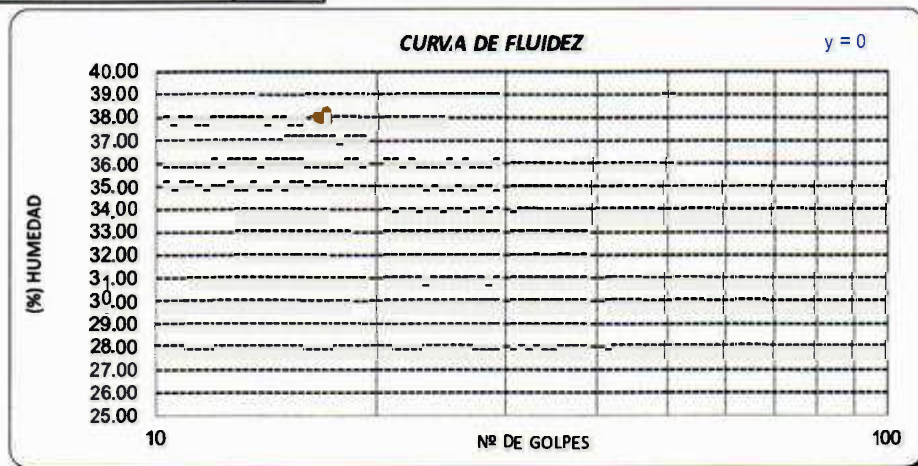
Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
 Escuela : Escuela de Ingenieria Civil Ambiental
 Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de ensayo : Chiclayo 17 de Junio del 2024

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	1	2	3	4	5
N° de tarro	1	2	3		
N° de golpes	35	25	12	X	X
Tarro+ suelo húmedo	32.35	36.03	32.94	32.94	
Tarro+ suelo seco	32.35	36.03	32.94	32.94	
Agua	0	0	0	0	
Peso del tarro	17.75	18.24	18.76	17.84	
Peso del suelo seco	14.6	17.79	14.18	15.10	
Porcentaje de humedad	0.00	0.00	0.00	0.00	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	0.00
Límite Plástico	0.00
Índice de Plasticidad	0.00



Observaciones: No presenta plasticidad


 Henry Riuandenegra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



ANALISIS GRANULOMETRICO DEL TPU

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"


MATERIAL : Elastomero de poliuretano termoplastico

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal


DATOS DE DISEÑO

TAMAÑO MÁX: 4"
Peso inicial seco : 500 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Nº 4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.00	
Nº 8	2.360	384.00	76.8	76.8	23.20	
Nº 10	2.000	116.00	23.2	100.0	0.00	Observación:
Nº 16	1.190	0.00	0.0	100.0		
Nº 30	0.600	0.00	0.0	100.0		
Nº 40	0.425	0.00	0.0	100.0	0.00	
Nº 50	0.300	0.00	0.0	100.0		
Nº 80	0.177	0.00	0.0	100.0	0.00	
Nº 100	0.150	0.00	0.0	100.0		
Nº 200	0.075	0.00	0.0	100.0	0.00	
< Nº 200	FONDO	0.00	0.0	100.0		



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SOPORTE CONSTRUCTIVO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Yanina Lizbeth Giron Villarreal
 Escuela : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Junio del 2024

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
 Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena
 Cantera : Tres Tomas -La Victoria

I.- DATOS

MUESTRAN°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N°4	N°4	N°4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	8.10	7.80	7.90
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.90	4.80	4.70
EQUIVALENTE DE ARENA	60.49 %	61.54 %	59.49 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	61 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Minimo : 60% Minimo			

OBSERVACIONES:

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Ribadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



TESISTA : Giron Villarreal Yanina Lizbeth
ESCUELA : Escuela de Ingenieria Civil Ambiental
TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

Ubicación : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 17 de Junio del 2024

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas - La Victoria
Muestra : Piedra chancada

I .- DATOS:

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	0.0
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	7.1
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	2.9
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	2.0
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	2.0
9.5 mm	4.75 mm	

II .- RESULTADO:

DESGASTE TOTAL	(%)	12.0
----------------	-----	------

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

TECNICO DE LABORATORIO



TESISTA : Giron Villarreal Yanina Lizbeth
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 17 de Junio del 2024

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas-La Victoria
Muestra : Arena gruesa

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	1.8
Nº 4 4.75 mm	Nº 8 2.36 mm	2.2
Nº 8 2.36 mm	Nº 16 1.18 mm	2.0
Nº 16 1.18 mm	Nº 30 600 µm	2.2
Nº 30 600 µm	Nº 50 300 µm	2.1
Nº 50 300 µm	Nº 100 150 µm	2.1

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	14.9
-----------------------	-----	------

OBERVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DEL TPU

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL: Elastomero de poliuretano termoplástico

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Muestra	25	gr
Volumen inicial	0	cm ³
Volumen final	22.1	cm ³
Temperatura	29	°C

Densidad del TPU:	1.13 g/cm ³
Determinación del peso específico del TPU:	1.13 g/cm ³

Yanina Lizbeth Giron Villarreal
Téc. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Testa : Yanina Lizbeth Girón Villarreal
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Perú
Fecha de emisión : Jun-24
Ensayo : Chatas y alargadas **Cantera:** Tres Tomas La Victoria

AGREGADO GRUESO

PASA Tamiz	RETENIDO Tamiz	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que pasa	Peso Retenido	Chatas y alargadas	% Corregido
3"	76.2	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.7	65.40	65.40	34.60	654.00	50.50	5.05
3/8"	8.75	34.60	100.00	0.00	346.00	24.60	2.46
FONDO		0.00				TOTAL	7.51

	Pulg	mm
Tamaño máximo	3/4"	38.1
Tamaño máximo nominal	1/2"	25.40

Peso Total de la muestra	grs.	1000.00
Partículas chatas y alargadas	%	7.51

Henry Pava de la Cruz Obispo
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT

 TECNICO BI



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Yanina Lizbeth Girón Villarreal
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Perú
Fecha de emisión : Jun-24
Ensayo : CarasFracturadas **Cantera** : Tres Tomas
 La Victoria

a.- Partículas con una cara fracturada

PASA Tamiz	RETENIDO Tamiz	A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E C x D
11/2"	1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	1/2"	653.80	615.90	94.20	65.38	61.59
1/2"	3/8"	346.20	318.80	92.09	34.62	31.88
FONDO		1000.00			100.00	93.47

Peso Total de la muestra (g)	1000.00
Partículas con una cara fracturada (%)	93.47

a.- Partículas con dos o mas caras fracturadas

PASA Tamiz	RETENIDO Tamiz	A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E C x D
11/2"	1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	1/2"	653.80	285.20	43.62	65.38	28.52
1/2"	3/8"	346.20	313.70	90.61	34.62	31.37
FONDO		1000.00			100.00	59.89

Peso Total de la muestra (g)	1000.00
Partículas con una cara fracturada (%)	59.89

- A = PESO MUESTRA g.
- B = PESO DE MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS g.
- C = PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS %.
- D = PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL %.
- E = PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS.

Henry Rivasdeneyra Obliuas
 Tec. Laboratorio USAT





Tesista : Yanina Lizbeth Girón Villarreal
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Perú
Fecha de emisión : Jun-24

AZUL DE METILENO
 (NORMA: AASHTO TP 57)

REFERENCIA DE LA MUESTRA

CANtera : Tres Tomas -Cantera La Victoria
 APLICACIÓN : ASFALTO

MUESTRA M-01

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
	Cada	NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	1.4	-	8
		7.0	5.0	1.4		

