

**ANÁLISIS DE DUCTILIDAD DE UN ASFALTO CONVENCIONAL Y DE UN
ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

FORERO VILLANUEVA, JHONATAN STEVEN.

RAMÍREZ PERDOMO, JENNY PAOLA.

GUTIÉRREZ VARELA, SEBASTIÁN.

DOCENTE TUTOR:

BASTIDAS MARTÍNEZ JUAN GABRIEL



UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C.

2022

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

BOGOTÁ D.C, Junio de 2022

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO 1.....	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2.1 ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE.....	10
2.2 ENSAYO DE DUCTILIDAD.....	13
CAPÍTULO 3.....	15
3.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL EQUIPO DUCTILÓMETRO	15
3.2 ETAPA EXPERIEMNTAL EN LABORARIO.....	22
3.3 MATERIALES.....	24
3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO	26
3.4.1. ENSAYO DE DUCTILIDAD	26
CAPITULO 4.....	29
4.1 PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
CAPÍTULO 5.....	31
CONCLUSIONES	31

RECOMENDACIONES	31
Referencias.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diseño de tanque con partes soldadas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)	15
Figura 2 Diseño soporte en acero inoxidable soldadas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)	16
Figura 3 Diseño de varilla de 1 pulgada y motorreductor, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)	17
Figura 4 Diseño moldes en bronce sobre las omegas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)	17
Figura 5 Especificaciones de molde en bronce, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)	18
Figura 6 Diseño base metálica, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022).	18
Figura 7 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial).....	19
Figura 8 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial)	19
Figura 9 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial)	20
Figura 10 Equipo ductilómetro, Fuente propia.....	21

Figura 11 Indicaciones uso del variador, Fuente propia	23
Figura 12 Moldes con asfalto ya enrazados, Fuente propia.....	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ficha técnica del ductilómetro, Fuente propia.....	22
Tabla 2 Propiedades del cemento asfáltico CA 60-70	25
Tabla 3 Características del asfalto m modificado con GCR.....	25
Tabla 4 Registro de resultados ensayo ductilidad asfalto 60/70 y asfalto GCR, Fuente propia	29

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Registro de resultados ensayo Ductilidad asfalto 60/70 vs asfalto GCR, Fuente propia	30
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico	36
Anexo 2: Manual de usuario	38

RESUMEN

El progreso económico de un país corresponde en su mayoría en las condiciones viales que se pueda brindar a su economía, estas mismas impulsan el desarrollo económico, social y humano de la comunidad. En este sentido, es de gran importancia el estudio de los materiales usados en pavimentos, a fin de garantizar la durabilidad de las obras de infraestructura en el tiempo. El asfalto es uno de los principales materiales en la ingeniería de pavimentos, por tanto, es indispensable el estudio de sus características físicas para determinar su comportamiento, caracterización y control de calidad. El presente trabajo, tiene como principal objetivo la fabricación de un equipo de laboratorio denominado ductilómetro en la Universidad Piloto de Colombia, con el fin de determinar la ductilidad de asfaltos convencionales y modificados. Lo anterior, siguiendo los lineamientos en la especificación 702 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2013). Posteriormente se realizaron ensayos de laboratorio para analizar la ductilidad, con el fin de analizar las propiedades a tensión de los materiales asfálticos referentes a la ductilidad de un Cemento asfáltico convencional CA 60-70 (Clasificado por su grado de penetración) y un asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado (GCR). Como gran conclusión, se puede analizar que los asfaltos convencionales presentan una elevada ductilidad en referencia al asfalto modificado, lo cual es atribuido a las partículas de GCR en la lámina de asfalto. Sin embargo, según la literatura consultada, las mezclas asfálticas con GCR presenta una mayor recuperación elástica ante cada ciclo de carga y descarga, permitiendo obtener un mayor número de repeticiones de carga con relación a las mezclas con asfalto convencional.

ABSTRACT

The economic progress of a country corresponds mostly to the road conditions that can be provided to its economy, this same drive the economic, social and human development of the community. In this sense, the study of the materials used in pavements is of great importance, in order to guarantee the durability of infrastructure works over time. Asphalt is one of the main materials in pavement engineering, therefore, the study of its physical characteristics is essential to determine its behavior, characterization and quality control. The present work has as main objective the manufacture of a laboratory equipment called ductilometer, in order to determine the ductility of conventional and modified asphalts. The foregoing, following the guidelines in selection 702 of Nacional Institute of Roads (INVIAS, 2013). Subsequently, laboratory tests were carried out to analyze the ductility, in order to analyze the tensile properties of the asphalt materials, referring to the ductility of a conventional Asphalt Cement CA 60-70 (Classified by its degree of penetration) and an asphalt modified with Recycled Tire Rubber (RTR). As a great conclusion, it can be analyzed that conventional asphalts have a high ductility in reference to modified asphalt, which is attributed to the RTR particles in the asphalt sheet. However, according to the literature consulted, asphalt mixtures with RTR present a greater elastic recovery before each loading and unloading cycle, obtaining a greater number of load repetitions in relation to mixtures with conventional asphalt.

INTRODUCCIÓN

La red vial en Colombia se compone por la red primaria (grandes autopistas, a cargo de la nación), red secundaria (a cargo de departamentos) y red terciaria (compuesta por carreteras o caminos Inter veredales, a cargo de los municipios). Colombia cuenta con una red de carreteras de 206.102 km, de los cuales el 6.9%, es decir 16.983 km corresponden a la red primaria, el 21% que corresponden a 44.400 km a la red secundaria y 142.284 km el 69.46% a la red terciaria, según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (INVIAS, 2022).

En la ingeniería de pavimentos, las causas de daño más comunes son los fenómenos de fatiga y ahuellamiento de la mezcla asfáltica. Por lo anterior, es importante analizar el desempeño de los materiales, principalmente del asfalto. Dado que el comportamiento físico depende de la acción del clima. En este sentido, es necesario analizar los fenómenos de daños y su correlación con la ductilidad.

La ductilidad consiste en la capacidad que tiene un determinado material para ser estirado o deformado sin que se presente una fractura, dicha propiedad es de importancia ya que está presente en el asfalto, la cual permite identificar la capacidad que tiene el material para sufrir una deformación plástica y al mismo tiempo para resistir la carga que ha sido aplicada. Dado a que un asfalto de baja ductilidad presentará pobres propiedades adhesivas y un deficiente comportamiento en servicio, de ahí su importancia y estudio.

Otras de las propiedades que se busca de un material asfáltico, es su dureza y su elasticidad, para alcanzar la durabilidad y rentabilidad de producir concreto asfáltico, ya que de ellas dependerá la cantidad de asfalto a utilizar. De esta forma, el objetivo principal de este trabajo es realizar un equipo de laboratorio que permita determinar la ductilidad de asfaltos convencionales y asfaltos modificados, a fin de conocer el comportamiento de los materiales.

CAPITULO 1

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante el desarrollo del plan de estudio de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Piloto de Colombia, se evidencia la necesidad de proponer la creación y donación del equipo ductilómetro a la universidad para futuros ensayos de laboratorio. El ensayo de ductilidad brinda una medida de propiedades a tensión de los materiales asfálticos y se usa para establecer si el producto que se ensaya cumple las especificaciones correspondientes, investigando los fenómenos de fatiga y de ahuellamiento siendo estos las fallas más comunes de las mezclas asfálticas en Colombia. La investigación busca por medio de la fabricación de un ductilómetro, estudiar la ductilidad de asfaltos convencional 60/70 y modificados GCR que se emplean en los pavimentos colombianos.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Construir un ductilómetro según las especificaciones estándares que especifica el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) 702 del 2013, para estudiar la ductilidad de asfaltos convencionales y asfaltos modificados para la fabricación de mezclas asfálticas en capas de pavimentos para carreteras.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir el equipo ductilómetro según las especificaciones 702 del Instituto Nacional de Vías INVIAS, para realizar los ensayos de ductilidad en asfaltos convencionales y asfaltos modificados.
- Evaluar la ductilidad de un asfalto convencional 60/70 y asfalto modificado con Grano de Caucho Reciclado GCR.