RESULTADOS PROMEDIOS : 1.4

FORMULA DE APLICACIÓN

$$AM = C_{sol} / P_{ftnos}$$


 Henry Rivas Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patron

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

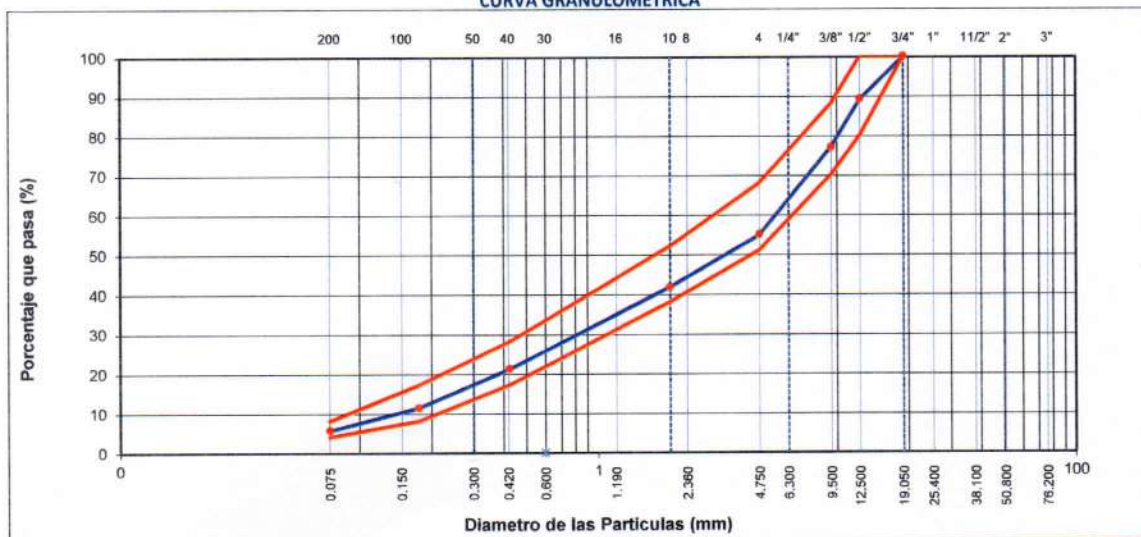
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filler)	3%
TPU	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0.00			100.00	100	
1/2"	12.500	647.47	10.8	10.8	89.21	80 100	
3/8"	9.500	731.80	12.2	23.0	77.01	70 88	
1/4"	6.350	670.25	11.2	34.2			
Nº 4	4.750	654.64	10.9	45.1	54.93	51 68	
Nº 8	2.360	539.47	9.0	54.1			
Nº 10	2.000	249.58	4.2	58.2	41.78	38 52	Observación:
Nº 16	1.190	460.01	7.7	65.9			
Nº 30	0.600	510.30	8.5	74.4			
Nº 40	0.425	271.06	4.5	78.9	21.09	17 28	
Nº 50	0.300	300.60	5.0	83.9			
Nº 80	0.177	285.59	4.8	88.7	11.32	8 17	
Nº 100	0.150	81.41	1.4	90.0			
Nº 200	0.075	261.58	4.4	94.4	5.60	4 8	
< Nº 200	FONDO	336.24	5.6	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA




 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

 TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patron

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1387.5	
Peso de C.A	67.5	4.50%
Peso del Cemento	45	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	43.04
B Arena	52.43	50.07
C Filler	2.5	2.39

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	43.04	43.04	43.04	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.07	50.07	50.07	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.39	2.39	2.39	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.83	6.4	6.89	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1105.7	1112	1120.8	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1111.63	1118.79	1126.4	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	595.1	598.03	600.66	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	516.6	520.76	525.71	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.140	2.135	2.132	2.136
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.288	2.288	2.288	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.47	6.69	6.84	6.66
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	80.97	80.78	80.65	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	12.56	12.53	12.51	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.03	19.22	19.35	19.20
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.19	4.19	4.19	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	66.02	65.19	64.66	65.29
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1046	1003	1022	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.00	0.96	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1046	1003	981	1010
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	16	17	16	16
34	Fluencia	m.m.	4.06	4.32	4.06	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2574	2323	2414	2437



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patron

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filler)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1387.5	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.82
B Arena	52.43	49.81
C Filler	2.5	2.38

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.82	42.82	42.82	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.81	49.81	49.81	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.38	2.38	2.38	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.34	6.45	6.82	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1130.5	1140.4	1133.6	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1139.41	1147.08	1140.5	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	616.4	627.34	619.4	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	523.1	519.74	521.13	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.161	2.194	2.175	2.177
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.304	2.304	2.304	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.368	2.368	2.368	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.21	4.78	5.60	5.53
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	81.34	82.57	81.86	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25+20)$	%	12.46	12.65	12.54	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.66	17.43	18.14	18.08
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.69	4.69	4.69	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	66.74	72.57	69.12	69.48
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1079	1083	1097	
31	Factor de estabilidad		0.96	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1036	1083	1097	1072
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	17	18	17	17
34	Fluencia	m.m.	4.32	4.57	4.32	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2399	2369	2541	2436



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patron
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1380	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.59
B Arena	52.43	49.55
C Filler	2.5	2.36

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.5	5.5	5.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	42.59	42.59	42.59
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	49.55	49.55	49.55
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	2.36	2.36	2.36
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.019	1.019	1.019
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.419	2.419	2.419
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.470	2.470	2.470
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.597	2.597	2.597
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.631	2.631	2.631
11	Peso específico aparente del filler	3.15	3.15	3.15
12	Altura promedio de la briqueta	6.48	6.04	6.45
13	Peso de la briqueta en el aire	1200.3	1215.5	1203.9
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1212.08	1225.64	1212.5
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	670.8	675.64	669.0
16	Volumen de la briqueta 14-15	541.3	550	543.52
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.217	2.210	2.215
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	2.299	2.299	2.299
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	2.352	2.352	2.352
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	3.54	3.86	3.64
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.524	2.524	2.524
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.566	2.566	2.566
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	2.545	2.545	2.545
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.33	0.33	0.33
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	83.00	82.73	82.92
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	13.45	13.41	13.44
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	17.00	17.27	17.08
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	5.19	5.19	5.19
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	79.16	77.64	78.67
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	1271	1243	1124
31	Factor de estabilidad	0.93	0.89	0.93
32	Estabilidad corregida 31*32	1182	1106	1045
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	18	18	19
34	Fluencia	4.57	4.57	4.83
35	Relación Estabilidad / Fluencia	2585	2420	2166

Henry Rivadeneira
Óblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patron
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
Pátapo - La Victoria
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1372.5	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.37
B Arena	52.43	49.28
C Filler	2.5	2.35

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200	
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	42.37	42.37	42.37
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	49.28	49.28	49.28
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	2.35	2.35	2.35
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.019	1.019	1.019
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.419	2.419	2.419
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.470	2.470	2.470
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.597	2.597	2.597
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.631	2.631	2.631
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 3.15	3.15	3.15
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.72	6.70	6.72
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1213.3	1217.6	1224.0
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1230.08	1222.52	1232.0
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 684.4	688.16	692.8
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 545.7	534.36	539.23
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.223	2.279	2.270
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.326	2.326	2.326
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc. 2.335	2.335	2.335
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 4.41	2.04	2.41
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.524	2.524	2.524
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.566	2.566	2.566
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc. 2.545	2.545	2.545
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.33	0.33	0.33
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	% 82.79	84.85	84.52
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	% 12.80	13.12	13.07
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 17.21	15.15	15.48
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	% 5.70	5.70	5.70
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	% 74.37	86.56	84.42
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1185	1177	1162
31	Factor de estabilidad	0.93	0.96	0.93
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1102	1130	1081
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul. 19	20	19
34	Fluencia	m.m. 4.83	5.08	4.83
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 2284	2224	2239

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
TECNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patron

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1365	
Peso de C.A	97.5	6.5%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.14
B Arena	52.43	49.02
C Filler	2.5	2.34

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.5	6.5	6.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.14	42.14	42.14	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.02	49.02	49.02	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.34	2.34	2.34	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.64	6.95	6.96	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1255.6	1265.6	1245.6	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1258.52	1268.24	1247.1	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	705.3	715.17	693.3	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	553.2	553.07	553.73	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.270	2.288	2.249	2.269
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.301	2.301	2.301	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.319	2.319	2.319	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.35	0.53	2.22	1.37
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	84.06	84.76	83.32	
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	14.59	14.71	14.46	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.94	15.24	16.68	15.96
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	6.20	6.20	6.20	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	91.54	96.51	86.69	91.58
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1143	1158	1152	
31	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1017	1031	1025	1024
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	19	21	20	20
34	Fluencia	m.m.	4.83	5.33	5.08	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2108	1932	2018	2019

Henry Rabadaneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO





GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patron

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2629	2598	2484	2640	2663
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1471	1448	1331	1501	1511
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4121.0	4098.0	3981.3	4151.0	4160.6
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2650	2650	2650	2650	2650
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1158	1150	1153	1139	1152
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.288	2.304	2.299	2.326	2.301