CAPÍTULO 2

2.1 ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan diferentes investigaciones desde el ámbito nacional e internacional relacionadas con el problema de investigación, ensayos de ductilidad de asfaltos convencional y modificado del presente estudio.

Las calles y autopistas del mundo en su mayoría se encuentran hechas de mezcla de concreto asfáltico dado que se trata de un material que por su composición provee de buena resistencia al esfuerzo, es adherente e impermeable (Ucha, 2010). La mezcla asfáltica se compone de materiales pétreos recubiertos por asfalto (Bastidas-Martínez, J. & Rondón-Quintana, 2020).

De esta manera, los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos obtenidos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido resultante de la extracción de los componentes más ligeros y volátiles del petróleo. Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los pavimentos flexibles, denominados también pavimentos asfálticos (Rodríguez, 2004)

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres propiedades o características muy importantes del asfalto como:

Consistencia: Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura; a altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla (mayor temperatura, menor viscosidad). (Asphalt Institute, 1983)

Pureza: Su composición química y el contenido de impurezas que posee. Los asaltos refinados son, generalmente, más del 99,5 % solubles en bisulfuro de carbono y, por lo tanto, casi asfaltos puros.

Las impurezas son inertes o insolubles, si existieran. Normalmente el cemento asfáltico, cuando sale de la refinería, está libre de humedad, pero puede haberla en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, ésta provoca espumas cuando se calienta por encima de los 100 ° C (212 ° F). (Asphalt Institute, 1983)

Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

El asfalto, si se les somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a que esto ocurre normalmente es más elevada que la de trabajo en obras de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

(Asphalt Institute, 1983)

Muchos factores pueden afectar la capacidad de autoreparación de los asfaltos como la composición, la temperatura, la carga (es decir, la amplitud de deformación, la frecuencia y el período de reposo) y las condiciones de envejecimiento. En general, la química del asfalto juega un papel fundamental en los componentes autocurativos adhesivos y cohesivos, que son responsables del flujo y la humectación de las caras de las grietas, así como de la difusión y aleatorización de la estructura interna, respectivamente. Por lo tanto, los componentes autocurativos adhesivos y cohesivos evitan la propagación de grietas y permiten una recuperación significativa de las propiedades mecánicas con el tiempo. (Canestrari, F.; Virgili, A.; Graziani, A.; Stimilli, A., 2015)

La caracterización del asfalto convencional se realiza mediante ensayos de laboratorio como el ensayo de ductilidad INV-E – 702 (2013), ensayo de punto de ignición y llama, ensayo de punto de ablandamiento, ensayo al horno de lámina asfáltica delgada en movimiento. I.N.V. E – 702 (2013).

Para la propiedad de ductilidad en el asfalto sometido a bajas temperaturas, se ha observado que el pavimento menor a 30° C se observa baja ductilidad indicando peores servicios que en los asfaltos sometidos a más de 30° C presentan mejor desempeño. Como resultado el envejecimiento produce un endurecimiento del asfalto el cual incrementa la probabilidad de agrietamiento iniciando en la superficie de la capa expuesta a las condiciones ambientales. (Kandhal, 1977), continuando con los factores influyentes en el envejecimiento del pavimento es preciso afirmar que a medida que pasa el tiempo se presentan tendencias termorreversibles en los asfaltos y estas tienen mucho que ver con un bajo desempeño de la estructura de pavimento por el contenido de asfalto recuperado o reciclado (Angius, Simón, 2018).

Con el fin de proporcionar una mayor durabilidad en las mezclas asfálticas, se ha utilizado una amplia variedad de aditivos y modificadores. En la mayoría de los países del mundo son construidos pavimentos flexibles para carreteras. En los Estados Unidos, 95% de los pavimentos utilizan mezclas asfálticas como capa de rodadura (IAT, 2000). Además, existen múltiples tipos de asfaltos para la fabricación de mezclas; algunos de ellos son el cemento asfáltico, las emulsiones asfálticas, los asfaltos rebajados, los crudos pesados, los asfaltos espumados y los asfaltos naturales. Uno de los de mayor empleo en la fabricación de mezclas es el cemento asfáltico. La amplia utilización de este material en pavimentos radica en que proporciona cohesión entre las partículas de los agregados, flexibilidad, impermeabilidad y durabilidad ante la acción del clima y del tránsito vehicular (Bastidas-Martínez, J. & Rondón-Quintana, 2020).

La deformación por ahuellamiento es una de las enfermedades más prominentes en el daño temprano del pavimento asfáltico. En la investigación de Guo, R.; Nian, T.; Zhou, F se estudiaron los factores que afectan el comportamiento que carece de ahuellamiento del pavimento asfáltico. En primer lugar, se analizó la dosificación óptima de asfalto en las mezclas y la ley de cambio del

desempeño para no tener presencia de ahuellamiento del pavimento asfáltico mediante pruebas de modelos que consideraron los cambios en la dimensión fractal de los agregados de la mezcla, la dosificación de asfalto, la temperatura, la carga por rueda y el vacío de aire. En segundo lugar, se analizó el coeficiente de correlación de la entropía de Gray que se basa en el gasto energético por unidad de temperatura entre los factores influyentes y la estabilidad dinámica de las mezclas según la teoría de la entropía de Gray. Los resultados mostraron que el rendimiento ahuellamiento de las mezclas asfálticas disminuyó a medida que aumentaba la temperatura y la carga por rueda. (Guo, R.; Nian, T.; Zhou, F., 2020)

En investigaciones se estudiaron y analizaron experimentalmente asfaltos con icopor y grano reciclado de caucho generado por residuos industriales, la modificación se realizó por vía húmeda para lograr una mejor integración de la mezcla, incluyendo dichos materiales al asfalto, se analizaron las propiedades físicas del asfalto modificado y finalmente se compararon los resultados del asfalto convencional con el modificado. Los resultados obtenidos fueron interesantes en cuanto a la ductilidad ya que las muestras de asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada presentaron resultados muy bajos y directamente proporcionales con respecto a la concentración de llanta triturada, lo cual se interpreta como un material con un alto grado de rigidez y un bajo nivel de susceptibilidad a las deformaciones plásticas. (Figuroa, A.; Sánchez, A.; Reyes, F., 2007)

2.2 ENSAYO DE DUCTILIDAD

La ductilidad de un asfalto se mide por el alargamiento en centímetros hasta rotura que puede soportar una probeta sometida a un ensayo de tracción con velocidad de deformación y temperatura determinadas. La ductilidad se explica como una propiedad físico-mecánica que se caracteriza por ser capaz de soportar deformaciones cuando se somete a cargas definidas como es el caso del tráfico y a su vez tener la capacidad de soportar estas cargas sin llegar a una falla súbita, los

pavimentos tienen como una de sus características principales la deformación debido a cambios de temperatura y en su estado de resistencia de cargas por tráfico liviano o pesado, por lo que experimentar movimientos de contracción y extensión, (Anderson, DI & Wiley, ML, 1976), por esta razón es importante que la ductilidad este presente en las mezclas que conforman la estructura de pavimento, tratándose del asfalto como un tipo de pavimento flexible. Bajo condiciones controladas de temperatura, la ductilidad de los asfaltos puede experimentar cambios, es el caso de una investigación demostrando que probetas asfálticas sometidas a temperaturas de 60°F experimentan un cambio rápido de ductilidad con una tasa de elongación normal de 5cm/min, teniendo en cuenta que la temperatura crítica en la mayoría de los asfaltos es de 39°F (Flood, 1935) dejando ver como conclusión que la temperatura es directamente proporcional a la ductilidad.

Así mismo, estudios han demostrado que la modificación de los asfaltos modificados con granos de caucho es más rígida a altas temperaturas, y generan mayor viscosidad debido a la temperatura elevada y que además de esto genera la formación de una película que actúa como protección del pavimento (McGennis, 1995) esto puede tener la ventaja de evitar presencia de patologías a profundidades no deseables.

CAPÍTULO 3

En este capítulo, en principio se presentan los principales aspectos a considerar el diseño y la construcción del ductilómetro. Posteriormente se presenta el proceso constructivo del equipo, así como también las características técnicas y aspectos de operación. Finalmente se expone la metodología de estudio para analizar la ductilidad de los asfaltos analizados.