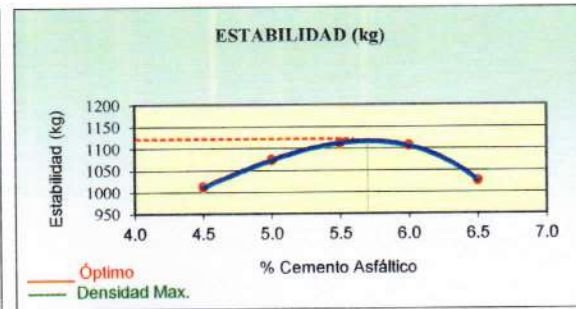
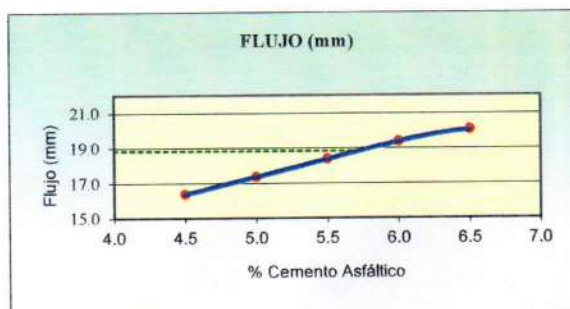
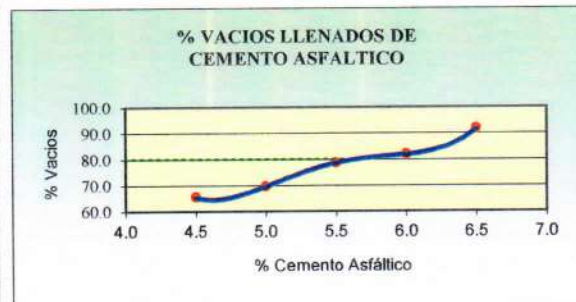
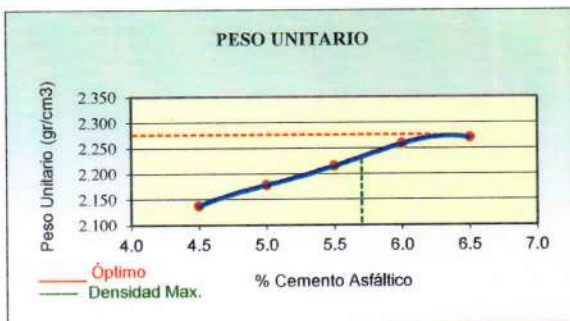
Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santa Teresita de Mogrovejo



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTA TERESITA DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patron
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.7
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.228
Vacios (%)	3.40
Vacios del Agregado mineral (%)	16.75
Vacios Llenados de C.A (%)	80.00
Flujo (mm)	4.78
Estabilidad (Kg)	1115
Relación Polvo Asfalto	1.02

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

DATOS DE DISEÑO

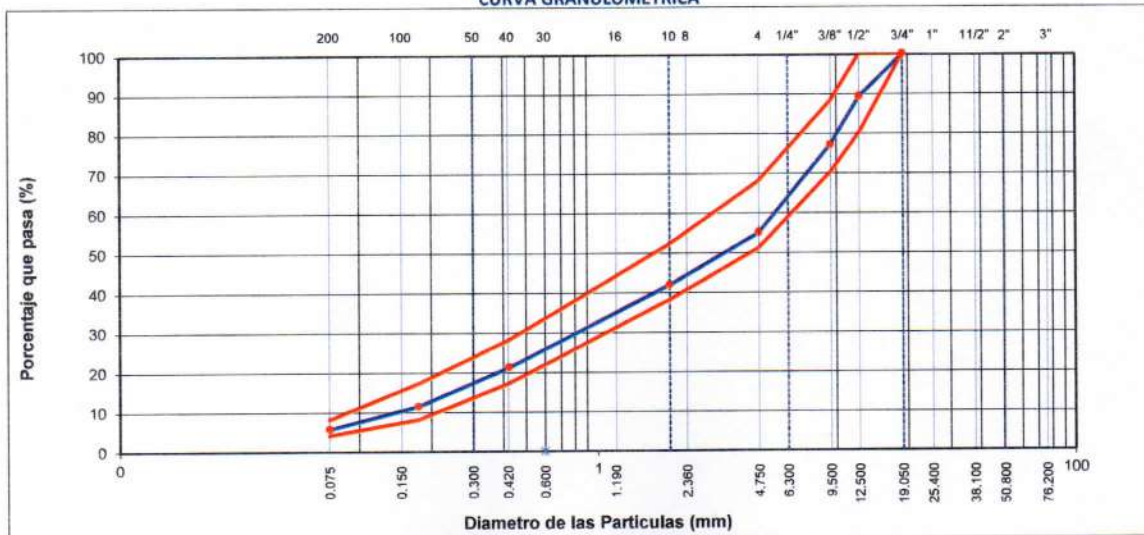
Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
TPU	0%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"

Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA			
3"	76.200					MAC - 2		
3/4"	19.000	0.00			100.00	100		
1/2"	12.500	647.47	10.8	10.8	89.21	80	100	
3/8"	9.500	731.80	12.2	23.0	77.01	70	88	
1/4"	6.350	670.25	11.2	34.2				
Nº 4	4.750	654.64	10.9	45.1	54.93	51	68	
Nº 8	2.360	539.47	9.0	54.1				
Nº 10	2.000	249.58	4.2	58.2	41.78	38	52	Observación:
Nº 16	1.190	460.01	7.7	65.9				
Nº 30	0.600	510.30	8.5	74.4				
Nº 40	0.425	271.06	4.5	78.9	21.09	17	28	
Nº 50	0.300	300.60	5.0	83.9				
Nº 80	0.177	285.59	4.8	88.7	11.32	8	17	
Nº 100	0.150	81.41	1.4	90.0				
Nº 200	0.075	261.58	4.4	94.4	5.60	4	8	
< Nº 200	FONDO	336.24	5.6	100.0				

CURVA GRANULOMETRICA




 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE ENSAYOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1387.5	
Peso de C.A	67.5	4.50%
Peso del Cemento	45	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	43.04
B Arena	52.43	50.07
C Filler	2.5	2.39

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	43.04	43.04	43.04
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	50.07	50.07	50.07
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	2.39	2.39	2.39
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.419	2.419	2.419
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.470	2.470	2.470
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.597	2.597	2.597
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.631	2.631	2.631
11	Peso específico aparente del filler	3.15	3.15	3.15
12	Altura promedio de la briqueta	5.975	6.174	6.521
13	Peso de la briqueta en el aire	1171.2	1148.7	1103.1
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1182.89	1157.14	1113.8
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	632.2	618.75	597.55
16	Volumen de la briqueta 14-15	550.7	538.39	516.28
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.127	2.134	2.137
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.299	2.299	2.299
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	2.386	2.386	2.386
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	7.49	7.19	7.05
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.524	2.524	2.524
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.566	2.566	2.566
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	2.545	2.545	2.545
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.33	0.33	0.33
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	80.45	80.71	80.83
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	12.06	12.10	12.12
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	19.55	19.29	19.17
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	4.19	4.19	4.19
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	61.69	62.74	63.21
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	1295	1344	1283
31	Factor de estabilidad	0.89	0.93	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	1153	1250	1283
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	13	14	13
34	Fluencia	3.30	3.56	3.30
35	Relación Estabilidad / Fluencia	3490	3515	3886

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE ENSAYOS, MATERIALES Y CALIDAD DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO



TECNICO DEL LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
Pátapo - La Victoria
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1387.5	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.82
B Arena	52.43	49.81
C Filler	2.5	2.38

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.82	42.82	42.82	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.81	49.81	49.81	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.38	2.38	2.38	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.615	6.57	6.274	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1201.3	1209.7	1216.7	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1210.58	1217.11	1229.1	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	657.8	665.27	670.4	
16	Volumen de la briqueta	c.c.	552.8	551.84	558.76	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.173	2.192	2.178	2.181
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.294	2.294	2.294	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.369	2.369	2.369	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.26	4.42	5.06	4.91
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	81.78	82.49	81.94	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	12.97	13.08	12.99	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.22	17.51	18.06	17.93
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - $(24/100) * (3 + 4)$	%	4.69	4.69	4.69	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	71.16	74.73	71.97	72.62
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1622	1596	1594	
31	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1444	1420	1419	1428
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	15	14	14	14
34	Fluencia	m.m.	3.81	3.56	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3789	3994	3989	3924



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
Pátapo - La Victoria
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1380	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	
2.727		

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.59
B Arena	52.43	49.55
C Filler	2.5	2.36

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200	
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.59	42.59
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.55	49.55
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.204	6.148
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1252.4	1229.1
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1261.14	1237.9
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	693.3	682.09
16	Volumen de la briqueta	c.c.	567.9	555.81
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.205	2.211
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.294	2.294
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.353	2.353
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.85	3.59
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	82.56	82.78
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	13.59	13.63
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.44	17.22
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.19	5.19
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	77.93	79.14
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1645	1637
31	Factor de estabilidad		0.86	0.89
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1415	1402
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	12	14
34	Fluencia	m.m.	3.05	3.56
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4641	3942



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1372.5	
Peso de C.A.	90	6.0%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.37
B Arena	52.43	49.28
C Filler	2.5	2.35