3.1 METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL EQUIPO DUCTILÓMETRO

Inicialmente se diseña por medio del Software SketchUp Pro-2022 un tanque de agua que permita la colocación de las muestras de asfalto, así mismo poder realizar un alargamiento de las muestras a través de la rotación de un motorreductor que es el encargado de reducir la velocidad del equipo accionado por el control de mando (variador) como esta graficado en la Figura 1, acompañado de partes mecánicas facilitando la construcción del ductilómetro y su funcionamiento.

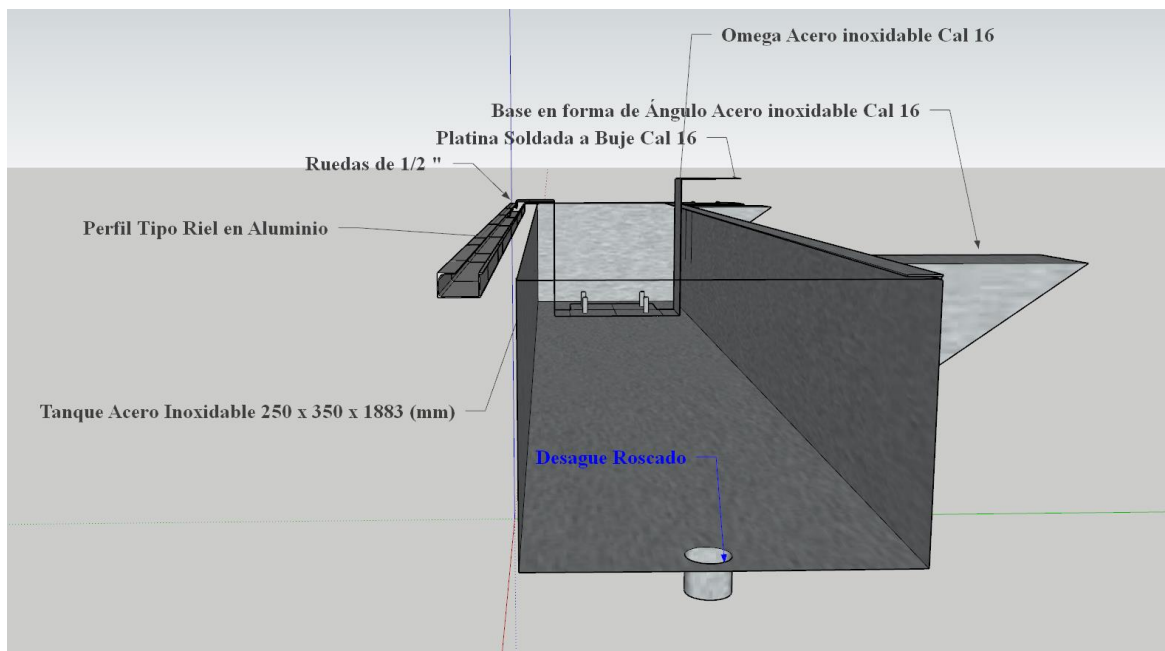


Figura 1 Diseño de tanque con partes soldadas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

En la Figura 2 se puede apreciar las varillas lisas en acero inoxidable, las cuales van soldadas a las dos omegas mostradas en la Figura 1, para alcanzar el mecanismo de colocación y alargamiento de los moldes como se muestra en la Figura 4. Con las siguientes especificaciones; cuatro varillas de acero inoxidable (espesor 1.5mm y largo 50mm).

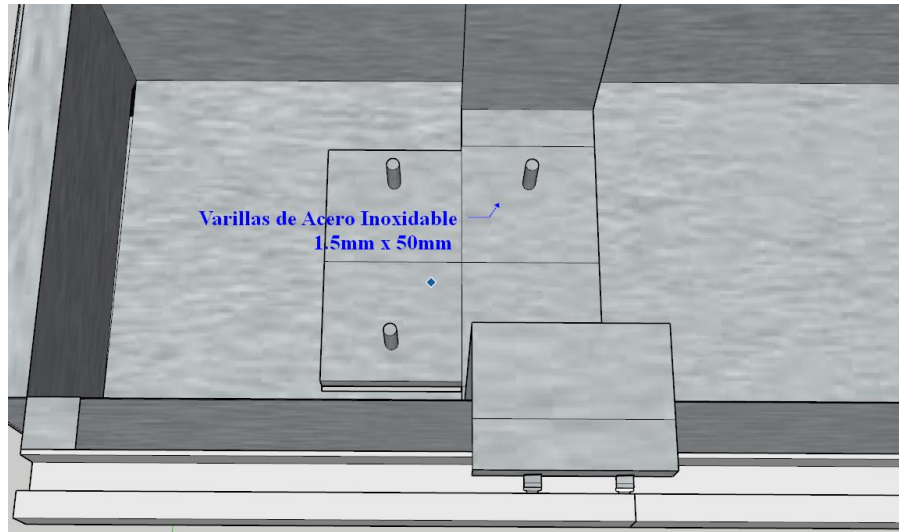


Figura 2 Diseño soporte en acero inoxidable soldadas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

A continuación, procedemos a ensamblar las partes restantes de la máquina para su funcionamiento directamente con el motorreductor y su diseño previo, se puede apreciar en la Figura 3. Sus especificaciones técnicas son; motorreductor de 110 voltios con variador de velocidad de 30 watts, varilla de 1 pulgada x 1600 mm de rosca cuadrada en hierro, buje fabricado en acero inoxidable para acoplar el motor con la varilla de rosca cuadrada.



Figura 3 Diseño de varilla de 1 pulgada y motorreductor, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

En la Figura 4 se puede apreciar el diseño de los moldes en bronce sobre las omegas que, junto con el mecanismo de la varilla de rosca cuadrada, motorreductor y el buje, permita realizar un desplazamiento de un punto (A) a un punto (B).

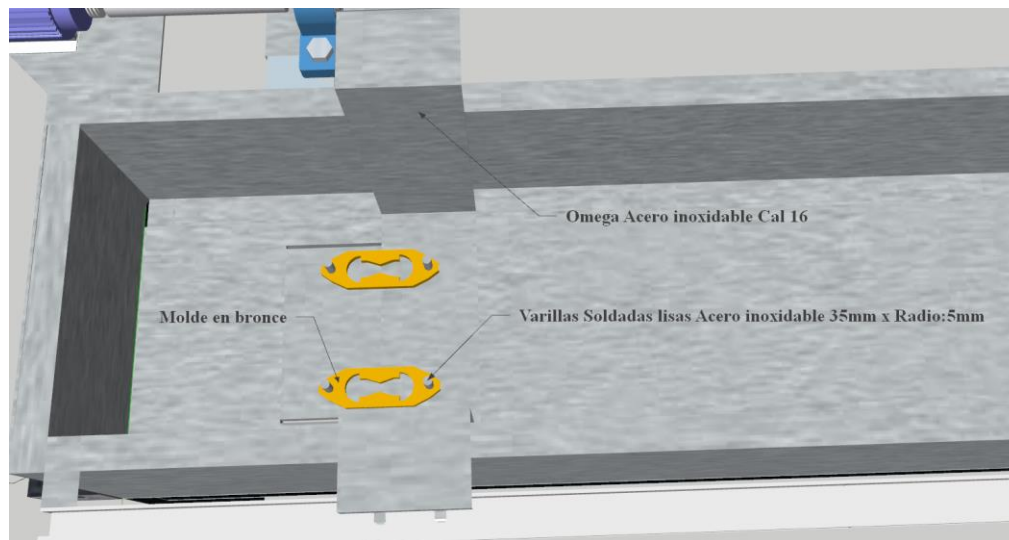


Figura 4 Diseño moldes en bronce sobre las omegas, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

Las dimensiones del molde están establecidas en las especificaciones de INV E-702-13, de esta manera se respeta las características como se muestra en la Figura 5.

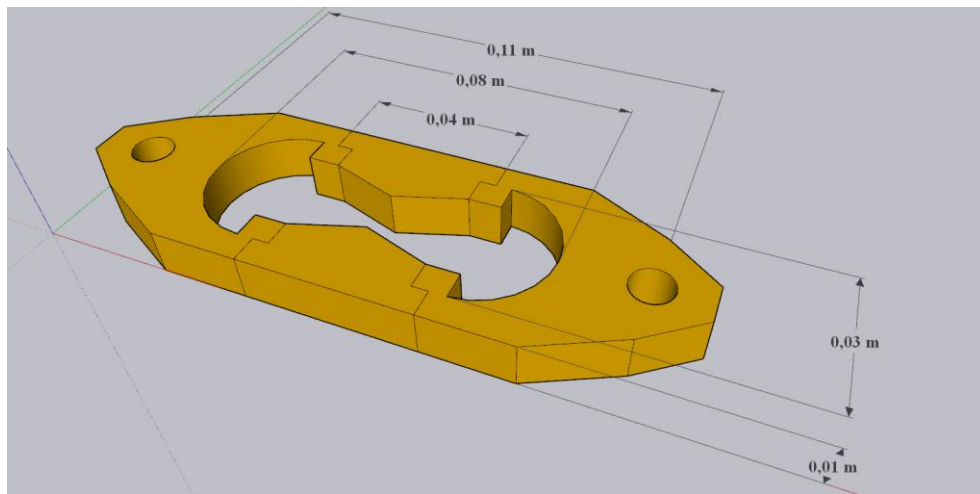


Figura 5 Especificaciones de molde en bronce, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

Finalmente se diseña la estructura metálica que sirve de soporte del ductilómetro, mostrada en la Figura 6 y sus especificaciones son; estructura metálica semi acerado calibre 16 cubierta de pintura electroestática color negro, dimensiones; largo 1884 mm, ancho 250mm, alto 600mm y espesor 30mm.

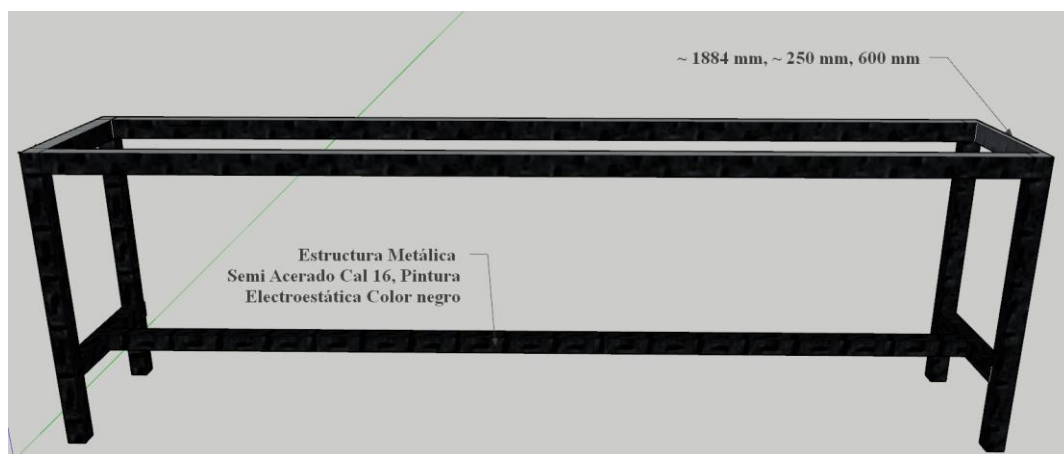


Figura 6 Diseño base metálica, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022)

Presentación del render final 3D (Ductilómetro)



Figura 7 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial)

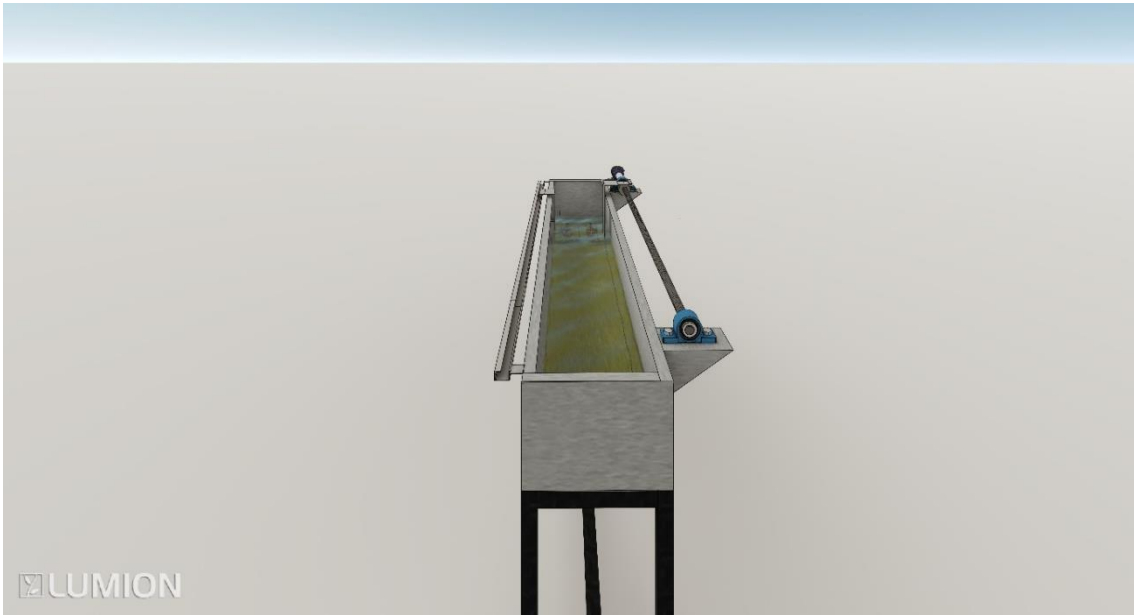


Figura 8 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial)

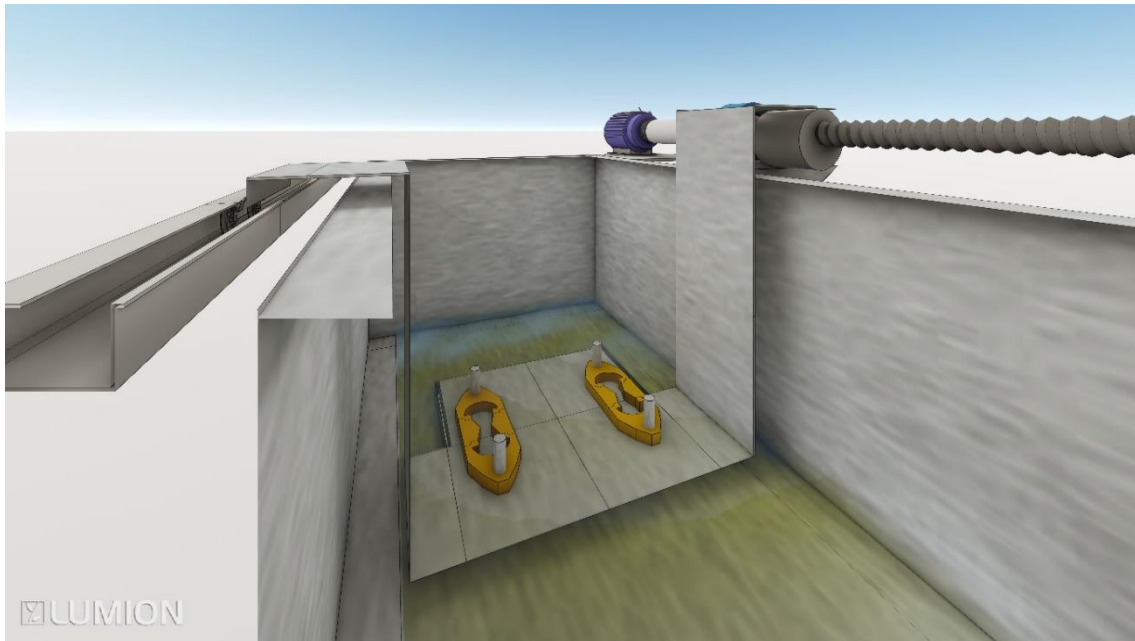


Figura 9 Diseño ductilómetro, Fuente propia software utilizado (SketchUp Pro-2022) y (Lumion 12.3 Trial)

El diseño de la máquina ductilómetro se llevó siguiendo los lineamientos de las especificaciones 702 del INV-E-2013. En la Figura 10 se presenta el equipo ductilómetro realizado, mencionado sus partes, instalado en la universidad cumpliendo especificación INV-E-702.