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.37	42.37	42.37	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.28	49.28	49.28	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.35	2.35	2.35	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	7.015	6.399	6.873	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1298.3	1284.3	1285.8	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1305.33	1294.4	1294.2	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	726.2	718.1	724.0	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	579.1	576.3	570.21	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.242	2.229	2.255	2.242
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.300	2.300	2.300	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.51	3.10	1.95	2.52
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	83.48	82.98	83.97	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	14.01	13.92	14.09	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.52	17.02	16.03	16.52
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.70	5.70	5.70	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	84.79	81.80	87.85	84.81
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1600	1670	1711	
31	Factor de estabilidad		0.83	0.83	0.86	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1328	1386	1471	1395
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	15	16	15	15
34	Fluencia	m.m.	3.81	4.06	3.81	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3486	3411	3862	3586



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1365	
Peso de C.A	97.5	6.5%
Peso del Cemento	37.5	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.14
B Arena	52.43	49.02
C Filler	2.5	2.34

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.5	6.5	6.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.14	42.14	42.14	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.02	49.02	49.02	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.34	2.34	2.34	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briquea	cm.	7.246	6.634	7.261	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1317.1	1312.1	1290.9	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1322.63	1315.6	1293.5	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	736.3	734.37	726.9	
16	Volumen de la briquea	c.c.	586.3	581.23	566.56	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.246	2.257	2.278	2.261
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.295	2.295	2.295	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.321	2.321	2.321	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.10	1.62	0.70	1.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	83.21	83.61	84.39	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 + 20)$	%	14.70	14.77	14.91	
27	% vacíos del agregado mineral $100 - 25$	%	16.79	16.39	15.61	16.26
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	6.20	6.20	6.20	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	87.52	90.13	95.51	91.05
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1640	1655	1648	
31	Factor de estabilidad		0.81	0.83	0.86	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1328	1374	1417	1373
33	Lectura del flexímetro $(0.01") * (35 / 0.254)$	pul.	16	15	16	16
34	Fluencia	m.m.	4.06	3.81	4.06	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3269	3605	3487	3454

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENLACE DE PAVIMENTOS
USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

TÉCNICO DE LABORATORIO





GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2657.8	2517.2	2630.4	2618.3	2605.5
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1505	1362	1475	1466	1451
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4155.0	4011.8	4125.1	4116.0	4100.6
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2650	2650	2650	2650	2650
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1153	1155	1155	1152	1155
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.299	2.294	2.294	2.300	2.295



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT



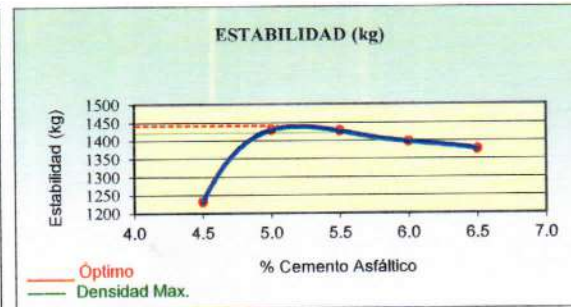
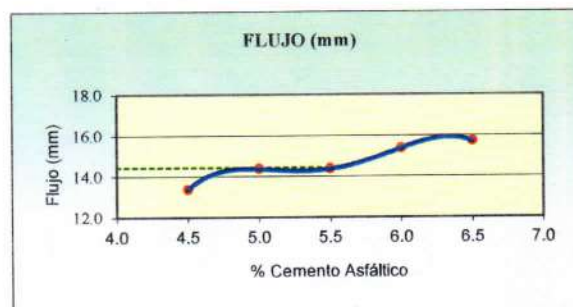
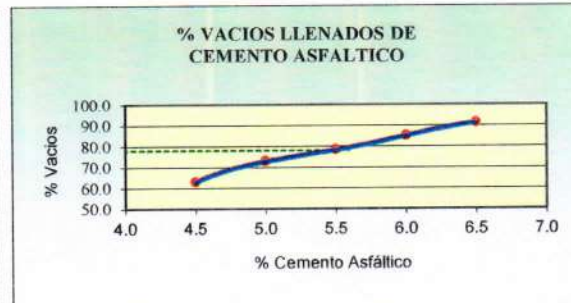
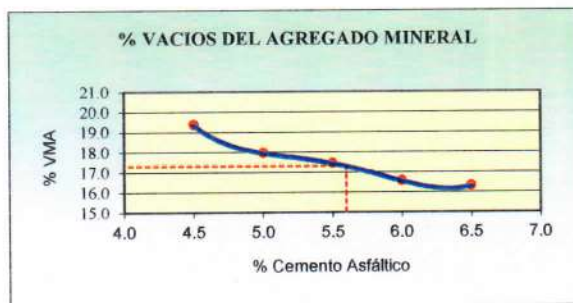
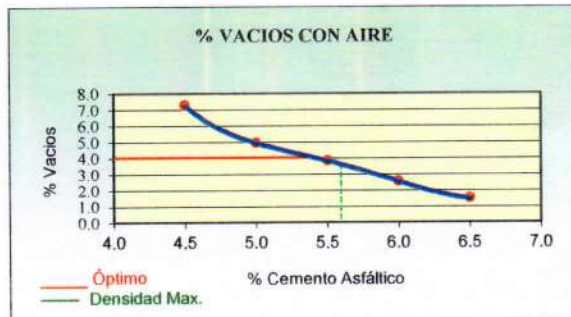
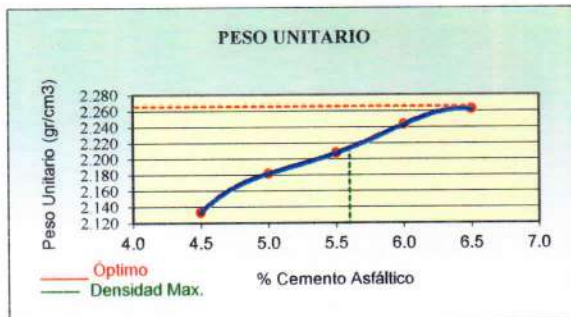
TÉCNICO DE LABORATORIO



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica patrón
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.6
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.215
Vacios (%)	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	17.25
Vacios Llenados de C.A (%)	78.00
Flujo (mm)	3.66
Estabilidad (Kg)	1420
Relación Polvo Asfalto	1.01

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica Modificada

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

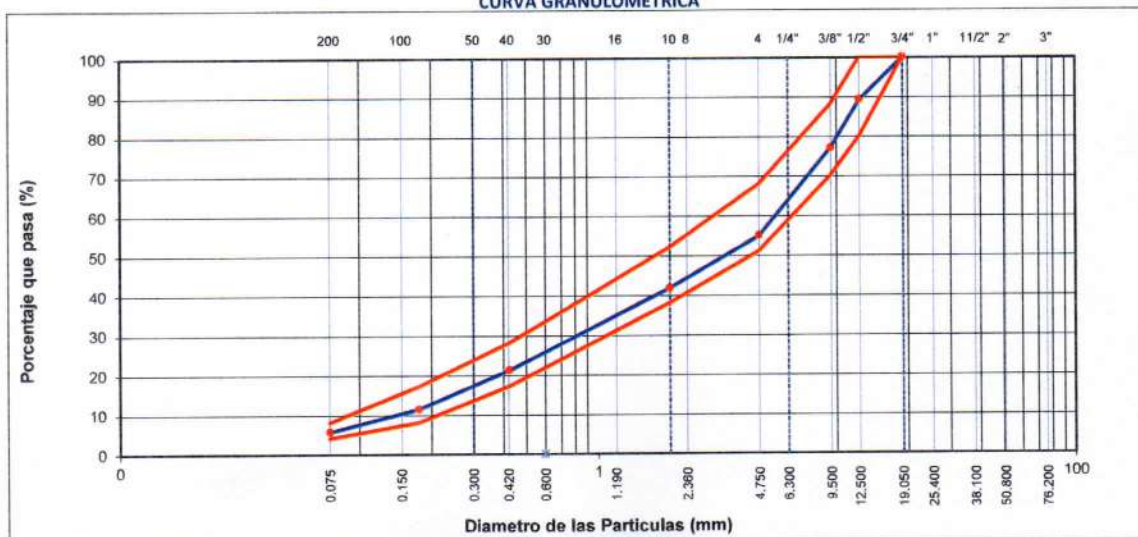
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
TPU	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)							
3"	76.200					MAC - 2		
3/4"	19.000	0.00			100.00	100		
1/2"	12.500	647.47	10.8	10.8	89.21	80	100	
3/8"	9.500	731.80	12.2	23.0	77.01	70	88	
1/4"	6.350	670.25	11.2	34.2				
Nº 4	4.750	654.64	10.9	45.1	54.93	51	68	
Nº 8	2.360	539.47	9.0	54.1				
Nº 10	2.000	249.58	4.2	58.2	41.78	38	52	Observación:
Nº 16	1.190	460.01	7.7	65.9				
Nº 30	0.600	510.30	8.5	74.4				
Nº 40	0.425	271.06	4.5	78.9	21.09	17	28	
Nº 50	0.300	300.60	5.0	83.9				
Nº 80	0.177	285.59	4.8	88.7	11.32	8	17	
Nº 100	0.150	81.41	1.4	90.0				
Nº 200	0.075	261.58	4.4	94.4	5.60	4	8	
< Nº 200	FONDO	336.24	5.6	100.0				