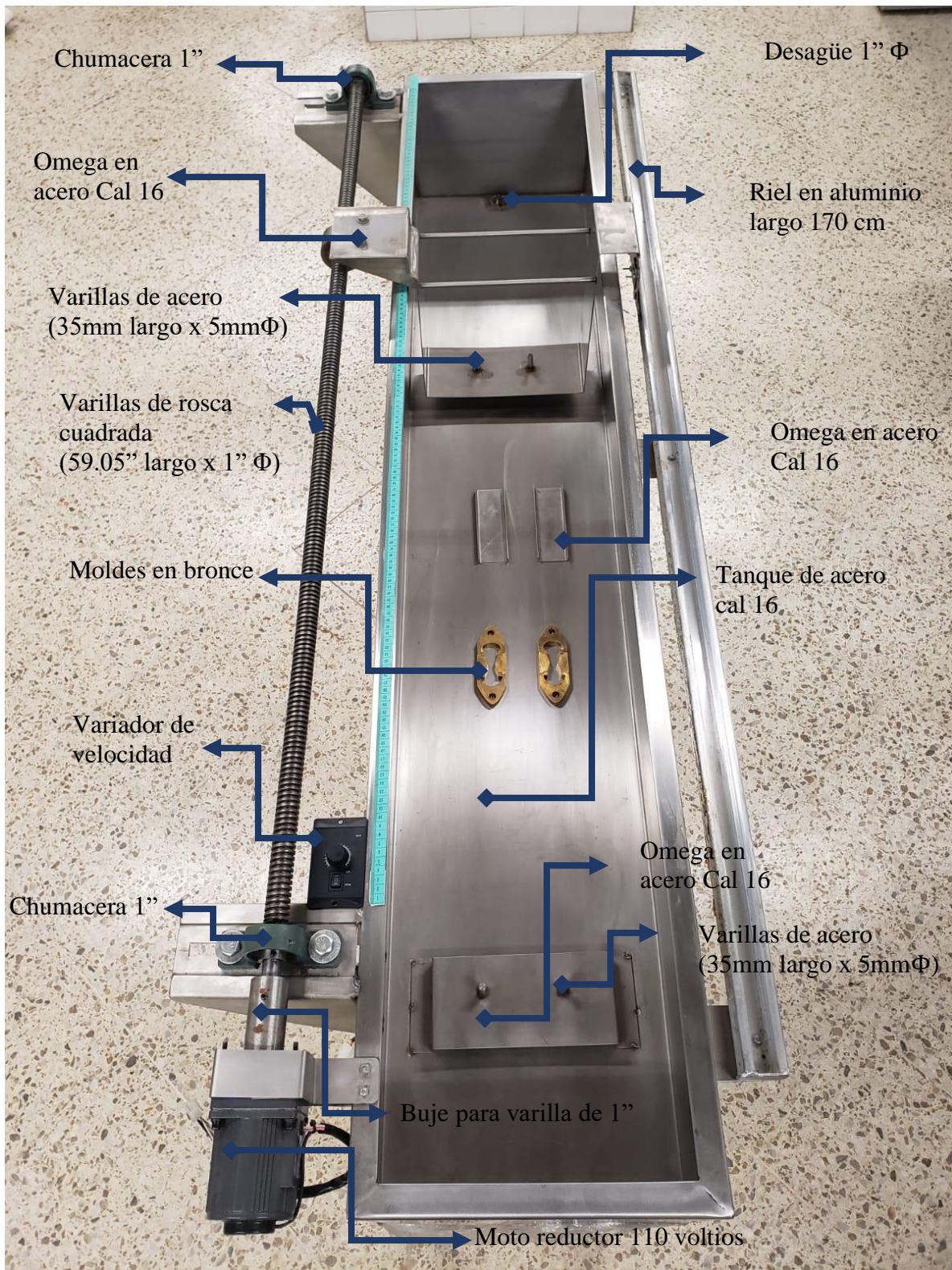



Figura 10 Equipo ductilómetro, Fuente propia

3.2. ETAPA EXPERIEMNTAL EN LABORARIO.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la ficha técnica del ductilómetro, Siguiendo los lineamientos de la especificación 702 de INV-E 2013.

Tabla 1 Ficha técnica del ductilómetro, Fuente propia

FICHA TÉCNICA EQUIPO		
EQUIPO	Ductilómetro	
<p>El ductilómetro es un aparato para efectuar ensayos de tracción. Se emplea para determinar el índice de ductilidad o el coeficiente de restitución elástica. Consta de un baño de agua en el que se sumergen las probetas, provisto de un mecanismo de arrastre, capaz de separar a una velocidad especifica un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. El sistema de medición permite la lectura de la deformación de la muestra.</p>		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Materiales	acero inoxidable (tanque), bronce (moldes)	EQUIPO
Dimensiones	largo (183cm) altura, (100cm) fondo (40cm)	
Peso del equipo	70 kg	
Motor	motor reductor con variador (30 watos, 15 rpm, 110v)	
Accesorios incluidos	2 moldes en bronce	
Desplazamiento máx.	150cm	
Rango de velocidad	0,25 cm/min a 5 cm/min	
Rango de temperatura	ambiente +5 °c a 60 °c	
Vida útil	10-15 años	
Mantenimiento	cambio de barra cada 5 años, se recomienda mayor cuidado con (El interruptor del motor)	
Especificaciones según el INVIAS E-702-13		

El ductilómetro debe ser instalado en una superficie estable, libre de vibraciones mecánicas y/o radiación solar. Se recomienda dejar una distancia de aproximadamente de 20 a 30 centímetros de espacio libre en los costados del equipo para facilitar su aseo. Así mismo, verificar que la fuente de corriente sea la indicada teniendo en cuenta que el equipo suministrado está preparado para operar con una alimentación eléctrica de 110Voltios. Finalmente, hay que asegurar que todas las piezas móviles están completamente aseguradas antes de iniciar cualquier procedimiento. El equipo consiste en ser manipulado principalmente mediante un control de mando (variador) siendo el elemento que permite operar el equipo, sus funciones se indican en la Figura 11 de la siguiente manera.



Figura 11 Indicaciones uso del variador, Fuente propia.

Funciones:

1. Pantalla revoluciones por minuto
2. Botón (regulador de velocidad)
3. Interruptor (Encendido y Apagado)
4. Encendido (run): El encendido se hace poniendo el interruptor en run. (Botón arranque)
5. Apagado (stop): Botón de regresión de la maquina

Indicaciones:

- Para la realización de ensayos óptimos, se debe mantener una temperatura estable.
- Verificar que el indicador de longitud (la omega) se encuentre alineada con la placa fija para dar inicio al ensayo en cero.
- Configurar el variador en el rango establecido para obtener la velocidad deseada.
- Medir la distancia en centímetros.
- Transportar la omega de retorno a la posición inicial después de la realización del ensayo.
- La gravedad específica del baño, se podrá ajustar mediante la adición de cloruro sódico (sal) al agua para prevenir que el material bituminoso llegue a la superficie o toque la parte inferior del tanque durante el ensayo.

El manejo de la muestra debe hacerse de acuerdo con las especificaciones del ensayo utilizado por el manual del usuario. Coloque los accesorios necesarios, asegurando su alineación en las guías incorporadas en el equipo y realizar el montaje de las probetas (moldes).

Para evitar la adherencia del material en las superficies de la placa y el interior de las superficies de las partes del molde, se cubren con una ligera capa de glicerina o vaselina, montándose a continuación el molde sujetándolo sobre la placa, la placa con el molde se coloca sobre una superficie horizontal comprobando que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la placa.

3.3 MATERIALES

Para este estudio se utilizó un asfalto convencional 60/70 y un asfalto modificado con GCR, el cual se compone de 80% asfalto convencional y 20% GCR. En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados de caracterización física. Según los resultados obtenidos, es posible evidenciar que los mismos cumplen con los protocolos para la fabricación de mezcla de concreto asfáltico para

pavimentos. Lo anterior, también es coherente con los resultados obtenidos en investigaciones realizadas en la Universidad Piloto (Bastidas Martínez, J., Rondón Quintana, H., Contreras Zartha L., Forero Castaño S., & Rojas Rozo L. (2021) y (Bastidas-Martínez, J., Rodríguez-Joaquín, N., Torres-Daza, H., Rondón-Quintana, H., & Ruge-Cárdenas, J. (2020).

Tabla 2 Propiedades del cemento asfáltico CA 60-70

Ensayo	Método/Norma	Unidad	Requerimiento		Valor
			Min	Max	
Ensayo sobre la muestra original					
Penetración (25°C, 100g, 5s)	ASTM D-5	0.1 mm	60	70	61.1
Punto de ablandamiento	ASTM D-36-95	°C	48	54	52.0
Índice de penetración	NLT 181/88	-	-1.5	+0.7	-0.67
Gravedad específica	AASHTO T 228-04	-	-	-	1.022
Viscosidad dinámica (60°C)	AASHTO T - 316	Poises	1500	-	1750
Punto de inflamación	ASTM D3143	°C	230	-	338
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	ASTM D - 113	cm	100	-	>105
Asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en la película delgada rotatoria					
Pérdida de masa por calentamiento	ASTM D - 35-95	%	-	0.8	0.1
Penetración del residuo, en % de la penetración del asfalto original	ASTM D-5	%	55	-	81
Incremento en el punto de ablandamiento	ASTM D-36-95	°C	-	8	7.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3 Características del asfalto m modificado con GCR

Ensayo	Especificación	Unidad	Especificación	Resultado
Penetración 25°C	ASTM D-5	mm	25-75	45
Penetración 4°C	ASTM D-5	mm	15 min.	16

Punto de ablandamiento	ASTM D-36	°C	54 min	64
Viscosidad aparente 175°C	ASTM D-316	Pas	1.5-5.0	3.0
Resiliencia 25°C	ASTM D-5329	%	20 min	48
Punto de ignición	ASTM D-3143	°C	230 min	260
Penetración de los residuos después de la pérdida por calentamiento	ASTM D-2872	%	75 min	77

3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, están evidenciados los resultados de laboratorio de los dos ensayos de laboratorio planteados en la metodología; ensayo de ductilidad para asfaltos convencionales 60/70 y asfalto modificado con granulo de caucho.

3.4.1. ENSAYO DE DUCTILIDAD

El ensayo de ductilidad del cemento asfáltico es descrito por la especificación INV-E 702 (2013) y determinada por medio de una máquina denominada ductilómetro, mediante la distancia de elongación de una probeta de CA sometida a tensión. Para la fabricación de la probeta del ensayo (Ver Figura 12), el CA debe ser calentado y dispuesto en los moldes previamente ensamblados, teniendo cuidado de no incluir aire. Luego, es necesario acondicionar la probeta a temperatura ambiente por un tiempo de 30 a 40 minutos (tiempo de enfrió) y, posteriormente, en baño María a temperatura 25 ± 0.5 °C por un tiempo de 30 a 40 minutos. Seguidamente, la probeta es enrasada con ayuda de una espátula caliente con el fin de retirar el exceso de cemento asfáltico. Finalmente, la probeta es condicionada por un tiempo de 85 a 95 minutos y se realiza el montaje en el ductilómetro, a través de la remoción de la placa inferior y las placas laterales para la realización del ensayo. Para la correcta elongación de la probeta y reducción de la catenaria de la lámina de

asfalto, es necesario que el agua contenida en el ductilómetro tenga aproximadamente la misma densidad del cemento asfáltico. Para tal fin, es necesaria la adición de aditivos en el agua, tales como: alcohol metílico, cloruro de sodio o glicol de etileno. El ensayo consiste en someter tres probetas a la tensión por medio de una velocidad de deformación del equipo de 50 ± 2.5 mm por minuto. El resultado es el promedio de la distancia de elongación de tres probetas en centímetros. En caso de que el equipo tenga limitación en la longitud, el resultado es expresado como la máxima longitud más el símbolo (+). Ejemplo (150cm +) (Bastidas Martinez & Rondón Quintana, 2020)



Figura 12 Moldes con asfalto ya enrazados, Fuente propia

Los ensayos de ductilidad de los asfaltos convencionales 60/70 y modificados GCR al 20%. Para el siguiente análisis se obtuvieron diferentes resultados tanto para el asfalto convencional como el GCR, viendo notablemente grandes diferencias entre los dos tipos de asfalto, ya que las muestras de asfalto modificado con GCR presentaron resultados muy bajos e inversamente proporcionales con respecto a la concentración de llanta triturada, lo cual se interpreta como un material con un alto grado de rigidez y un bajo nivel de susceptibilidad a las deformaciones plásticas según (Figueroa Infante, Sánchez Castillo, & Reyes Lizcano, 2007), el GCR aumenta la rigidez del asfalto disminuyendo de esta manera la ductilidad y penetración. Mientras el asfalto convencional

60/70 cuenta con mejores propiedades para su elongación y cumplir con las especificaciones mínimas requeridas en INV-E 702 (2013).

CAPITULO 4

4.1 PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

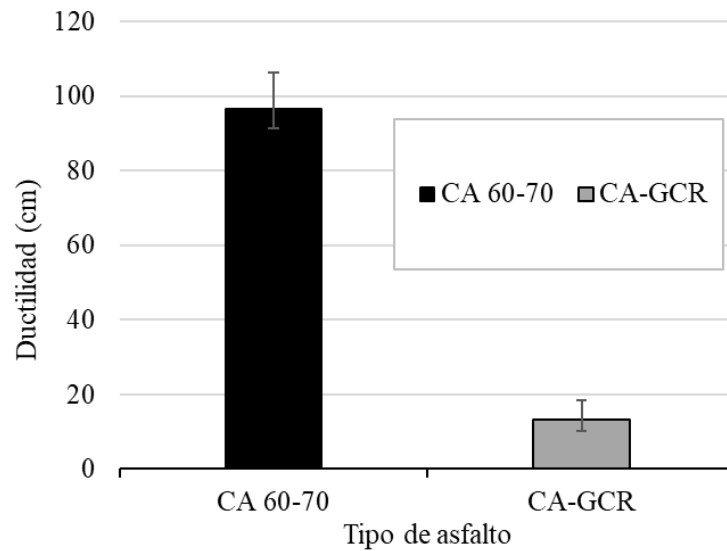
En esta sección se realiza el análisis de resultados de ensayo de ductilidad, donde el promedio de seis determinaciones establece las condiciones del ensayo, si en tres intentos sucesivos no se puede lograr un ensayo normal se expresa la ductilidad como no obtenible bajo las condiciones del ensayo. En la siguiente Tabla 4 se presenta los resultados del laboratorio para los asfaltos 60/70 los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4 Registro de resultados ensayo ductilidad asfalto 60/70 y asfalto GCR, Fuente propia

Lecturas	CA 60-70 (cm)	CA-GCR (cm)
1	98,0	16,0
2	102,0	8,0
3	93,0	16,0
4	87,0	16,0
5	100,0	12,0
6	100,0	11,0
Promedio	96,7	13,2
Mínimo	87,0	8,0
Máximo	102,0	16,0

Ahora bien, teniendo en cuenta que las probetas fueron ensayadas bajo las mismas condiciones de temperatura y dimensiones y recordando el concepto de ductilidad se puede inferir que la presencia o no de ductilidad en las probetas ensayadas indica la capacidad de elongacion del asfalto, según la lectura de resultados el asfalto convencional presenta una mayor capacidad de elongacion que la del asfalto modificado, esto puede deberse a la presencia de características nuevas fisico-mecánicas del caucho que modifica el cemento asfáltico.