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Rivasneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
www.usat.edu.pe

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 1% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filler)	3.0%
TPU	1.0%

Peso de Muestra	1364.86	52.43
Peso de C.A	86	5.73%
Peso del Cemento	35.35	
TPU	13.79	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70			
	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	45.07	42.49
B	Arena	51.46	48.51
C	Filler	2.5	2.36
D	TPU	0.98	0.92

% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	Descripción	#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.73	5.73	5.73	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.49	42.49	42.49	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	48.51	48.51	48.51	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.13	6.59	6.32	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1112.82	1166.03	1177.6	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1115.49	1170.97	1181.3	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	618.6	623.32	625.38	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	496.9	547.65	555.92	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.240	2.129	2.118	2.162
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.284	2.284	2.284	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.365	2.365	2.365	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.95	6.78	7.26	5.33
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	82.84	78.75	78.35	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	15.21	14.46	14.39	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.16	21.25	21.65	20.02
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.43	5.43	5.43	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	88.65	68.07	66.47	74.40
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1364	1348	1346	
31	Factor de estabilidad		1.04	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1419	1200	1198	1272
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	17	17	18	17
34	Fluencia	m.m.	4.32	4.32	4.57	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3285	2778	2620	2895

Henry Rivadeneira Obitias
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 2% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	2.0%

Peso de Muestra	1351.08	52.43
Peso de C.A	86	5.73%
Peso del Cemento	35.35	
TPU	27.57	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Materia	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.49
B Arena	50.48	47.59
C Filler	2.5	2.36
D TPU	1.95	1.84

Mezcla	Especificaciones	IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.73	5.73	5.73	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.49	42.49	42.49	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.59	47.59	47.59	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.501	6.56	6.785	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1201.74	1209.05	1193.3	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1206.19	1211.29	1198.8	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	658.1	658.06	648.36	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	548.1	553.23	550.45	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.193	2.185	2.168	2.182
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.284	2.284	2.284	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/2) + (7+8) + (4^2/2) + (9+10))$	gr/cc.	2.385	2.385	2.385	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.00	4.32	5.09	4.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.523	2.523	2.523	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4^*P - 10))$	gr/cc.	2.544	2.544	2.544	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	80.33	80.06	79.42	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	15.67	15.62	15.49	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.67	19.94	20.58	20.06
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.43	5.43	5.43	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	79.65	78.34	75.29	77.76
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1612	1649	1673	
31	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1435	1468	1489	1464
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	18	18	18	18
34	Fluencia	m.m.	4.57	4.57	4.57	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3138	3210	3257	3202

Henry Ribadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTA TORIBIO DE MOGROVEJO



TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 3% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filler)	3.0%
TPU	3.0%

Peso de Muestra	1337.29	52.43
Peso de C.A	86	5.73%
Peso del Cemento	35.35	
TPU	41.36	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	45.07	42.49
B	Arena	49.51	46.67
C	Filler	2.5	2.36
D	TPU	2.93	2.76

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.73	5.73	5.73	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.49	42.49	42.49	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	46.67	46.67	46.67	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.09	5.96	6.525	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1123.9	1151.9	1135.3	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1131.5	1157.4	1141.5	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	625.4	630.35	628.08	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	506.1	527.05	513.42	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.221	2.186	2.211	2.206
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.284	2.284	2.284	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.405	2.405	2.405	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.77	4.31	3.19	3.43
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.522	2.522	2.522	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	80.57	79.29	80.22	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	16.66	16.39	16.59	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.43	20.71	19.78	19.97
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.43	5.43	5.43	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	85.72	79.17	83.87	82.92
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1463	1412	1479	
31	Factor de estabilidad		1.04	0.96	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1522	1356	1479	1452
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	20	17	19	19
34	Fluencia	m.m.	5.08	4.32	4.83	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2995	3139	3065	3066


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT


LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTA TERESITA DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T-245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 4% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	4.0%

Peso de Muestra	1323.5	52.43
Peso de C.A	86	5.73%
Peso del Cemento	35.35	
TPU	55.15	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.49
B Arena	48.53	45.75
C Filler	2.5	2.36
D TPU	3.90	3.68


% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	Prom.	
1	Número de briqueta				
2	C.A. en peso de la mezcla	5.73	5.73	5.73	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	42.49	42.49	42.49	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	45.75	45.75	45.75	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	6.815	6.295	6.165	
13	Peso de la briqueta en el aire	1071.75	1086.2	1078.4	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1075.98	1089.42	1084.2	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	602.5	605.65	603.53	
16	Volumen de la briqueta 14-15	473.5	483.77	480.69	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.263	2.245	2.243	2.251
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.284	2.284	2.284	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	2.425	2.425	2.425	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	0.91	1.70	1.78	1.46
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.522	2.522	2.522	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.564	2.564	2.564	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	2.543	2.543	2.543	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.34	0.34	0.34	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	81.31	80.66	80.60	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	17.78	17.64	17.62	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	18.69	19.34	19.40	19.14
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	5.44	5.44	5.44	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	95.14	91.21	90.82	92.39
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	1139	1143	1133	
31	Factor de estabilidad	1.14	1.09	1.14	
32	Estabilidad corregida 31*32	1298	1246	1292	1279
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	19	18	20	19
34	Fluencia	4.83	4.57	5.08	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	2691	2725	2543	2653

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENRIQUES DEL MATERIAL
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTA TERESITA DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO





GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica Modificada

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

PORCENTAJE DE ASFALTO	5.73%	5.73%	5.73%	5.73%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2635.2	2570.1	2464.7	2672.1
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1475	1355	1325	1513
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4125.0	4005.4	3975.3	4163.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2650	2650	2650	2650
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1160	1215	1139	1159
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.284	2.182	2.326	2.286



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



USAT

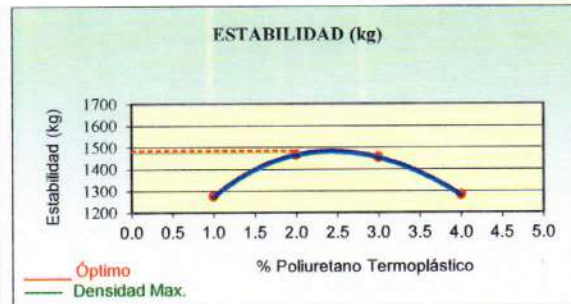
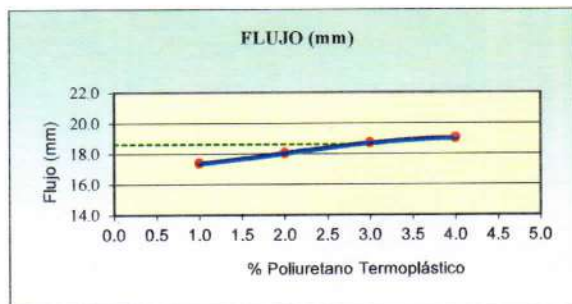
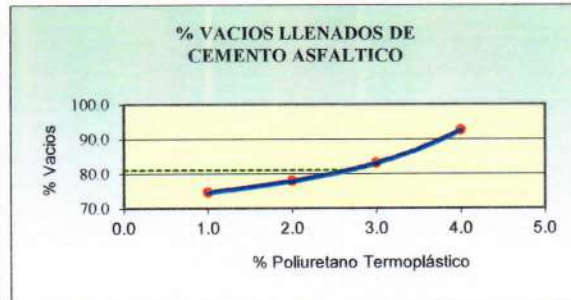
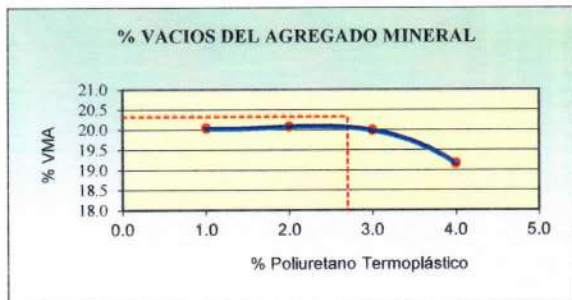
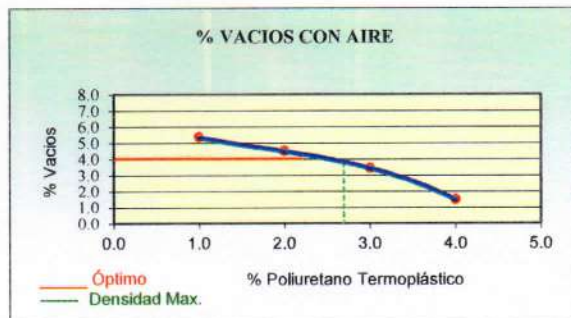
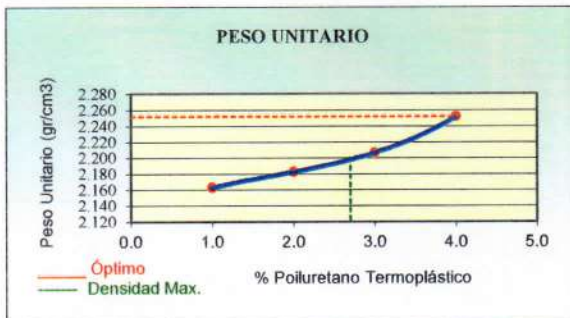
TECNICO DE LABORATORIO