En la Gráfica 1 se presentarán los valores comparativos de las lecturas obtenidas durante los ensayos de laboratorio realizados:



Gráfica 1 Registro de resultados ensayo Ductilidad asfalto 60/70 vs asfalto GCR, Fuente propia

Teniendo en cuenta que el asfalto modificado con GCR es menos dúctil como se aprecia en la Gráfica 1, tiene ventajas en las patologías de presencia de ahuellamiento u ondulaciones en la superficie, esto le permite la ventaja de evitar presencia de patologías a profundidades no deseables (McGennis, 1995), aunque con mayor porcentaje de material modificado (caucho) se presentarían varias desventajas lo que podría causar presencia de otras patologías en pavimentos como agrietamiento, patología causada por la baja ductilidad en la mezcla o poco contenido de asfalto como es el caso de ser modificado por caucho.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Luego de la fabricación del equipo, de su puesta en marcha y su operación, luego de realizar los ensayos de ductilidad en asfaltos convencionales 60/70 y en el asfalto modificado se obtienen las siguientes conclusiones:

De acuerdo con la investigación realizada y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se identifica que el asfalto convencional 60/70 sometido a condiciones establecidas como temperatura y velocidad es más dúctil en comparación con el asfalto modificado con caucho. Lo anterior, dado que presenta una mayor capacidad de elongación al ser sometido a tracción.

El asfalto modificado con GCR presenta ruptura en el ensayo de ductilidad más rápido debido a que las partículas de grano reciclado generan rompimiento de la matriz asfáltica, consecuencia de la falta de desintegración de las partículas de caucho en la matriz del asfalto. Esto resulta mayor cuando la temperatura de calentamiento del material antes de incorporar al molde es inferior a 180 C.

A pesar de que el asfalto modificado con GCR presentó menor ductilidad en referencia al asfalto 60/70. Sin embargo, el comportamiento en la mezcla asfáltica apunta a tener una mayor rigidez, recuperación elástica y consecuentemente una mayor resistencia a la fatiga en comparación a las mezclas con asfalto convencional. Dado que la presencia del GCR genera una mayor recuperación ante los ciclos de carga y descarga. Lo anterior según la literatura técnica consultada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda generar una adecuada lubricación de las platinas omega (plateadas) y moldes del ensayo con diferentes solventes de petróleo, a fin de no generar la adherencia del asfalto al molde y no tener datos errados en los resultados del ensayo.

Tener en cuenta el mantenimiento que se recomienda hacerle al equipo, realizar el cambio de la barra cada cinco años y los demás lineamientos de las especificaciones de la ficha técnica.

Seguir especificaciones técnicas, es necesario garantizar las condiciones del ensayo, en referencia a las temperaturas y tiempos que deben ser sometidos los materiales asfálticos según los indicados por INVIAS.

El equipo desarrollado e implementado es útil para investigaciones futuras que pueden tratar temas referentes al comportamiento de materiales, tales como la recuperación elástica, analizando diferentes aspectos tales como: tiempos de recuperación, temperaturas, longitudes de alargamiento, velocidades, entre otros. De ser realizado el ensayo de recuperación elástica, se debe garantizar los moldes de bronce con el objetivo de dar cumplimiento a las especificaciones del INVIAS 742 de 2013 o su especificación vigente.

Garantizar la temperatura ambiente del agua y una densidad cercana a la del asfalto. Asimismo, tener en cuenta las recomendaciones también descritas en los ensayos de ductilidad y recordar dar el tiempo correspondiente de recuperación a la muestra.

El ductilómetro está en condiciones para realizar el ensayo de recuperación elástica, ya que cuenta con las variaciones de velocidad y dimensiones que establece la especificación de dicho ensayo.

A excepción de los moldes referentes a la especificación 742 (INVIAS, 2013) ya que los moldes de la especificación 702 (INVIAS, 2013) son diferentes.

REFERENCIAS

Anderson, D.I & Wiley, ML (1976). Force ductility -- an asphalt performance indicator, vol. 45 Nueva Orleans, Lusiana. <https://trid.trb.org/view/53876>

Angius, E., Haibo, D., Simon, A. (2018). Durability assessment of asphalt binder, Construction and Building Materials, Board. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.037>

Asphalt Institute (Lexington, Ky.). (1983). Asphalt technology and construction practices: Instructor's guide. College Park, Maryland: Asphalt Institute.

Bahía, HU; Hanson, DI; Zeng, M.; Zhai, H.; Khatri, MA; Anderson, RM. (2001). Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design. Transportation Research Board. National Academy of Sciences.

Bastidas-Martinez, J. G., & Rondón Quintana, H. A. (2020). Caracterización de mezclas en concreto asfáltico. Universidad piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8146>

Bastidas-Martinez, J. G., Rondón Quintana, H. A., Contreras Zartha L., Forero Castaño S., & Rojas Rozo L. (2021). Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorporación de agregados reciclados de concreto. Rev. UIS Ing. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/10662/11265>

Bastidas-Martínez, J. G., Rodríguez-Joaquín, N. I., Torres-Daza, H. D., Rondón-Quintana, H. A., & Ruge-Cárdenas, J. C. (2020). Comportamiento de una mezcla asfáltica drenante empleando agregado reciclado de concreto y asfalto modificado con grano de caucho. Respuestas. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2418>

Canestrari, F.; Virgili, A.; Graziani, A.; Stimilli, A. (2015). International Journal of Fatigue,

Modeling and evaluation of self-healing and thixotropy properties for modified binders.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142112314002096?via%3Dihub>

Castro, W., Rondón, H., & Barrero, J. (2016). Evaluación de las propiedades reológicas y. Ingeniería. <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v21n1/v21n1a01.pdf>

Chaves, J., & Cruz, M. (2018). Sistema de recuperación superficial y mantenimiento de fisuras en pavimentos asfálticos.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20681/ChavesMejiaJoseAndresCruzOliverosMariaAngelica2018.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Figueroa Infante, A. S., Sánchez Castillo, A., & Reyes Lizcano, F. A. (2007). Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. Épsilon, <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1044&context=ep>

Flood, W H., (1935). Ductility at low temperatures. Board.
<https://trid.trb.org/view/726850>

Florez, J. (2021). Colombia Red Carretera. Logistics Assessments:
<https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.3+Colombia+Red+Carretera>

Guo, R., Nian, T., Zhou, F. (2020). Analysis of factors that influence anti-rutting performance of asphalt pavement. Advisory board.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820312423>

INVIAS. (2013). Ductilidad de los Materiales Asfálticos. Norma INVIAS sección 700
<https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/SECCIONES-700-Y-800-primera-parte.pdf>

Kandhal, P. (1977). Low-temperature ductility in relation to pavement performance. materials science - American society for testing and materials.

<https://books.google.com.co/books?id=TkvTHQPK8aMC&lpg=PA95&ots=5Y5tLGfHp9&dq=LowTemperatureDuctilityinRelationtoPavementPerformance.AmericanSocietyofTestingMaterials&pg=PA95#v=onepage&q&f=false>

McGennis, Robert B. (1995). Evaluation of physical properties of fine crumb rubber-modified asphalt binders. Transportation researchers record 1488.

<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1488/1488-007.pdf>

Rodríguez, A. (2004). Materiales Básicos [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech] Repositorio institucional de la Universidad Politécnica de Catalunya

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>

Taher, B; Moghaddam; Mohamed, R; Mahrez, A., (2011). Scientific research and essays A review on fatigue and rutting performance of asphalt mixes. Academic Journal.