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
 MATERIAL : Mezcla asfáltica modificada con TPU
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal



RESULTADOS	
Óptimo Contenido de TPU	2.7
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.200
Vacios (%)	3.80
Vacios del Agregado mineral (%)	20.30
Vacios Llenados de C.A (%)	81.00
Flujo (mm)	4.72
Estabilidad (Kg)	1475
Relación Polvo Asfalto	0.49

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla asfáltica modificada

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

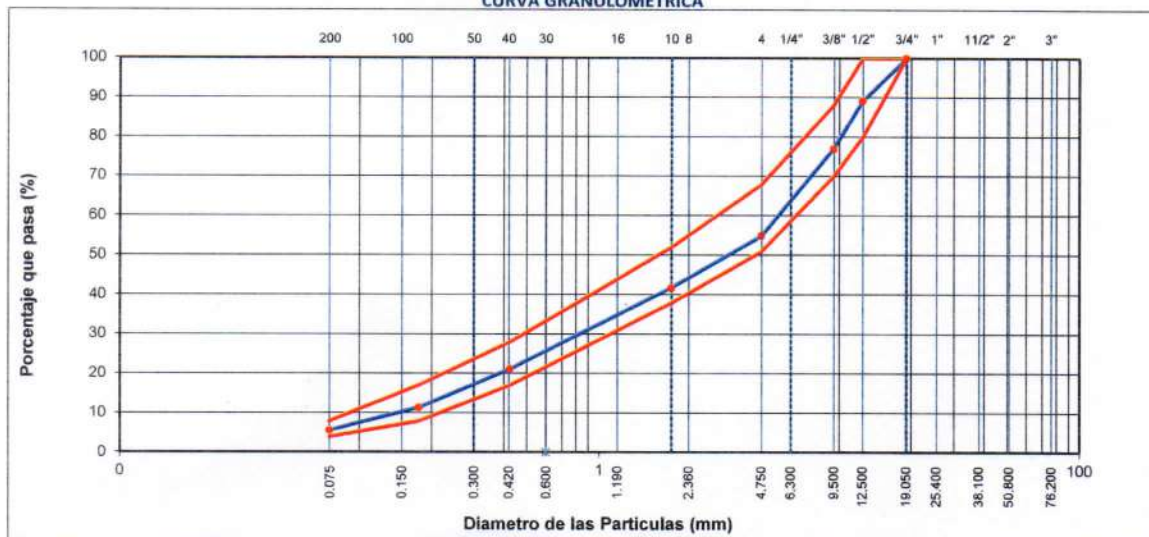
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	47%
Arena Chancada 1/4"	50%
Cemento (Filer)	3%
TPU	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO RETENIDO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)		RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA			
3"	76.200					MAC - 2		
3/4"	19.000	0.00			100.00	100		
1/2"	12.500	647.47	10.8	10.8	89.21	80	100	
3/8"	9.500	731.80	12.2	23.0	77.01	70	88	
1/4"	6.350	670.25	11.2	34.2				
Nº 4	4.750	654.64	10.9	45.1	54.93	51	68	
Nº 8	2.360	539.47	9.0	54.1				
Nº 10	2.000	249.58	4.2	58.2	41.78	38	52	Observación:
Nº 16	1.190	460.01	7.7	65.9				
Nº 30	0.600	510.30	8.5	74.4				
Nº 40	0.425	271.06	4.5	78.9	21.09	17	28	
Nº 50	0.300	300.60	5.0	83.9				
Nº 80	0.177	285.59	4.8	88.7	11.32	8	17	
Nº 100	0.150	81.41	1.4	90.0				
Nº 200	0.075	261.58	4.4	94.4	5.60	4	8	
< Nº 200	FONDO	336.24	5.6	100.0				

CURVA GRANULOMETRICA




 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 LABORATORIO DE SUELDOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 1% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	1.0%

Peso de Muestra	1366.31	52.43
Peso de C.A	84.5	5.63%
Peso del Cemento	35.39	
TPU	13.80	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.53
B Arena	51.46	48.56
C Filler	2.5	2.36
D TPU	0.98	0.92

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.63	5.63	5.63	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.53	42.53	42.53	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	48.56	48.56	48.56	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.45	6.33	6.21	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1183.8	1187.1	1191.9	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1195.95	1197.65	1202.2	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	659.0	655.67	655.15	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	537.0	541.98	547.06	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.205	2.190	2.179	2.191
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.304	2.304	2.304	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.368	2.368	2.368	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.30	4.92	5.42	4.88
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.524	2.524	2.524	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.566	2.566	2.566	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.545	2.545	2.545	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	81.63	81.10	80.67	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	14.07	13.98	13.91	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.37	18.90	19.33	18.87
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.33	5.33	5.33	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	76.61	73.99	71.97	74.19
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1900	1950	1805	
31	Factor de estabilidad		0.93	0.93	0.89	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1767	1814	1606	1729
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	16	16	15	16
34	Fluencia	m.m.	4.06	4.06	3.81	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4348	4462	4216	4342

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LA COMPROBACION DE SU CALIDAD, PUREZA Y CANTIDAD DE MATERIAS PRIMAS



TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 2% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	2.0%

Peso de Muestra	1352.51	52.43
Peso de C.A	84.5	5.63%
Peso del Cemento	35.39	
TPU	27.60	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	45.07	42.53
B Arena	50.48	47.64
C Filler	2.5	2.36
D TPU	1.95	1.84

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.63	5.63
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.53	42.53
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.64	47.64
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.065	6.15
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1180.7	1178.08
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1191.54	1185.6
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	658.9	648.43
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	532.7	537.17
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.217	2.193
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.304	2.304
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/(7+8)) + (4^2/(9+10)))$	gr/cc.	2.388	2.388
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.77	4.79
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.523	2.523
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.565	2.565
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.544	2.544
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4 + 5) * 17 / 21$	%	81.29	80.43
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	14.94	14.78
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.71	19.57
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.33	5.33
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	79.83	75.51
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2100	2117
31	Factor de estabilidad		0.96	0.93
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2016	1969
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	15	15
34	Fluencia	m.m.	3.81	3.81
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5291	5167

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 3% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	3.0%

Peso de Muestra	1338.71	52.43
Peso de C.A	84.5	5.63%
Peso del Cemento	35.39	
TPU	41.40	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70			
	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	45.07	42.53
B	Arena	49.51	46.72
C	Filler	2.5	2.36
D	TPU	2.93	2.76

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.63	5.63	5.63	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.53	42.53	42.53	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	46.72	46.72	46.72	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.09	6.235	6.54	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1235.81	1246.06	1239.6	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1237.09	1250.93	1245.6	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	686.5	694.73	689.64	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	550.6	556.2	555.97	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.244	2.240	2.230	2.238
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.304	2.304	2.304	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.408	2.408	2.408	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.57	2.75	3.21	2.84
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.522	2.522	2.522	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.33	0.33	0.33	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	81.52	81.37	80.98	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	15.92	15.89	15.81	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.48	18.63	19.02	18.71
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.33	5.33	5.33	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	86.12	85.27	83.14	84.84
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2025	2001	1980	
31	Factor de estabilidad		0.89	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1802	1781	1762	1782
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	17	15	16	16
34	Fluencia	m.m.	4.32	3.81	4.06	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4174	4674	4336	4395





DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"

MATERIAL : Mezcla con 4% TPU

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

Grava Chancada 3/4"	47.0%
Arena Chancada 1/4"	50.0%
Cemento (Filer)	3.0%
TPU	4.0%

Peso de Muestra	1324.91	52.43
Peso de C.A	84.5	5.63%
Peso del Cemento	35.39	
TPU	55.20	
Peso Total de la	1500	

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70			
	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	45.07	42.53
B	Arena	48.53	45.80
C	Filler	2.5	2.36
D	TPU	3.90	3.68

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

100	89.2	77.0	54.9	41.8	21.1	11.3	5.6
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.63	5.63	5.63	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.53	42.53	42.53	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	45.80	45.80	45.80	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	2.36	2.36	2.36	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.419	2.419	2.419	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	2.445
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.597	2.597	2.597	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.614
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	3.15	3.15	3.15	3.150
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.401	6.23	6.09	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1241.88	1251.06	1256.3	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1245.2	1257.27	1259.6	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	694.6	692.82	705.69	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	550.7	564.45	553.86	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.255	2.216	2.268	2.247
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.304	2.304	2.304	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 * 2 / (7+8)) + (4 * 2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.429	2.429	2.429	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.09	3.78	1.53	2.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.522	2.522	2.522	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.543	2.543	2.543	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.34	0.34	0.34	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4+5) * 17/21$	%	81.11	79.71	81.58	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	16.79	16.51	16.89	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.89	20.29	18.42	19.20
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.34	5.34	5.34	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	88.91	81.36	91.68	87.32
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1875	1920	1960	
31	Factor de estabilidad		0.89	0.86	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1669	1651	1744	1688
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	17	15	14	15
34	Fluencia	m.m.	4.32	3.81	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3865	4334	4906	4368



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA

ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano ter

MATERIAL : Mezcla asfáltica modificada

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal

PORCENTAJE DE ASFALTO	5.63%	5.63%	5.63%	5.63%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2655.4	2520.5	2625.8	2622.6
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1505	1362	1475	1466
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4155.0	4011.8	4125.1	4116.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2650	2650	2650	2650
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1150	1159	1151	1157
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.304	2.287	2.303	2.291



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



LABORATORIO DE ENSAYOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



USAT

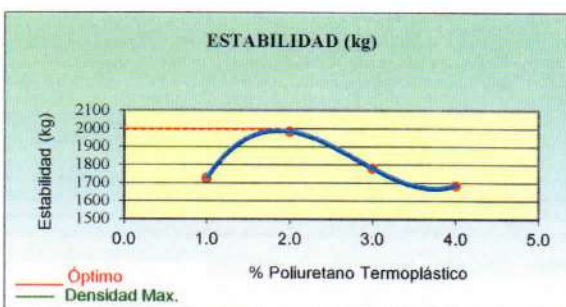
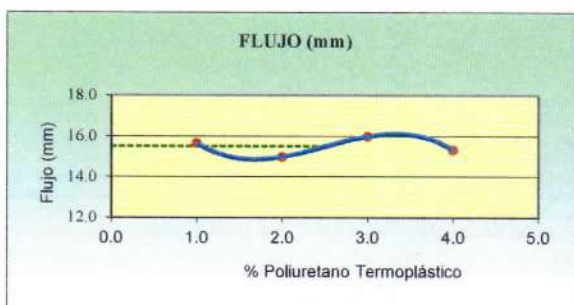
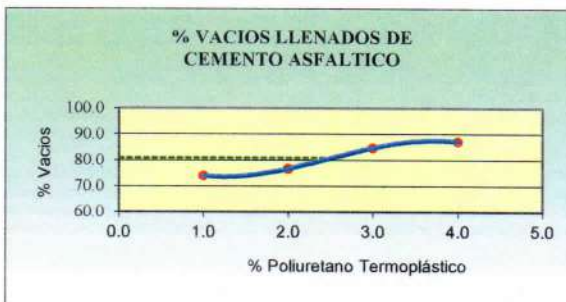
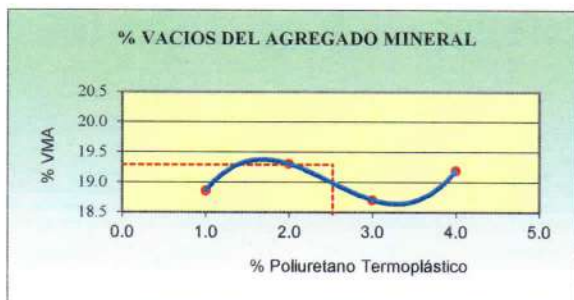
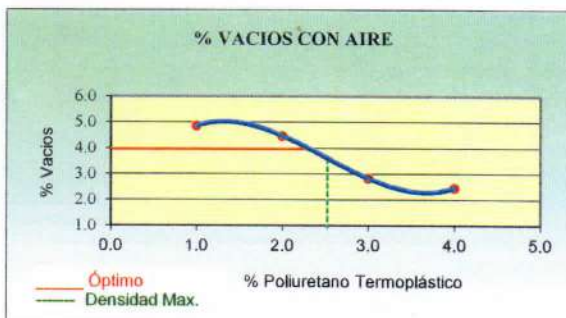
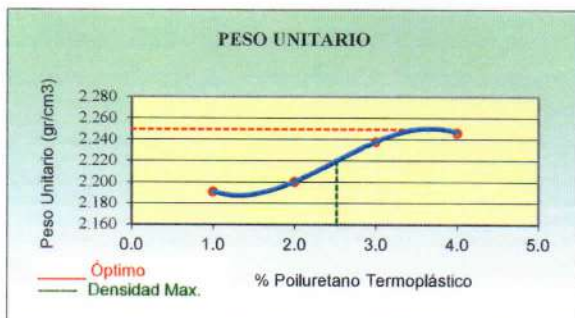
TÉCNICO DE LABORATORIO



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL : Mezcla asfáltica modificada con TPU
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Yanina Lizbeth Giron Villarreal



RESULTADOS	
Óptimo Contenido TPU	2.52
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.220
Vacios (%)	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	19.30
Vacios Llenados de C.A (%)	81.00
Flujo (mm)	3.94
Estabilidad (Kg)	1900
Relación Polvo Asfalto	0.45

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

Rivadeneira Oblitas
USAT
Laboratorio

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
MTC E 515

TESIS	:"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL	: Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe : Pátapo - La Victoria
TESISTA	: Giron Villarreal Yanina Lizbeth

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

Grava Triturada	42.53%
Árena	49.48%
Filler	2.36%
TPU	0.00%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava Triturada	42.53%
Árena	47.16%
Filler	2.36%
TPU	2.32%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS

N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	POLIMERO	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	SIN TPU	300	24°C	1157.09	1110.7	4.01%	5.08%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1116.50	1074.8	3.73%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1064.98	1026.1	3.65%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1115.02	1015.4	8.93%	
1	MODIFICADA	CON TPU	300	24°C	1093.35	1045.5	4.38%	4.16%
2	MODIFICADA		300	24°C	1136.46	1101.3	3.09%	
3	MODIFICADA		300	24°C	1071.99	997.8	6.92%	
4	MODIFICADA		300	24°C	1115.17	1089.9	2.27%	



NOTA:

El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C

El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%


Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



LABORATORIO DE ENSAYOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS ASFALTICAS
MTC E 515

TESIS	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL	Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	Tres Tomas - Ferreñafe Pátapo - La Victoria
TESISTA	Giron Villarreal Yanina Lizbeth

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

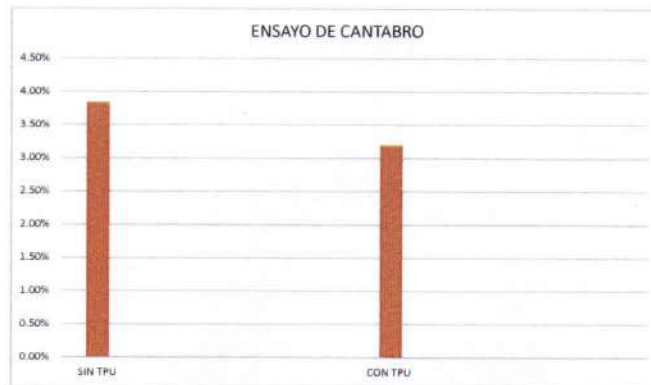
Grava Triturada	42.49%
Arena	49.42%
Filler	2.36%
TPU	0.00%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava Triturada	42.49%
Arena	46.94%
Filler	2.36%
TPU	2.48%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS



N° DE BRIQUETA	TIPO	POLIMERO	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	SIN TPU	300	24°C	1087.42	1048.2	3.61%	3.85%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1063.31	1021.3	3.95%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1103.93	1058.81	4.09%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1147.91	1105.01	3.74%	
1	MODIFICADA	CON TPU	300	24°C	1120.96	1092.9	2.50%	3.20%
2	MODIFICADA		300	24°C	1064.95	1026.1	3.65%	
3	MODIFICADA		300	24°C	1104.36	1064.7	3.59%	
4	MODIFICADA		300	24°C	1050.66	1018.6	3.05%	



NOTA:

El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C

El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%.