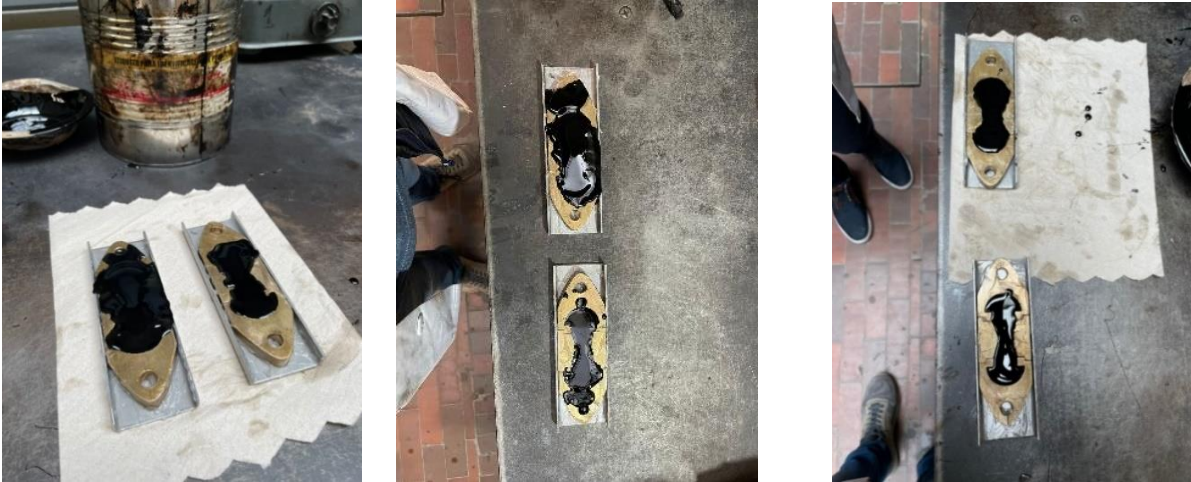
<https://academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/D84906922639>

Ucha, F. (agosto, 2010). Definición de asfalto. Definición ABC.

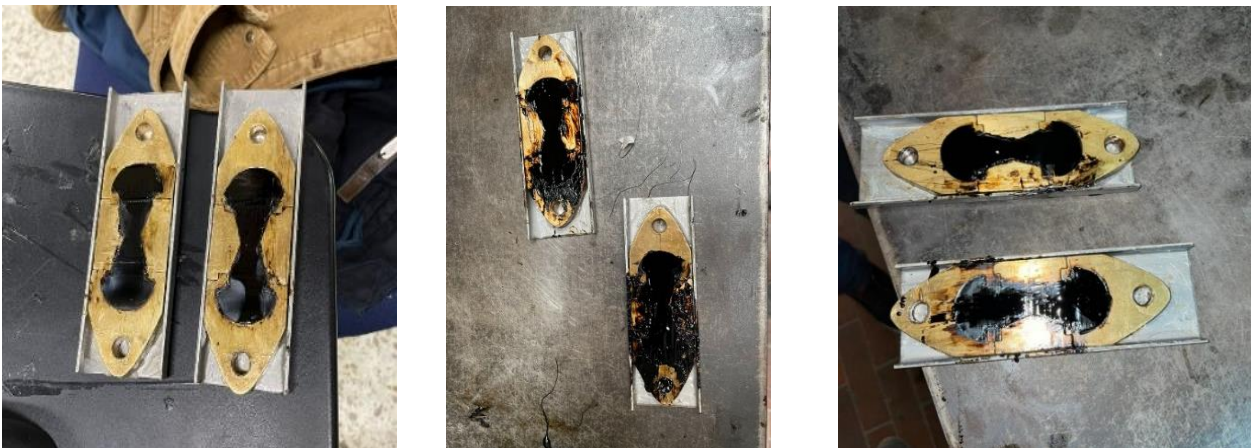
<https://www.definicionabc.com/general/asfalto.php>

Anexo 1: Registro fotográfico

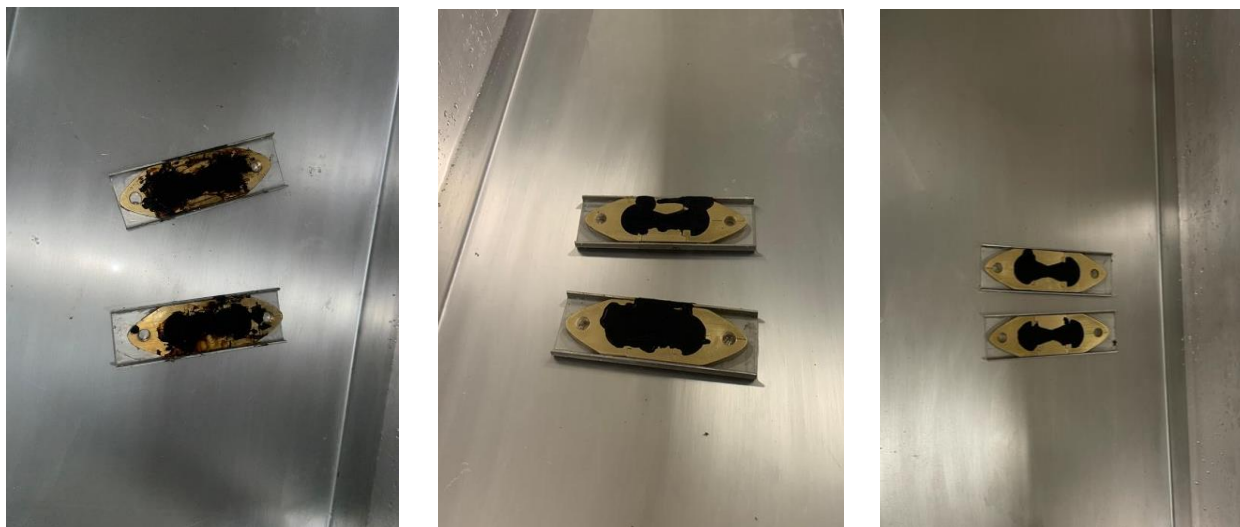
En el presente anexo se encuentra el registro fotográfico tomado en la universidad piloto de Colombia del ensayo de laboratorio ductilidad para asfaltos convencionales 60/70 y asfaltos modificados con GCR.



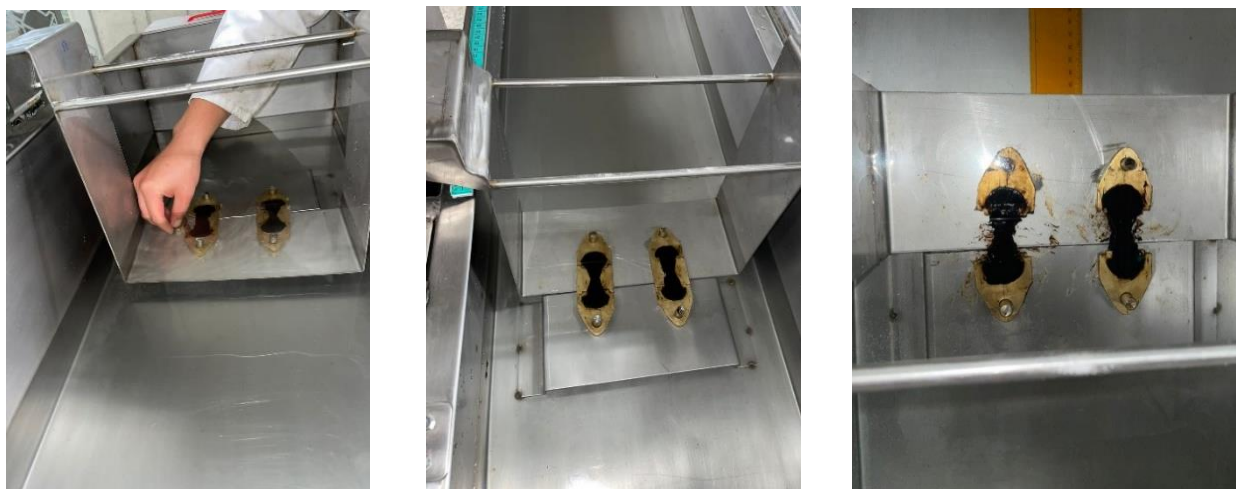
Moldes con asfalto sin enrazar, Fuente propia



Moldes con asfalto ya enraizados, Fuente propia



Moldes con asfalto en baño maría, Fuente propia



Moldes con asfalto en la omega, Fuente propia



Moldes con asfalto convencional 60/70 ensayo de Ductilidad, Fuente propia



Moldes con asfalto modificado ensayo de Ductilidad, Fuente propia

Anexo 2: Manual de usuario

Ir al manual del usuario que se encuentra en formato pdf.