Henry Rivadenebra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL	Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	Tres Tomas - Ferreñafe Pátapo - La Victoria
TESISTA	Giron Villarreal Yanina Lizbeth

MUESTRA 5.7 % OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA ASFALTICA TIPO C

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
- Número de briqueta	n	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t Espesor	cm	5.35	6.8	6.45	6.55		6	6.15	5.95	6.4	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	967.2	1253.4	1187.7	1203.3	1136.1	1173.3	1185.7	1164.4	1241.0	1174.5
B SSD de la Muestra	gr	970.81	1257.20	1191.21	1205.67		1063.13	1106.77	1065.95	1154.52	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	545.43	716.48	675.96	689.84		582.25	613.02	596.36	645.17	
E Volumen (B - C)	cc	425.4	540.7	515.3	515.8		480.9	493.8	469.6	509.4	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.274	2.318	2.305	2.333	2.3	2.440	2.401	2.480	2.436	2.4
G Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6
H % de vacíos ((G - F)/G)*100	%	13.42	11.73	12.22	11.17	12.5	7.09	8.55	5.58	7.22	7.1
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	57.07	63.43	62.97	57.61		34.09	42.24	26.19	36.78	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	gr	1042.60	1275.60	1196.00	1232.00
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	575.00	675.00	621.00	675.00
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	467.6	600.6	575.0	557.0
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	75.4	22.2	8.3	28.7
- Saturación (100*J'/I)	%		132.1	35.0	13.2	49.8
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%		9.93	11.07	11.60	7.98

NO SE EJECUTA

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María						
t'	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9
B''	SSD de la Muestra	gr	976.00	1265.70	1196.50	1215.60
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	486.00	613.00	585.00	596.00
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	490.0	652.7	611.5	619.6
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	8.8	12.3	8.8	12.3
- Saturación (100*J''/I)	%		15.4	19.4	14.0	21.3
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%		13.82	18.64	16.74	18.63
- Carga Máxima N	N		3041.100	3188.250	3090.150	3158.820
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2		2.99	2.99	2.86	2.92

NO SE EJECUTA

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 80.479%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



Henry Rivadeneira Obiitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS	: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico
MATERIAL	: Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe : Pátapo - La Victoria
TESISTA	: Giron Villarreal Yanina Lizbeth

MUESTRA 2.7 % DE OPTIMO CONTENIDO DE TPU PARA MEZCLA ASFALTICA TIPO C

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Número de briqueta										
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.4	6.45	6.75	6.75	5.7	6.3	6.1	6	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1058.5	1103.9	1072.8	1149.6	1078.4	1032.3	1022.4	1073.8	1043.9
B	SSD de la Muestra	gr	1179.65	1187.35	1168.23	1142.13		1033.77	1033.40	1239.20	1051.13
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	650.50	670.11	650.47	699.20		574.64	558.53	711.00	570.90
E	Volumen (B - C)	cc	529.2	517.2	517.8	442.9		459.1	474.9	528.2	480.2
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.000	2.134	2.072	2.595	2.1	2.248	2.153	2.093	2.174
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.626
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	23.83	18.73	21.10	1.17	21.2	14.38	18.01	22.59	17.22
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	126.07	96.87	109.24	5.16		66.03	85.54	119.30	82.71

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C											
B'	SSD de la Muestra	gr	1042.60	1275.60	1196.00	1232.00					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	575.00	675.00	621.00	675.00					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	467.6	600.6	575.0	557.0					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	-15.9	171.7	123.2	82.4					
-	Saturación (100*J'/I)	%	-12.6	177.2	112.8	1596.2					
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	-11.63	16.12	11.06	25.75					

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María											
I''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9					
B''	SSD de la Muestra	gr	1065.00	1189.60	1098.00	1163.00					
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	486.00	605.00	512.00	656.00					
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	579.0	584.6	586.0	507.0					
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	6.5	85.7	25.2	13.4					
-	Saturación (100*J''/I)	%	5.2	88.5	23.1	259.6					
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	10.66	11.22	11.87	11.50					
-	Carga Máxima N	N	2570.220	2305.350	2295.540	2109.150	2320.065	2697.750	2648.700	2511.360	2305.350
-	Fuerza Tensil KPA	kg/cm ²	2.53	2.17	2.12	1.95	2.19	3.02	2.69	2.63	2.45

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 81.248%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE GEOTECNIA, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL	Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	:Tres Tomas - Ferreñafe :Pátapo - La Victoria
TESISTA	:Giron Villarreal Yanina Lizbeth

MUESTRA 5.6% DE OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO PARA MEZCLA TIPO B

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Número de briqueta										
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.16	10.16	10.16	10.16	
I	Espeor	cm	6.4	6.6	6.35	6.1	6.15	6.1	5.85	5.9	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	862.1	1200.7	1211.5	1203.3	1091.4	1069.7	1108.8	1218.0	1177.0
B	SSD de la Muestra	gr	864.17	1202.15	1214.19	1206.57		1158.80	1130.41	1253.15	1139.40
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	482.68	687.19	688.52	688.48		665.19	643.70	597.00	593.50
E	Volumen (B - C)	cc	381.5	515.0	525.7	518.1		493.6	486.7	656.2	545.9
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.260	2.332	2.305	2.323	2.3	2.167	2.278	1.856	2.156
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.6
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	13.95	11.21	12.24	11.56	12.5	17.48	13.25	29.31	17.90
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	53.20	57.73	64.33	59.87		86.27	64.48	192.34	97.70

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	gr	986.50	1215.60	1224.60	1226.50
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	572.00	653.00	652.00	680.00
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	414.5	562.6	572.6	546.5
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	124.4	14.9	13.1	23.2
	Saturación (100*J'/I)	%	233.8	25.8	20.4	38.7
	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	8.65	9.25	8.93	5.48

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María						
I''	Espeor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9
B''	SSD de la Muestra	gr	1075.60	1263.00	1236.00	1245.00
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	652.00	675.00	642.00	675.00
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	423.6	588.0	594.0	570.0
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	213.5	62.3	24.5	41.7
	Saturación (100*J''/I)	%	401.3	107.9	38.1	69.6
	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	10.16	12.98	11.93	9.50
	Carga Máxima N	N	4708.800	4267.350	4463.550	4561.650
	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	4.63	4.01	4.13	4.22

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 120.036%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.


Henry Rivas
Rivas Obilias
Tec. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTA SORRIBAS DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS	"Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas mediante la modificación por vía seca con elastómero de poliuretano termoplástico"
MATERIAL	: Briquetas de mezclas asfálticas
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe : Pátapo - La Victoria
TESTISTA	: Giron Villarreal Yanina Lizbeth

MUESTRA 2.52 % OPTIMO CONTENIDO DE TPU PARA MEZCLA TIPO B

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
-	Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
I	Espesor	cm	6.1	6.15	6.65	6.45		6.15	5.85	6.6	6.3	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1155.8	1126.7	1049.0	1055.5	1110.5	1092.5	1039.7	1237.7	1159.6	1123.3
B	SSD de la Muestra	gr	1175.90	1131.87	1219.54	1181.16		1094.62	1095.00	1250.80	1160.97	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	591.32	620.07	683.16	667.97		576.16	605.13	589.89	552.97	
E	Volumen (B - C)	cc	584.6	511.8	536.4	513.2		518.5	489.9	660.9	608.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	1.977	2.201	1.956	2.057	2.0	2.107	2.122	1.873	1.907	2.0
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	24.71	16.17	25.53	21.68	22.1	19.76	19.18	28.69	27.37	22.5
I	Volumen de vacíos (H*E)/100	cc	144.45	82.75	136.92	111.26		102.44	93.95	189.59	166.42	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C							
B'	SSD de la Muestra	gr	1185.00	1152.00	1065.00	1062.00	NO SE EJECUTA
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	532.00	586.00	475.00	510.00	
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	653.0	566.0	590.0	552.0	
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	29.2	25.3	16.0	6.5	
-	Saturación (100*J'/I)	%	20.2	30.6	11.7	5.8	
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	11.70	10.59	10.00	7.56	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
I''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	NO SE EJECUTA					
B''	SSD de la Muestra	gr	1175.00	1142.00	1075.00	1075.00						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	562.00	575.00	456.00	510.00						
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	613.0	567.0	619.0	565.0						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	19.2	15.3	26.0	19.5						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	4.35	9.75	14.00	9.39						
-	Carga Máxima Kg	kg	425	355	345	445	210	285.0	278	242	2489.3	
-	Carga Máxima N	N	4169.250	3482.550	3384.450	4365.450	3850.425	2060.100	2795.850	2727.180	2374.020	2489.3
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	4.10	3.27	3.13	4.04	3.64	2.14	3.05	2.64	2.41	2.56

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) = 142.035%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO