

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- INTRODUCCIÓN

El Asfalto es un material viscoelastico de alta complejidad en donde su respuesta mecánica se ve afectada por varios factores, siendo la cristalización de asfalto el enfoque de este estudio.

Williams en 1955 afirma que la cristalización de asfalto es el factor que más determina las propiedades viscoelásticas del material amorfo. La transición a un estado vítreo esta siempre relacionada por un cambio en las propiedades mecánicas, óptimas y termodinámicas del material. El material muchas veces se vuelve brillante, rígido y quebradizo.

En este sentido, la mejoría en las tecnologías disponibles para caracterizar materiales ha crecido considerablemente por lo que en la actualidad, existe una gama de equipos y ensayos que miden diversas propiedades químicas, físicas y visco-elásticas de los ligantes asfálticos y los modificantes de los mismos.

Este proyecto busca estudiar el asfalto de calles en nuestro medio en sus diferentes condiciones. Estos asfaltos serán analizados, deducidos usando la comparación con las curvas de Lissajous, en donde térmicamente se buscaran las temperaturas del ambiente en la que pavimentado de los asfaltos es secado, con el fin de dilucidar su capacidad de disipar energía y susceptibilidad a la fatiga.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

El movimiento actual en pro de la elevación de los niveles de calidad de la educación superior en la casa de estudios dentro de la universidad, propone un esfuerzo clarificador sobre concepto de calidad y sus implicaciones de las transiciones y

porcentajes de cristalización del asfalto y su relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous, como perfil de proyecto de grado.

A nivel mundial, se experimenta un incremento de cargas y cantidad de vehículo de rodadura sobre los pavimento asfálticos (flexibles), originando la necesidad de prestar mayor atención a todos los aspectos relacionados “al ciclo de vida del pavimento” con la finalidad de obtener menores costos de mantenimiento.

Es importante conocer la situación de los asfaltos en nuestra red vial del departamento, el estado es importante desde un punto de vista de comodidad, rapidez y seguridad a los usuarios. Así, De la misma manera, es importante determinar cuándo un camino estará dañado o con problemas para transitar, además de puntos o tramos críticos con alta probabilidad de daños en el asfalto. Esto es de gran ayuda para jerarquizar las obras viales y fijar prioridades de construcción.

Entonces la presentación del tema de proyecto se considerara como una investigación necesaria dentro de la ingeniería de civil al proporcionar a las empresas constructoras una investigación relevante del asfalto el cual nos brindara la capacidad del material de disipar energía y la susceptibilidad de este a la fatiga, al momento de diseñar un pavimento y proponer acciones concretas para su construcción o reconstrucción.

Una vez obtenido las características reológicas en la que se diseñaran las calles con pavimento asfáltico en nuestra ciudad de Tarija comenzaremos el estudio de las transiciones y porcentajes de cristalización del asfalto y relacionaremos su desempeño usando las curvas de Lissajous dando realización de la investigación requerida en nuestro medio.

1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1.- SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Cabe recalcar en los últimos años el cambio climático ha variado demasiado con lo referido anualmente en pasados años, estos cambios bruscos provocan muchas situaciones fundamentales en nuestra población, pero como es de necesaria

característica una situación es la cristalización del asfalto a bajas temperaturas provocando el resbalamiento, choques y hasta el volcamiento de algunos vehículos cobrando a veces hasta vidas.

Las temperaturas críticas a fatiga de las diferentes muestras de asfalto, se verificaran el cambio en las propiedades mecánicas de los asfaltos. Haciéndose a simple vista la cristalización del asfalto provocando que la superficie se vuelva quebradiza y acaben formándose grietas, entonces una vez determinadas las características del asfalto se usaran las curvas de Lissajous analizando y comparándolas, y así mismo nos dará una representación de la histéresis del material.

1.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

- Determinar las transiciones y porcentajes de cristalización del asfalto y su relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous, aplicando los diseños asfálticos elaborados según norma por la alcaldía en nuestra ciudad, para encontrar su capacidad de disipar energía y susceptibilidad a la fatiga.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre los asfaltos realizados por la alcaldía, solicitando el informe de calles pavimentadas durante los últimos tres a la dirección de obras públicas municipales de Tarija, para descubrir a través de las curvas de Lissajous su módulo complejo y ángulo de fase.
- Evaluar las características del tipo de asfalto usado en nuestra ciudad de Tarija, utilizando los ensayos de laboratorio, para especificar el cemento asfáltico que se utiliza en la pavimentación de calles y avenidas.
- Obtener las caracterizaciones de los agregados de la mezcla asfáltica, mediante los ensayos de peso específico, desgaste de los ángeles, caras facturadas, equivalente arena, durabilidad, Laminaridad, chatas y alargadas y límites.

- Inquirir la dosificación tipo de la mezcla asfáltica usada en todo el desarrollo de las calles pavimentadas por la institución encargada, en base a diseños realizados anteriormente y así trabajar con ellos los estudios de la investigación.
- Utilizar las curvas de Lissajous, mediante las características del área de proyecto, para determinar la capacidad de disipar energía y la susceptibilidad a la fatiga de todos los estudios elaborados.
- Evaluar otro tipo de asfalto que también sea usado en nuestro medio, en base a la determinación del porcentaje óptimo para la mezcla asfáltica en el diseño Marshall y así poder generar más estudios en la investigación.
- Encontrar la disipación de energía y susceptibilidad a la fatiga, utilizando las curvas de Lissajous en los nuevos estudios realizados con el otro tipo de asfalto y así realizar una comparación de los mismos.

1.5.- HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez halladas las características del asfalto y a su vez las especificaciones y porcentajes de asfalto usado en las mezclas asfálticas para el desarrollo del pavimento en esta etapa de proyecto en nuestro medio podremos determinar una relación de desempeño de los mismos a partir de la comparación las curvas de Lissajous predeterminando así la capacidad de estos asfalto y su susceptibilidad a la fatiga.

1.6.- VARIABLES DE LA INVESTIGACION

1.6.1.- VARIABLE DEPENDIENTE

Transición y porcentajes de cristalización del asfalto

1.6.2.- VARIABLE INDEPENDIENTE

Relación con las curvas de Lissajous

VARIABLE INDEPENDIENTE				
	OPERACIONALIZACIÓN			
VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR-ACCIÓN TECNICA
RELACION CON LAS CURVAS DE LISSAJOUS	Las curvas de Lissajous ofrecen información de la respuesta del material al esfuerzo aplicado, conforme se acerca la curva a los 10°C la histéresis del material aumenta casi llegando a valores cercanos a los 45 °C, en donde la componente elástica del material domina. Por arriba de los 25 °C se muestra una relajación en la histéresis del material y este tiende a disipar energía deformándose.	Angulo de Fase	°C	G''>G'

VARIABLE DEPENDIENTE				
	OPERACIONALIZACIÓN			
VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR-ACCIÓN TECNICA
TRANSICIÓN Y PORCENTAJES DE CRISTALIZACIÓN DEL ASFALTO	Las transiciones y porcentajes de la cristalización del asfalto provoca que la superficie se vuelva quebradiza y acaben formándose grietas	Modulo del asfalto	°C	°C

1.7.- DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1.- COMPONENTES

1.7.1.1 UNIDAD.-Relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous.

1.7.1.2 POBLACIÓN.- asfalto

1.7.1.3 MUESTRA.- transiciones y porcentajes de los
asfaltos.

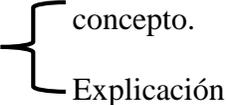
1.7.2.- MÉTODOS

Se utilizara la aplicación de la inducción como método de investigación científica se halla presente en la formación de la hipótesis, la investigación de las leyes y las demostraciones. El método inductivo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares, en el que se puede distinguir cuatro pasos esenciales:

- La observación de los hechos para su registro
- La clasificación y el estudio de estos hechos
- La derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización
- La contratación

1.7.3.- TECNICAS

La técnica a utilizar será:

- Análisis de la relación comparativa.
- Ordenar las etapas de la investigación.
- (Ensayo-experimental) 

1.8.- ALCANCE

Para el proceso de esta investigación necesario como tema de proyecto de grado, se iniciara el proceso de caracterización de los asfaltos usados de la ciudad de Tarija, por lo mismo para poder tener una solvencia del estado y situación problemática de los

mismos, por consiguiente se realizarán los ensayos debidamente de caracterización de los asfaltos, y a su vez se tendrá que inducir las propiedades térmicas del asfalto, teniendo en cuenta su oxidación y ya que en esta etapa el material sufre cambios en la forma en que el material disipa energía, conforme el ligante se envejece u oxida experimenta un aumento la rigidez de su estructura hasta el punto tal que su única forma de falla es la Fatiga. Se realizará el estudio en el módulo del asfalto donde se realizará una lectura de temperatura a las muestras entre los 10 y los 40 °C, usando las temperaturas de exposición del asfalto en las carpetas de Tarija, aplicando las Curvas de LISSAJOUS y comparándolas con el módulo del material. Para terminar toda la investigación como la finalidad del mismo se ejecutará la comparación y la relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous y el ángulo de fase de los asfaltos. Donde la comparación de estas muestras ofrecerán información de la respuesta del material al esfuerzo que están sometidos diariamente, entonces en la relación a el asfalto oxidado en el Pavimento es notable la tensión que el material mantiene en su estructura, con lo que el material se fatiga a altas temperaturas.

Para mejorar la investigación se realiza un nuevo análisis determinando la objeción del proyecto, utilizando otro tipo de material asfáltico el mismo que es usado en el diseño de carpetas asfálticas en nuestro medio pero con un elevado costo, debido a la mayor seguridad que brindará a la estructura asfáltica y dará mejor seguridad y confort a los conductores que transiten sobre la misma.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE CEMENTOS ASFÁLTICOS

2.1.- GENERALIDADES

2.1.1.- Definición y procedencia del asfalto

El asfalto es un material de color oscuro, que presenta propiedades ligantes y aglutinantes, conformado por una serie muy compleja de elementos y compuestos en los que sobresalen los hidrocarburos; soluble en gran parte en disulfuro de carbono, presenta consistencia semisólida a las temperaturas ambientes ordinarias pero tiende rápidamente a la liquidez al incrementarse la temperatura. Esta última propiedad ha permitido adecuarlo a muchos usos en la construcción de distintas obras civiles.

El asfalto, como se verá más adelante, es parte integral de muchos petróleos en los que existe solución. Mediante el proceso de refinación se separan las fracciones volátiles quedando el asfalto como residuo de dicho proceso, en procesos de destilación natural a través de millones de años, se han formado de destilación natural a través de millones de años, se han formado depósitos naturales de asfalto, algunos libres de impurezas y otros en los que se encuentra mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales e que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comúnmente con el nombre de asfalto de roca a roca asfáltica.

2.1.2.- Nomenclatura

Debido a la gran antigüedad del asfalto, existen numerosos términos relativos a dicho producto, los cuales son repetidos en todos los idiomas con acepciones levemente diferentes, lo cual ha ocasionado cierta confusión.

La palabra asfalto proviene de la palabra ASPHALTE que procede del acadio, lengua hablada en Asiria, entre los años 1600 y 1400 a.c. en esta zona se encuentra en efecto la palabra SPHALTO lo que significaba <<lo que hace caer>> la palabra fue adoptada después por los griegos, en tiempos de Homero, bajo la forma: *σφαλις ης* adjetivo que significa <<el o lo hace caer>> y *σφαλις* cu verbo que significa <<hacer caer, hacer

deslizar>>. Por adición de la partícula privativa α se obtiene $\sigma\varphi\alpha\lambda\zeta$ cu significa << el o lo que impide caer, que refuerza, que consolida>>.

De esta manera fueron evolucionando en más términos hasta llegar a $\sigma\varphi\alpha\lambda\zeta$ o $\delta\eta\varsigma$ que significa Bituminoso, pasando luego al latina y más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt).

La palabra Bitume proviene del sanscrito, donde la palabra Jatu se refería al pez deformando hasta tomar la forma GWITUMEN o PIXTUMEN (adjetivos sinónimos de pegajoso), apareciendo en esta forma en el latín, simplificándose en BITUMEN, pasando luego al francés y de este al inglés. La palabra bitumen se conservó durante mucho tiempo en francés y solo en épocas muy recientes se eliminó la N, mientras que en el inglés se conservó.

Otra palabra muy difundida en el periodo comprendido entre los años 400 a.c. y 650 d.c., es la palabra goudron, proveniente de la lengua aramea, igualmente, la palabra kodron designada en la lengua aramea (lengua semítica) los asfalto y betunes naturales abundantes en esa región. La palabra paso al árabe bajo la forma en kodranou, llegando al francés por intermedio del español, en el cual se sigue diciendo actualmente alquitrán, termino en el que se aprecia el origen árabe. Actualmente se dice katran en turco, el kotranou en árabe y ghatran en farsi.

En la actualidad existe una terminología adoptada oficialmente en casi todos los países del mundo los principales término con los siguientes:

BITUME (betún). Mezcla de hidrocarburos de origen natural, acompañando de sus derivados no metálicos. De consistencia liquida, aceitosa o solida; sustancia combustibles que se encuentra dentro de la tierra.

ASPHALTE. Betún solido preparado a partir de hidrocarburos naturales o derivados de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking. De consistencia solida con bajo contenido en productos volátiles, con propiedades aglomerantes y solubles en sulfuro de carbono.

ALQUITRAN (goudron). Material de consistencia viscosa y semifluida, de olor fuerte y penetrante y sabor amargo, resultante de la combustión y la destilación de las diferentes parte de los árboles, especialmente los pinos y los abetos.

2.1.3.- Reseña histórica

El asfalto es uno de los minerales más antiguos que se conocen. Tanto el hombre del neolítico como del paleolítico empleo betunes en la construcción. Se han encontrado esqueleto intacto de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en la brea cerca de los ángeles, california.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en el valle de Éufrates en Mesopotamia (actualmente Irak) y del indo, entre los años 3200 a 540 a.c. como un material cementante para la construcción de mamposterías y de caminos y como impermeabilizante para baños en los templos y otros depósitos de agua. Se dice que Noé lo uso para calafatear su arca y que también se empleó para sellar la canasta en que Moisés, siendo niño, fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300ª.c. los egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para los tratamientos de preservación y momificación de sus muertes (la palabra mumia significa betún en egipcio); el betún era utilizado era, utilizado para construir embarcaciones de juncos entretejidos. Los japoneses empleaban <<aceite de roca>> para la iluminación hace más de dos mil años, y se afirma q los chinos efectuaron perforaciones en busca del petróleo hacia el año 221 a.c. Herodoto explicaba en 450 a.c. la presencia de filtraciones en Persia y Grecia; igualmente Plinio explicaba como lo obtenían los romanos para alumbrarse. Los indios de América lo empleaban para impermeabilizar sus canoas, antes de que el hombre blanco llegara el nuevo continente; en México, los Totonacas de la región de Papantia lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina e incienso para sus ritos; alunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

Los usos médicos se mencionan también con mucha frecuencia; desde la época Asiria se utilizaba el betún en fumigaciones, mezclado con el azufre en unguentos o pomadas

para el tratamiento de esguinces y dislocaciones, en la preparación de tisanas para los dolores estomacales y en colirios, mezclándolo con aceites, entre otros usos.

Este uso medicinal fue desarrollado fundamentalmente por los árabes. En la edad media se utilizó en Europa para el tratamiento de enfermedades de la piel y como desinfectante; en periodos de epidemias se quemaban toneles de alquitrán y betún, en las calles y dentro de los hogares, para que los humos ahuyentaran los humores.

Las propiedades combustibles de los ligantes hidrocarbonados fueron también aprovechadas con fines bélicos o destructivos. Durante las cruzadas, se utilizaba en las batallas navales el fuego griego (bolas de betún encendidas que se proyectaban con una catapulta).

El betún natural de la isla Trinidad, descubierto por Cristóbal Colón, fue utilizado para recarenar las embarcaciones con el fin de poder afrontar el viaje de regreso. Un siglo después, Sir Walter Raleigh también quedó asombrado ante el espectáculo de este lago de betún y tomó posesión de él para la corona británica.

En el año 1802 de nuestra era, se usó asfalto de roca en Francia para el terminado superficial de pisos, puentes y bermas.

En 1838 se utilizó asfalto de roca importado para construir bermas en Filadelfia, Estados Unidos y en 1870 se colocó el primer pavimento asfáltico en dicho país, en la población de Newark, Nueva Jersey, por el químico belga E.J. Desmet, que usó roca asfáltica importada de valle de Rodano en Francia. En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica mencionada y también asfalto importado del lago Trinidad, cerca de Venezuela.

Los asfaltos empleados en estos primeros trabajos de pavimentación fueron desde luego asfaltos naturales, es decir asfaltos que se muestran en la naturaleza en forma de yacimientos y que podían explotarse sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

El uso del asfalto procedente de la destilación del petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XIX, contándose con las primeras refinerías por

el año de 1886. El primero pozo petrolero de América se perforó en 1859, cerca de la población de Titusville, Pensilvania. En 1902 ya se produjeron del orden de 20 mil toneladas de asfalto como producto de la refinación del petróleo.

A partir del año 1926, con el desarrollo de la industria automotriz y debido a las necesidades de contar con mejores vías de comunicación para el tránsito vehicular, la utilización del asfalto derivado del petróleo ha tenido un aumento sostenido en todas partes de mundo sobre todo en los países industrializados.

2.2.- TIPOS DE ASFALTOS

Los principales tipos de asfaltos son:

2.2.1.- Asfalto natural

Procesos análogos que ocurren en la naturaleza han formado depósitos naturales de asfalto, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros en que el asfalto se encuentra mezclado con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales en que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comúnmente con el nombre de asfaltos de roca o rocas asfálticas. Estos asfaltos naturales se manifiestan en diversas formas, entre las que se destacan las siguientes:

Manantiales.- se presentan en algunas fuentes de las que fluye el petróleo o asfalto líquido, generalmente en pequeña cantidad. Proviene comúnmente de depósitos de cierta importancia, con salida al exterior por alguna grieta de la roca.

Lagos.- a veces, manantiales como los descritos anteriormente, pero de un gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas. Pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el muy conocido de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, el cual es uno de los mayores yacimientos de asfalto natural en el mundo. El material en su estado natural, es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para su mejor aprovechamiento, se somete a sencillos procesos de refinación que eliminan las sustancias perjudiciales. Se dice que Colón lo usó para calafatear sus barcos en su viaje de regreso a España. El lago proporcionó la mayor parte del asfalto que se usó en los

Estados Unidos en los trabajos de pavimentación, antes de la producción en gran escala del asfalto derivado del petróleo.

Figura 2.1 Asfalto Natural. Lago de la brea-isla de Trinidad-Venezuela



Fuente: Elaboración propia

Exudaciones.- se presentan en rocas porosas saturadas de asfalto, de las que este fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

Impregnando rocas.-son bastantes frecuentes los yacimientos de rocas más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando parcial o totalmente los poros, pero sin llegar a exudar. La proporción de asfalto contenido en estas rocas puede variar dentro de límites amplios siendo de mayor utilidad aquellas cuya proporción de asfalto es mayor del 7%.

Filones.- son instrucciones de asfalto en masa rocosa, a través de grietas o fallas e algunos de sus estratos o bien, la sedimentación alternada de capas de asfalto y otros materiales. El primer origen generalmente da lugar a filones inclinados o verticales y el segundo a filones horizontales. Es el caso de la llamada GILSONITA que se encuentra en algunas regiones de los Estados Unidos formando filones verticales que se explotan a cielo abierto. Son famosos los filones de asfalto que se encuentran en el lecho del mar muerto. El asfalto contenido en ellos se denomina ASFALTIES, caracterizándose por su elevado punto de fusión; cuando se desprende de alguna cantidad de asfalto de estos filones, por efectos de terremotos u otras sacudidas, los

trozos de asfalto, por su menor densidad, flotan en la superficie, donde pueden recogerse. Este asfalto no se explota industrialmente, ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas. Representa un gran valor histórico ya que fue una de las primeras fuentes de suministros de asfalto en la antigüedad.

El asfalto natural es un material bituminoso natural en estado sólido compuesto por hidrocarburos de alto peso molecular en estratos que pueden ir de algunos centímetros a decenas de metros de espesor.

Presentan gran variedad en su dureza por lo que su punto de fusión puede ir de los 100 a más de 300 grados centígrados, determinando una sub clasificación dentro de este tipo de material.

Los contenidos de otros materiales de la veta son escasos porque se considera como un asfalto sólido puro. Los solventes son muy escasos, debido tal vez a su formación metamórfica, la cual genera, gracias a las grandes presiones y temperaturas, la pérdida casi total de su contenido de solventes.

2.2.1.1 Clasificación del asfalto natural.- Existe una gran variedad de depósitos de asfalto natural que se pueden separar en tres grandes grupos:

- Asfaltos con alto contenido de bitumen.- dentro de este grupo están clasificados los asfaltos sólidos o Asphaltites. Poseen un contenido de bitume mayor al 80%. Se encuentran en forma de vetas y bolsas que atraviesan generalmente estratos del cretáceo con espesores de pocos centímetros hasta varios metros, insoluble, y presentan un alto contenido de asfáltenos. Sus puntos de ablandamiento son altos, mayores de 132° C.

Según sus características físicas se agrupan en tres tipos:

A) Gilsonita.- es uno de los asfaltos nativos de mayor pureza; posee baja gravedad específica, bajo carbón fijo y bajo contenido de azufre.

B) Grahamita.- presenta un alto contenido de carbón fijo; al aplicarle calor se hincha pero no se funde. Su color en polvo es más negro que las demás asfálticas.

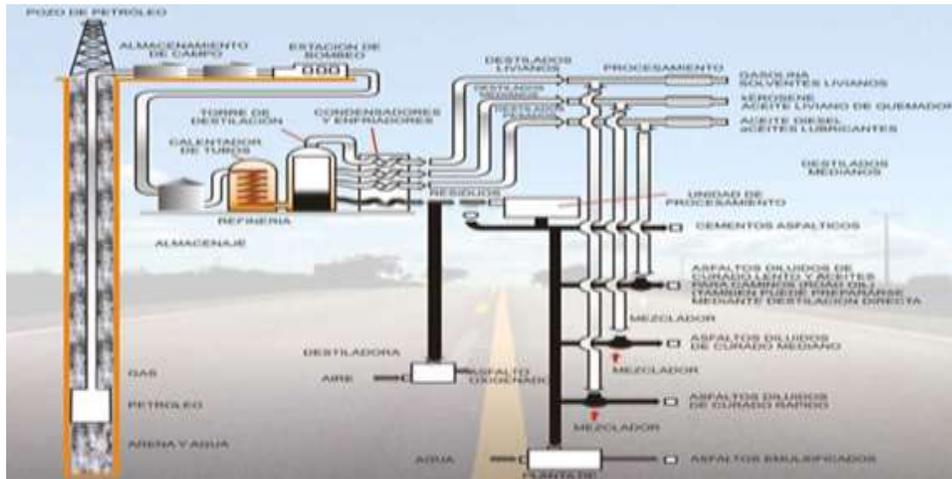
C) Giace Pitch.- es un intermedio entre las Gilsonita y la grahamita. Tienen un punto de fusión y gravedad específica más altos.

- Asfaltos con medio contenido de bitumen.- Generalmente se presentan como un depósito de afloramiento, de unos pocos metros cuadrados o en extensiones que abarcan varias hectáreas (lagos de asfaltos). Contienen bitumen en proporción del 15% al 80% y se encuentran asociados con materiales pétreos tipo gravas, arcillas, arenas y materia orgánica.
- Asfaltos con bajo contenido de bitumen.-Áridos (rocas y suelos) asociados con proporciones reducidas de productos bituminosos (rocas asfálticas). Estos depósitos normalmente consisten en vetas, bolsas o impregnaciones de estratos, por lo general areniscas, con espesores de pocos centímetros hasta varios metros. Con menos frecuencia se han encontrado asociados con pizarras y lutitas algo calcáreas o en intercalación de depósitos de calcita. La proporción de bitumen es menor que la existente en un lago de asfalto y generalmente varía entre el 3% y el 15%, aunque puede llegar hasta el 40%.

2.2.2.- Asfalto de petróleo

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en el mundo procede de la refinación del petróleo. El asfalto derivado del petróleo es llamado a veces ASFALTO RESIDUAL (residuo de la destilación del petróleo) para distinguirlo de los asfaltos naturales. Las implicaciones poco deseables que normalmente se atribuye a la palabra RESIDUAL han conducido a la industria del asfalto a preferir el empleo de la expresión “de destilación directa” que, sin embargo, es actualmente inexacta, ya que raramente se producen asfaltos del petróleo por destilación simple sin algún tratamiento posterior.

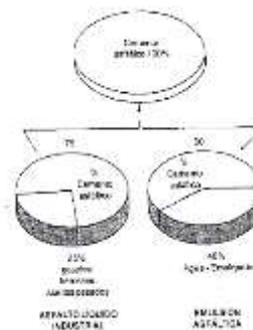
Figura 2.2 Asfalto de Petróleo. Diagrama de flujo.



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de asfalto es también conocido como Cemento asfáltico o Asfalto de penetración se designan por lo general con las letras AC y provienen de la refinación del petróleo o de la mezcla de una asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo). Se les considera como un material ideal para los trabajos de pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, poseen características de flexibilidad y durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de ácidos, sales y alcoholes. Son utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, ya que se necesitan altas temperaturas para disminuir su consistencia de tal manera que permita una buena envuelta de las partículas.

Figura 2.3 Materiales asfálticos para pavimentación.



Fuente: Elaboración propia

El producto que se obtiene en el fondo de la torre de destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, con dicho elemento se prepara el cemento asfáltico.

Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos, dependen del rendimiento en asfalto que presenta el petróleo. En los petróleos que presentan bajo rendimiento, se utiliza la destilación en dos etapas: una a presión atmosférica, seguida de otra al vacío. Si el rendimiento del asfalto es alto, basta la etapa de destilación al vacío.

El proceso más usado es la destilación en dos etapas; pues produce asfaltos normalmente sin necesidad de instalaciones especiales. Consiste en una separación física de varios constituyentes del petróleo, por la diferencia de sus puntos de ebullición y condensación.

El crudo es bombeado a una unidad, calentado convenientemente, y entra a la torre de destilación atmosférica donde es parcialmente vaporizado. Las fracciones más livianas se evaporan sobre la torre. La diferencia de temperatura a lo largo de la torre, provoca la condensación de estos vapores, formando corrientes líquidas, las que son retiradas lateralmente como productos específicos. Las fracciones más pesadas permanecen en estado líquido escurriendo al fondo de la torre, constituyendo la carga para la torre de fraccionamiento al vacío, después de un nuevo calentamiento.

En esta torre las condiciones de operación permiten concentrar el residuo asfáltico y las variaciones de estas condiciones permiten el ajuste de la penetración del residuo.

La penetración de un asfalto procesado es baja, con un aumento de la temperatura o vacío en la torre de fraccionamiento. Inversamente, temperaturas y vacíos menores producen asfaltos con penetraciones más altas. El asfalto procesado se denomina cemento asfáltico de petróleo y se clasifica según su operación.

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y se elaboran a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Se clasifican según su grado de dureza o consistencia, lo cual a través

de un ensaye de penetración en decimas de milímetros. Es así como podemos distinguir los tipos de CA 4'-50, CA 60-70, CA 85-100, CA 120-150, entre otros.

2.2.3.- Asfalto Líquido o asfalto rebajado

También se conocen con el nombre de Cut Back. Se componen de un cemento asfáltico y un fluidificante volátil que puede ser bencina, kerosene o aceite pesado. El fluidificante se adiciona al cemento asfáltico con el propósito de proporcionarle la manejabilidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los agregados a bajas temperaturas. Una vez elaborada la mezcla los solventes o fluidificantes inician el proceso de volatilización (proceso de curado), quedando un residuo denominado asfalto residual que envuelve y proporciona cohesión a las partículas de agregado.

Según el tipo de solvente adicionado, se obtienen tres tipos de asfaltos líquidos. Los de curado rápido (RC) cuando el solvente adicionado es gasolina, curado medio (MC) si el solvente es kerosene y curado lento (SC) si el solvente es un aceite ligero. Se designan con las letras correspondientes a la velocidad de curado seguida de un número que indica su viscosidad cinemática. Por su manejabilidad y baja consistencia se utilizan para elaborar mezclas asfálticas en frío.

Figura 2.4. Asfalto Líquido.



Fuente: Elaboración propia.

La forma más frecuente de fluidificar un cemento asfáltico para manejarlo durante los procesos de bombeo, mezclado y colocación en obra, es calentándolo a una temperatura

alrededor de 135°C. Existen otros métodos, como su dilución mediante solventes del petróleo previamente seleccionado, obteniendo los asfaltos líquidos o CUT-BACK, también denominados ASFALTOS REBAJADOS O FLUIDIFICANTES. El principio de aplicación de estos ligantes consiste en que una vez colocado, los solventes inician el proceso de volatilización dejando al cemento asfáltico en condiciones óptimas para el cumplimiento de su objetivo.

Definición.- según el Instituto Norteamericano del Asfalto, el asfalto líquido se define como: “material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es de 300”.

Están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil, de naturaleza compatible con la del cemento asfáltico con el fin de evitar la precipitación de asfaltenos. Lo ideal es utilizar solvente que procedan del mismo crudo asfáltico el fluidificante que puede ser bencina, kerosene o aceite, se adiciona para proporcionar al cemento asfáltico la viscosidad necesaria para poderlo mezclar con los agregados pétreos a temperaturas bajas (alrededor de 70 °C). una vez aplicados, los solventes o fluidificantes se evaporan (proceso de curado) en un tiempo más o menos largo dependiendo de su naturaleza, quedando como residuo el cemento asfáltico, el cual envuelve y proporciona cohesión a las partículas de agregado.

2.2.4.- Las Emulsiones Asfálticas

Antecedentes históricos.- las emulsiones asfálticas aparecieron comercialmente en Europa a principio del siglo XX, en Nueva York, en el año 1905, se utilizó las emulsiones aniónicas como riego anti polvo. En el estado de Indiana, se utilizó para trabajos de reparación de caminos en el año 1914. En Hamburgo, Alemania, se construyó una capa de rodadura asfáltica tipo de tratamiento superficial múltiple, empleando una emulsión asfáltica estabilizada con arcilla muy activa como emulgente.

Las emulsiones aniónicas se empezaron a utilizar en Europa en el año 1925, aprovechando los ácidos Nafténicos del cemento asfáltico, los cuales actúan como

emulsificante al reaccionar con una solución de agua y soda caustica y sometiéndola a una enérgica agitación.

En México tuvieron un gran auge entre los años 1930 y 1935. El gran inconveniente fue el prolongado tiempo de rompimiento que causaba grandes atrasos en las obras. Por esta razón, fueron reemplazadas en un alto porcentaje por los asfaltos rebajados.

En la década de los años 50, la aparición de las emulsiones catiónicas en Europa y Estados Unidos, coincidió con la fabricación de nuevos productos químicos tensoactivo. Estas emulsiones se utilizaron inicialmente en la construcción de riegos de imprimación y de liga. Las investigaciones realizadas en este campo tenían como objetivo encontrar un emulsificante para producir una emulsión de rompimiento lento, para mezclarla con agregados de granulometría cerrada y poder construir bases y capas de rodadura.

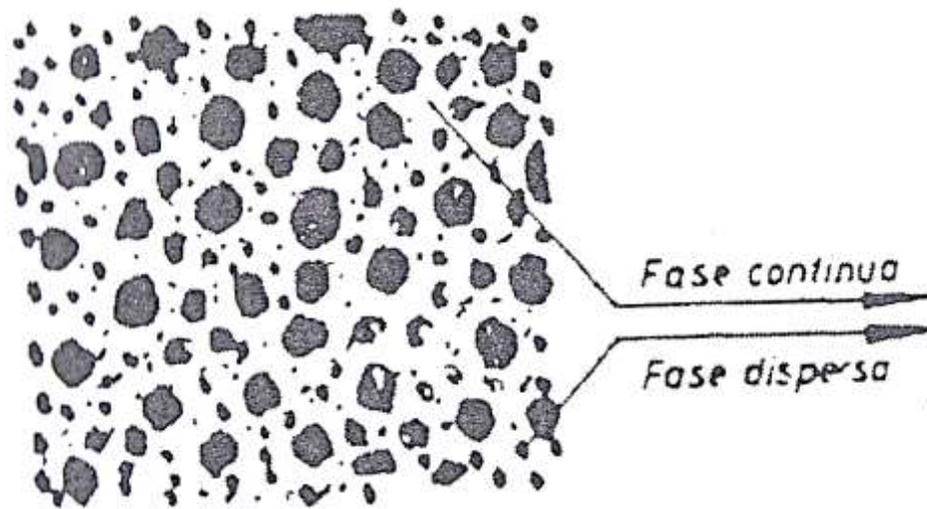
En el año 1973, el incremento del costo de los crudos del petróleo, afecto el costo de los asfaltos rebajados y su empleo fue cada vez menor, dando lugar a un aumento en la producción y aplicación de las emulsiones asfálticas.

Actualmente los principales países de Europa utilizan este ligantes bituminoso en la tecnología en frio, riegos de imprimación y de liga.

Definición.- una emulsión es una dispersión fina de cierto grado de estabilidad de un líquido en otro, no miscibles entre sí. En la naturaleza hay numerosos ejemplos de emulsiones, como el látex natural, algunos aceites vegetales, etc.

En la emulsión que se utiliza en la tecnología en frio se pueden distinguir dos fases: una DISCONTINUA conformada por las gotitas esféricas de cemento asfaltico y una CONTINUA conformada por el medio en el cual se dispersan (figura 6.1).

Figura 2.5. Fases en una emulsión asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

El diámetro de los glóbulos de asfalto en una emulsión asfáltica o bituminosa está comprendido entre 3 y 8 micras, lo que hace incrementar la superficie específica del cemento asfáltico, favoreciendo el mojado, distribución y cohesión con las partículas de agregado.

El cemento asfáltico es por naturaleza hidrófobo, lo cual provoca la unión entre glóbulos dando lugar a otros de tamaño mayor, provocando la separación del cemento asfáltico y del agua. Para evitar la coalescencia de los glóbulos de cemento asfáltico se adiciona un agente estabilizador emulgente o emulsificante.

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles, como son el asfalto (60%-70%) y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie (0,2%-1%), tensoactivo o emulsificante, de base jabonosa o solución alcalina, el cual mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos de asfalto de tamaño entre 1 y 10 micrones.

Cuando la emulsión se coloca en contacto con los agregados se produce un desequilibrio eléctrico que la rompe, llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado; el agua fluye o se evapora separándose de las partículas pétreas

recubiertas por el asfalto. Existen diversos tipos de emulsificaciones que hacen que esa separación o rotura sea instantánea y otras que retardan ese fenómeno. De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser: de rompimiento rápido (RS), de rompimiento medio (MS) y de rompimiento lento (SS).

Las emulsiones asfálticas deben ser afines a la polaridad de los agregados con el propósito de tener buena adherencia. Esta cualidad se la confiere el emulsificante, el cual puede darles polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas las primeras, afines a los agregados de origen calizo, y catiónicas, las segundas afines a los agregados de origen silíceo o cuarzoso. Las emulsiones catiónicas se designan con las mismas letras anteriores anteponiéndoles la letra C, como por ejemplo las emulsiones catiónicas de rompimiento lento CRS-1.

Figura 2.6. Emulsión Asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.- Los crudos del petróleo

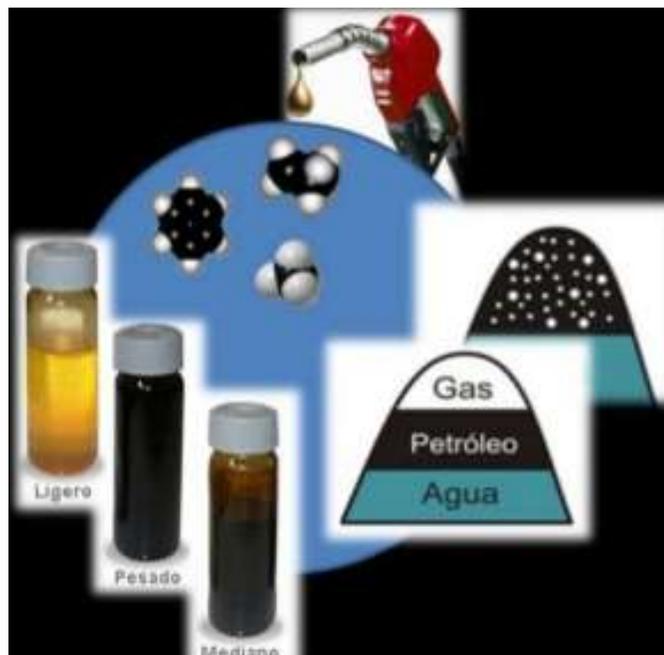
El petróleo es el combustible preferido del siglo XX, y se ha convertido en una necesidad de la civilización moderna. El valor de sus productos supera al de cualquier otro mineral empleado por el hombre, y dependen de en la industria, los transportes y la guerra de los tiempos modernos.

Siendo un fluido, el petróleo se extrae rápidamente y a bajo costo de la tierra. Su movilidad permite que tanto el cómo sus productos sean transportados y manejados son grandes costos. La gran demanda del petróleo ha podido ser atendida gracias a la contribución de la geología a su búsqueda y extracción.

Definición.- la palabra PETROLEO proviene de las palabras latinas PETRA: roca y OLEUM: aceite, que significa “ACEITE DE ROCA”. El petróleo obtenido de los pozos en un líquido más o menos espeso, de densidad inferior a la del agua, muy viscoso y formado por una mezcla de diversos hidrocarburos líquidos. Se extrae de yacimientos naturales que se explotan en muchas partes del mundo. Mediante la destilación fraccionada del petróleo se obtiene: gasolina, bencina, parafina, asfalto y muchos otros productos derivados que tienen importantes aplicaciones industriales.

Por lo general se utilizan en su forma natural, aprovechando sus propiedades ligantes, alto contenido de asfalto residual y grado de volatilización de los solventes que lo conforman.

Figura 2.7. Los crudos del petróleo.



Fuente: Elaboración propia.

2.3.- PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS

2.3.1.- PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

En la actualidad no hay una prueba normal para la composición química de asfalto que sea aceptada.

Los ensayos existentes para analizar composiciones requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfalto.

La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento de la estructura del pavimento es todavía incierta.

De todas maneras, una breve descripción de la química del asfalto ayudara a que el supervisor entienda la naturaleza del material.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunos residuos de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto con un heptano, puede separarse en dos partes principales, asfáltenos una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso del grafito.

Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los máltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas. La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregados usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en la partícula de los agregados.

Las reacciones que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburos con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más para formar una sola molécula más pesada) y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto.

2.3.2.- PROPIEDADES FISICAS DEL ASFALTO

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento que a continuación se definen:

Durabilidad: es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Sin embargo existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto, estas son las pruebas de PELICULA DELGADA EN HORNO y LA PRUEBA DE PELICULA DELGADA EN HORNO ROTATORIO, ambas incluyen el calentamiento de la película delgada del asfalto.

Adhesión y cohesión:

Adhesión.- es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión.- es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada para algunos como la relación con la cohesión y la adhesión.

Susceptibilidad a la temperatura:

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la

temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Debe entenderse que es de vital fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidad las partículas del agregado.

Endurecimiento y envejecimiento:

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinado con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras que este revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurren en esta etapa de mezclado.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción.

Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

2.4.- ENSAYOS DE CONTROL EN ASFALTOS

El asfalto es un material termoplástico, por lo que su consistencia varía en mayor o menor grado con la temperatura. Si se quiere realizar comparaciones entre ellos, es necesario medir su consistencia a una misma temperatura e igual condición de carga. Los ensayos más utilizados para medir la consistencia de los cementos asfálticos son los siguientes:

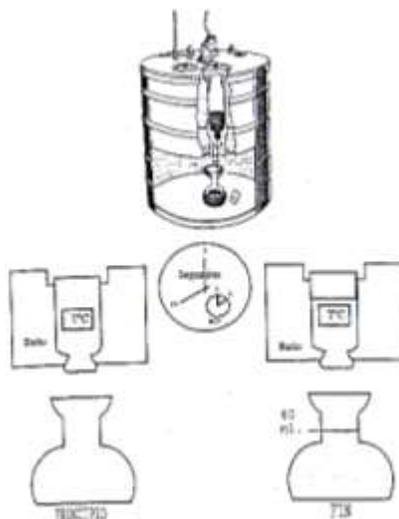
LA VISCOSIDAD.-

Una de las propiedades que más interesan desde el punto de vista ingenieril es la viscosidad de los asfalto. La viscosidad se define como la resistencia que ofrece un fluido a la deformación, debida básicamente al rozamiento interno de las moléculas. Cuanto más elevada sea su viscosidad, mucho más lento será su movimiento.

MEDIDA DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL. Para medir la viscosidad del cemento asfáltico a temperaturas altas de mezclado (alrededor de 135 °C), es común utilizar el viscosímetro Saybolt equipado con un orificio Furol.

Este ensayo se emplea normalmente para cut backs, emulsiones y roads oils. Y sirve para determinar el tiempo, en segundos, necesario para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a cada una de las temperatura dadas, a través de un tubo de dimensiones estándar. Es necesario dar una serie de temperaturas, porque los asfaltos más viscosos no fluyen con rapidez a través del tubo a la temperatura normal de 77 °F (25°C).

Figura 2.8. Viscosímetro Saybolt Furol.



Fuente: Elaboración propia.

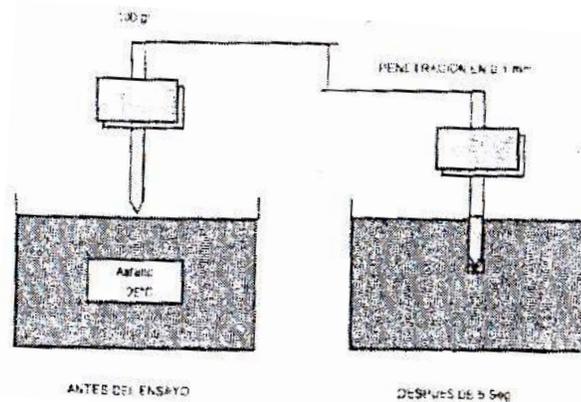
El ensayo consiste en colocar un determinado volumen de cemento asfáltico en un tubo normalizado y cerrado con un tapón, que se calienta usando el aceite del baño

termostático del viscosímetro. Después de que el asfalto alcanza la temperatura requerida, se saca el tapón y se mide el tiempo en segundos que tarda en fluir 60 ml del material a través del orificio furol. Los valores se expresan en segundo Saybolt furol (SSF).

LA PENETRACION

Es un ensayo empírico usado para medir la consistencia del cemento asfáltico a temperaturas medias de servicio. Usualmente se mide a 25°C (77°F), considerada como la temperatura media en servicio de la mezcla asfáltica.

Figura 2.9. Ensayo de Penetración.



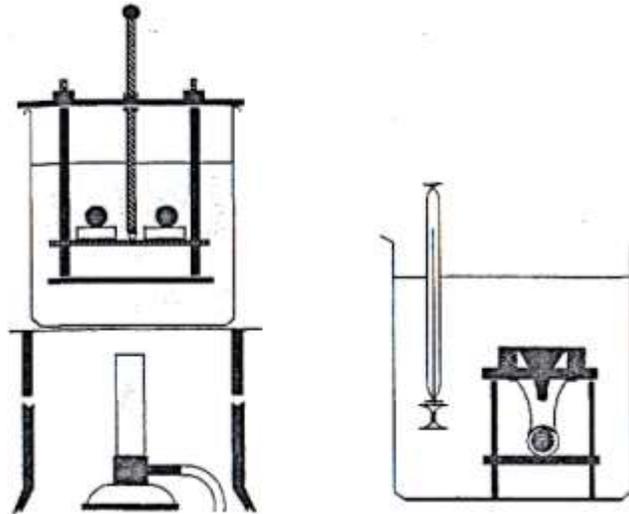
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo consiste en calentar una muestra de asfalto de 25°C (o a una temperatura definida con anterioridad) en un baño de agua controlada termostáticamente. Una aguja normalizada de 100 g se hace penetrar en la superficie de la muestra durante un tiempo de 5 segundos. La penetración se mide como la distancia en decimas de milímetro que la aguja penetra el cemento asfáltico durante un tiempo de 5 segundos (figura 4.14). Por ejemplo, si fue necesario penetrar 8 mm, la penetración del cemento asfáltico es de 80. La penetración es un ensayo normalizado según la norma AASHTO T-49. El ensayo se puede realizar a otras temperaturas, tales como $0,4$ y 46°C , aunque el cargado el tiempo de penetración puede variar. A bajas temperaturas se utiliza un peso de 200 g y un tiempo de 60 segundos.

EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Se mide a través del ensayo de anillo y bola (ring and ball). Se define como la temperatura a la cual el asfalto no puede soportar una carga de una bola de acero y comienza a fluir. Todos los asfaltos son materiales termoplásticos, por lo que no es posible hablar de un punto de fusión en el término estricto de la palabra. Se ha definido por conveniencia, un punto de ablandamiento convencional, dado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado de fluidez.

Figura 2.10. Punto de Ablandamiento Anillo y Bola.



Fuente: Elaboración propia.

El punto de ablandamiento es utilizado para clasificar los cementos asfálticos especialmente en Europa. En los Estados Unidos se utiliza para medir la consistencia de los asfaltos usados como impermeabilizantes comerciales.

ENSAYOS DE DURABILIDAD.-

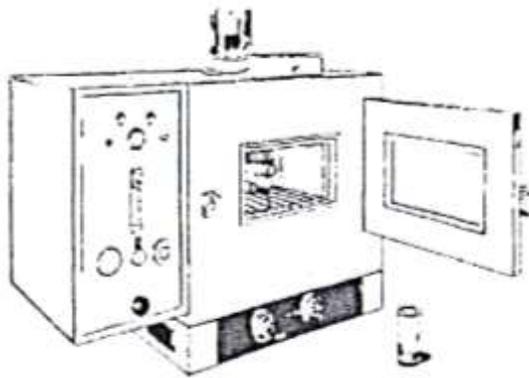
Los cementos asfálticos sufren un mayor o menor grado de envejecimiento cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente.

El envejecimiento continúa durante toda la vida del pavimento por la acción del medio ambiente y otros factores que se discutirán más adelante. Los siguientes ensayos son

utilizados para medir de manera más o menos aproximada en envejecimiento de un cemento asfáltico.

ENSAYO PELICULA DELGADA ROTATIVA.- Una variación del ensayo de película delgada, actualmente muy utilizada en los estados unidos, es el ensayo Rolling Thin Film Oven (RTFO) o película fina rotativa (figura 4.18) descrito en la norma AASHTO T-47. El cemento asfáltico se colocan dentro de un recipiente cilíndrico sobre una superficie que gira alrededor de un eje horizontal, manteniéndose una temperatura constante de 163 °C y sometida de manera continúa a la acción del aire. El grado de envejecimiento que se produce es similar al logrado con el ensayo de película delgada pero en un tiempo menor (solo 75 minutos). Una ventaja adicional es la de poder ensayar un mayor número de muestras y obtener mayor cantidad de cemento asfáltico para la realización de los ensayos de caracterización del ligante envejecido.

Figura 2.11. Ensayo de película fina rotativa (RTFO).



Fuente: Elaboración propia.

ENSAYOS DE SEGURIDAD

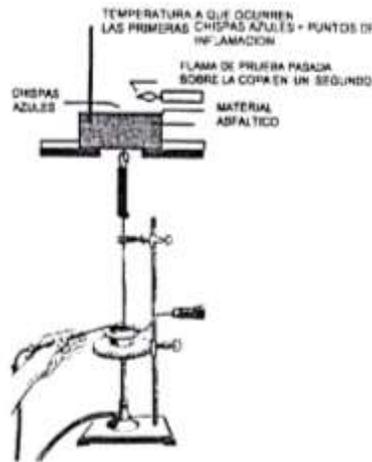
Si el cemento asfáltico es calentado a temperatura altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar.

El punto de inflamación o punto de chispa o flash point es la temperatura a la cual el cemento asfáltico puede ser calentado sin peligro de incendio en presencia de una

chispa. Esta temperatura es más baja que la correspondiente al punto llama, la cual es la temperatura a la cual el asfalto se enciende. Aunque el flash point es mucho más alto que la temperatura de manejo del cemento asfáltico en una planta, es necesario conocerla y controlarla por razones de seguridad, ya que es muy posible que el producto sufra alguna contaminación durante el transporte de la refinera a la obra, lo cual produce un descenso en la temperatura correspondiente al flash point (por ejemplo un carro tanque mal lavado con residuos de gasóleo, gasolina u otro solvente liviano).

El método de la copa Cleveland (AASHTO T-48) es utilizado para determinar el punto flash. La copa de bronce se llena con un volumen especificado de cemento asfáltico y se calienta a una velocidad prefijada. Se pasa sobre la superficie del asfalto una llama auxiliar a intervalos de tiempo definidos. La temperatura a la cual el asfalto libera suficientes vapores para producir chispa i destellos instantáneos al paso de una pequeña llama, se define como el punto de inflamación o punto flash (Figura 4.20).

Figura 2.12. Ensayo para determinar el punto de llama.



Fuente: Elaboración propia.

PESO ESPECÍFICO

Se define como la relación entre la masa del material a una temperatura dada y la masa de igual volumen de agua a la misma temperatura. El peso específico cambia cuando el asfalto se expande por calentamiento.

La determinación del peso específico del cemento asfáltico a diversas temperaturas es de gran interés práctico por sus numerosas aplicaciones en las que se precisó emplear una cantidad determinada del material caliente, siendo más fácil medir volúmenes que pesos.

El peso específico del cemento asfáltico varía según su origen y proceso de obtención, manteniéndose siempre sensiblemente igual a la unidad. En asfaltos del mismo origen, el peso específico aumenta cuando la penetración disminuye. El método del picnómetro (AASHTO T 280) es el más utilizado para su determinación. Generalmente se expresa en términos de peso específico a una temperatura dada para ambos materiales: agua y cemento asfáltico. Un peso específico tiene de 1.040 a 25 °C/°C significa que el cemento asfáltico tiene un peso específico de 1.030 cuando el agua y el cemento asfáltico están a una temperatura de 25 °C.

2.4.1.- PROCEDIMIENTO

LA VISCOSIDAD

Ensayo de viscosidad Saybolt Furol

1. Las determinaciones de viscosidad se deben hacer a los 25, 37.8, 50, 60, 82.2, o 98.9 °C.
2. Las determinaciones de viscosidad se hacen en un lugar que no esté sujeto a corrientes de aire ni a variaciones bruscas de temperatura. La temperatura del ambiente puede variar entre 20 °C y 30°C (68 y 86 °F) pero la temperatura real durante el ensayo debe ser registrada.
3. Una vez que el tubo de ensayo haya sido limpiado bien con benceno, se retira todo exceso de solvente del cilindro de rebose.
4. La muestra que se va a ensayar que pasa a través de un tamiz de malla n° 100; después se vierte en el tubo una cantidad pequeña de la muestra, suficiente para mojar completamente la superficie del tubo, y se deja drenar. El tapón de corcho se introduce en la parte inferior del tubo, no menos de ¼ de pulgada y no más de 3/8 de pulgada y se aprieta firmemente para evitar el escape de aire.

5. Si la temperatura del ensayo es más alta que la temperatura del ambiente se debe calentar la muestra hasta no más de 3°F por encima de la temperatura del ensayo y si la temperatura es menor que la del ambiente la muestra se debe enfriar hasta no más de 3 °F por debajo de la temperatura del ensayo. En ningún caso se calienta hasta 50°F o menos por debajo de su punto de llama.
6. La muestra se vierte en el tubo hasta que deje de rebosar dentro del cilindro de rebose, tras lo cual se mantiene bien revuelta por intermedio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante.
7. Cuando la temperatura haya permanecido constante durante un periodo de un minuto de agitación continua con una variación permisible de 0,2 °F, se saca el termómetro y se limpia el exceso de la muestra del cilindro de rebose por medio de la pipeta, pero teniendo el cuidado de no golpear el rebosadero. En caso de que este sea golpeado, se debe repetir el ensayo.
8. El frasco de 60 ml se coloca en una posición tal que la muestra que sale del tubo caiga directamente en el cuello del frasco. La marca de calibración del frasco debe estar a una distancia del fondo del baño que puede variar entre 10 y 30 cm.
9. E ensayo se empieza sacando muy rápidamente el tapón de corcho del tubo. El tiempo transcurrido entre el sistema en el cual se saca el corcho y el instante en que el menisco de la muestra alcanza la marca de la calibración, en segundos es la viscosidad Saybolt Furol a la temperatura del ensayo.
10. La aproximación requerida es de 0,1 segundos para viscosidades menores de 200 segundos y de 1 segundos para viscosidades mayores de 200 segundos.

LA PENETRACION

La penetración

1. La muestra se derrite a las más baja temperatura posible, tras lo cual se resuelve con la varilla de vidrio para expulsar completamente las burbujas de aire y hacerla homogénea. Se vierte luego en el recipiente para tener la muestra hasta una altura mínima de 15 mm. Se deja enfriar durante una hora en un medio ambiente con una

temperatura de por lo menos 18 °C, pero no mayor a 29.5 °C, evitando que le caiga polvo. Después de enfriada, el recipiente y la muestra deben ser colocadas dentro del recipiente auxiliar el cual se sumerge en baño María durante una hora. La temperatura del baño María debe ser de 25 °C.

2. El conjunto formado por la muestra, los dos recipientes y el agua a 25
3. °C contenida en el recipiente auxiliar se coloca en la base del penetrometro debe graduarse en cero o se debe registrar la lectura inicial antes de que se suelte por tiempo especificado.
4. Debe hacerse por lo menos tres ensayos a una distancia del borde del recipiente de la muestra no menor de 1 cm. Después de cada ensayo, el conjunto formado por la muestra y los dos recipientes se coloca otra vez en baño María.
5. La penetración se calcula como el promedio de por lo menos tres ensayos con la condición de que la diferencia entre los resultados máximos y mínimos no debe exceder el valor.

EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Punto de ablandamiento (aparato de anillo y bola)

1. colocando en un recipiente con agua, a una determinada altura sobre el fondo, un anillo de latón de dimensiones establecidas.
2. el cual se rellena previamente con el asfalto fundido y se deja enfriar a temperatura ambiente durante cuatro horas.
3. Transcurrido ese tiempo se coloca una esfera de 9,51 mm de diámetro, y se calienta el baño, de tal manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante.
4. Debido al calor, el asfalto se ablanda y la esfera desciende gradualmente envuelta en una bolsa de asfalto hasta tocar el fondo del baño.
5. La temperatura del baño en ese instante es lo que se denomina el PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE ANILLO Y BOLA del cemento asfaltico ensayado.

ENSAYOS DE DURABILIDAD

Ensayo película delgada rotativa

1. Se pesan 50 ± 0.5 gr de la muestra deshidratada en un recipiente apropiado. La temperatura del horno se pone a $163 \text{ }^\circ\text{C}$, y el recipiente con la muestra se coloca en uno de los huecos del estante rotativo.
2. Se cierra el horno y el estante y se pone a rotar durante todo el tiempo del ensayo a una velocidad que puede varía entre 5 y 6 revoluciones por minuto. El horno debe mantenerse a una temperatura de $163 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, por 5 horas después de que la muestra ha sido introducida.
3. Dicho periodo de 5 horas empieza cuando la temperatura del horno alcanza $162 \text{ }^\circ\text{C}$ y en ningún caso se deja la muestra en el horno por un periodo mayor de 5 horas y 15 minutos.
4. Cuando se termina el periodo de calentamiento, la muestra es sacada al horno, enfriada en el desecador y pesada. Se calcula entonces la perdida por calentamiento.

La temperatura es controlada con el termómetro específico el cual es soportado verticalmente por medio del eje del estante rotativo a una distancia aproximada de 1.9 cm dentro de la periferia de este y con la parte inferior a 0.62 cm sobre la superficie de dicho estante.

ENSAYOS DE SEGURIDAD

El punto de inflamación El método de la copa Cleveland

1. Se suspende el termómetro verticalmente, con su extremidad inferior a 0.63 cm del fondo de la taza y a una distancia media entre el cemento y la pared de la taza.
2. Se llena la taza con el material que se va a ensayar hasta que el menisco coincida con la línea de aforo a la temperatura del ambiente.
3. Cuando el ensayo se hace con asfalto u otro producto bituminoso sólido, el material se debe calentar a una temperatura no menor de $148.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ni mayor a $176.7 \text{ }^\circ\text{C}$, para tomarlo suficientemente fluido. La taza se llena entonces con el material derretido de la misma manera que se indicó anteriormente. No se deben formar burbujas en la superficie del material. Las paredes de la taza, encima de la línea de aforo, deben estar limpias de material derretido.
4. La llama del ensayo debe tener aproximadamente 0.4 cm de diámetro.

5. El material se calienta en el calentador eléctrico, elevando la temperatura gradualmente a una razón no mayor de 16.7 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura aproximada de 55.6 °C, debajo del punto de llama probable. De ahí en adelante la muestra se debe calentar a una razón no mayor de 6.1 °C ni menor de 5°C, por minuto.
6. La llama de ensayo se aplica cada vez que el termómetro registre un aumento de temperatura de 2.8 °C.
7. La llama debe pasar sobre la muestra en línea recta a través del centro de la taza formando un Angulo recto con el diámetro que pasa a través del termómetro y debe estar en el plano superior de la taza. Es conveniente que el ensayo se haga en un cuarto un poco oscuro para que la llama pueda ser observada claramente.
8. El punto de llama será la temperatura a la cual la llama aparezca por primera vez en la superficie de la muestra.
9. Después de que se haya determinado el punto de llama, se continua calentando la muestra de la manera indicada anteriormente (5 a 6.1 °C por minuto) hasta que la muestra arda continuamente por in periodo no menor de 5 segundos. La temperatura a la cual la muestra arde continuamente durante 5 segundos o más, es el punto de fuego.

PESO ESPECÍFICO

Método del picnómetro

1. Antes de hacer cualquier determinación, el picnómetro y su tapón se deben limpiar bien, secar y pesar en la misma balanza analítica. Este peso es llamado peso “a”.
2. Después se llena el picnómetro con agua destilada hervida, a 25 °C, se inserta el tapón firmemente, se seca bien exteriormente y se pesa. Este peso es llamado “b”.
3. Si el ensayo se está haciendo con asfalto o alquitranes de curado lento (road oils or road tras), el material se calienta hasta 25 °C, y se vierte en el picnómetro hasta llenarlo teniendo cuidado de evitar burbujas de aire.
4. Luego se inserta firmemente el tapón y se limpia el picnómetro de todo exceso de agua, se pesa y el peso así obtenido es llamado “c”.

5. El peso específico se calcula de acuerdo con la siguiente formula:

$$peso\ especifico = \frac{c - a}{b - a}$$

2.5.- CONDICIONES REOLÓGICAS DE LOS ASFALTOS

Cuando se habla de las propiedades reologicas de un asfalto y como estas van cambiando cuando el material se va oxidando, se debe tomar en cuenta que el asfalto en su estado inicial tiene un comportamiento cuasi-líquido y conforme disminuye la temperatura o se oxida va adquiriendo un comportamiento cuasi-liquido.

Amgell en la década de los 80 estudio fuertemente el concepto de fragilidad de líquidos que se vitrifican y se manifiestan de forma dinámica y termodinámica. La fragilidad dinámica se refiere a las desviaciones de temperatura de Arrhenius y dependencia de propiedad de transporte o de relajación (viscosidad, fluidez, tiempo de relajación). Cuando se habla de viscosidad vítrea se asume que el material vítreo fundido es un fluido newtoniano y su viscosidad se define:

$$\sigma = \eta \text{ grad } v \quad (1)$$

Donde σ :tensor de esfuerzos

η : Viscosidad,

grad :Gradiente espacial

v :Vector de velocidad.

La velocidad en un fluido newtoniano es independiente de la velocidad de deformación (idéntico con $\text{grad } v$) y solo depende de la temperatura y la composición en un proceso isobárico.

La transición de una condición liquida a una vítrea por reducción de temperatura, no es un fenómeno simple y es uno de los problemas más difíciles y controvertidos de la física de la materia condensada. A alta temperatura el tiempo de relajación τ de un líquido es dependiente de Arrhenius. Cuando la temperatura se reduce τ se desvía de la dependencia de Arrhenius y sigue la ley de Vogel-Fulcher-Tammann (VTF):

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{A}{T - T_0}\right) \quad (2)$$

Donde A y T_0 son constantes.

En la industria del vidrio es clave conocer la composición química de este para poderle dar propiedades específicas, estas propiedades pueden ser análogas a otros materiales, incluso asfaltos muy oxidados tienen este comportamiento, en el cual la respuesta del material en función de la temperatura y el cambio en la composición química, pueden producir cambios en parámetros mecánicos incluso en ordenes de magnitud, en donde las ecuaciones constitutivas se relacionan con variables de estado del material como temperatura, presión y composición química.

Si se reescribe la ecuación de Arrhenius de la forma más simple temperatura versus viscosidad se obtiene:

$$\eta = \exp\left(A + \frac{B}{T}\right) \quad (3)$$

Donde A y B : coeficientes independientes de la temperatura y T : temperatura.

Cuando el asfalto se vitrifica su comportamiento se asocia a un homogéneo desempeño de toda la muestra, P. Hirma afirma que el modelo VTF presenta restricciones en el comportamiento de materiales vítreos, la primera es que A debe convertirse en una constante “universal” pues es casi independiente de la composición química. La segunda restricción es que se requiere que estos materiales vítreos tengan un común valor de viscosidad y transición vítrea, pero en la realidad se han reportado ligeras variaciones producto de la composición química.

Anteriormente el VTF tiene como limitación que no pueden cumplir con las dos limitaciones mencionadas. Es por esto que Neuville da una mejor aproximación en función de la ecuación de Adam y Gibbs:

$$\eta = \exp\left(A + \frac{B(x)}{TS(T, x)}\right) \quad (4)$$

En donde $S(T, x)$ es la entropía de configuración vítrea.

En este sentido la aportación de un parámetro de entropía en el sistema de redimensiona el concepto de la forma en que se visualiza la vitrificación del material, pues toma en consideración la forma en que este se reacomoda, a una T determinada corresponde un cierto número mínimo de espacios, que permiten que cuando exista una fluctuación de energía del material pueda obtener otra configuración espacial.

Adam-Gibbs en su teoría se basan en que por encima de la T_g los tiempos de relajación molecular son muy cortos y por el contrario por debajo de la T_g los tiempos de relajación son muy largos. El crecimiento en los tiempos de relajación esta relacionados con la capacidad de reacomodo del material en el espacio físico.

Desde el punto de entalpia en relacion a la vitrificación de materiales, lña teoría se desarrolla para polímeros pero después se generaliza:

$$\bar{W}(T) = \bar{A} \exp\left(\frac{-Z^* \Delta\mu}{KT}\right) \quad (6)$$

El nuevo factor de frecuencia se denomina \bar{A} y es aproximadamente independiente de la temperatura, esto denota que la mayoría de la probabilidad de que una transición ocurra es cuando el tamaño de partícula es mayor a Z^* , lo cual introduce el concepto de que la reologia del material está ligada a la asociación de molecular o cristalizaciones del sistema. El tamaño crítico de Z^* puede ser relacionado con la entropía de la configuración molecular (S_C) del sistema:

$$Z^* = \frac{NS_C}{S_C} \quad (7)$$

Donde N: número de Avogadro y S_C : entropía de configuración critica, no menor al valor $k * \ln(2)$, por que al menos deben existir dos configuraciones para Z^* . Asi se podrá rescribir la ecuación de probabilidad de transición vítrea:

$$\bar{W}(T) = \bar{A} \exp\left(\frac{C}{TS_C}\right) \quad (8)$$

Este valor de C puede considerarse constante. De la ecuación anterior se deduce que $\bar{W}(T)$ es dependiente de la entropía de configuración del líquido que forma el vidrio.

Los materiales vítreos poseen una entropía de configuración residual a la temperatura de transición vítrea (T_g) que está muy ligada a la dificultad de un cambio en la configuración de la estructura.

2.6.- CRISTALIZACIÓN DE LOS ASFALTOS

Influencia de las Parafinas en el Comportamiento de los Asfaltos.- En lo concerniente a la influencia del contenido de parafinas en asfaltos hay mucha discrepancia. En los estudios de laboratorio es conocido el efecto sobre propiedades como la penetración y la viscosidad a 60°C. La cristalización de estos compuestos hace que los valores del punto de ablandamiento calculados a partir de la viscosidad sean menores a los obtenidos experimentalmente. Estos efectos son más visibles en el caso de parafinas ricas en n-alcenos.

El contenido de parafinas depende de gran manera del crudo de donde fue obtenido el asfalto siendo más comunes las microcristalizadas que las macrocristalizadas.

Una variable decisiva es la temperatura ya que cuando varía esta propiedad el contenido e influencia de las parafinas no permanecen constantes. Es por eso, que se debe tener en cuenta el cambio de los cristales de acuerdo a la variación de la temperatura en especial en el punto de ablandamiento y cristalización del asfalto.

Las parafinas también alteran la estructura coloidal del asfalto, ya que cambian los grupos polares presentes en los asfaltos y restan homogeneidad y estabilidad. Esto es particularmente visible a bajas temperaturas con la posibilidad inminente de rotura de los pavimentos.

Las parafinas microcristalizadas son las que generan mayores problemas en los asfaltos debido en gran manera a la cantidad de heteroátomos presentes en dichos compuestos que como ya se expuso anteriormente afecta la estructura coloidal del asfalto.

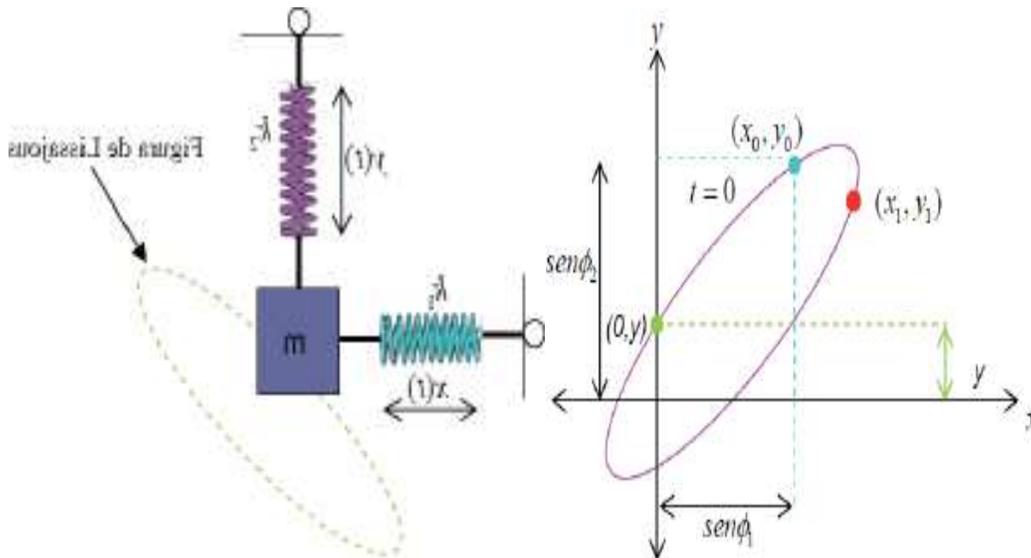
2.7.- CURVAS DE LISSAJOUS Y SUS CONDICIONES

Las curvas de Lissajous son trayectorias móviles con coordenadas rectangulares (x, y) descritos por movimientos armónicos simples. Las ecuaciones que describen el movimiento son:

$$(1) x(t) = A_1 \text{sen}(w_1 t + \phi_1) \quad (2) y(t) = A_2 \text{sen}(w_2 t + \phi_2) \quad (9)$$

Donde (1) y (2) son variables en el tiempo de un movimiento armónico simple, siendo (1) una función horizontal y (2) una función vertical.

Figura 2.13. Diagrama de la modelación mecánica de Curvas de Lissajous.



Fuente: Elaboración propia.

Haciendo $t=0$ y resolviendo $y(0) = \text{sen}(\phi_2)$, entonces $0 = \text{sen}(w_1 t + \phi_1)$ se obtiene que $t = -\frac{\phi_1}{w_1}$ y reemplazando este en la función de y :

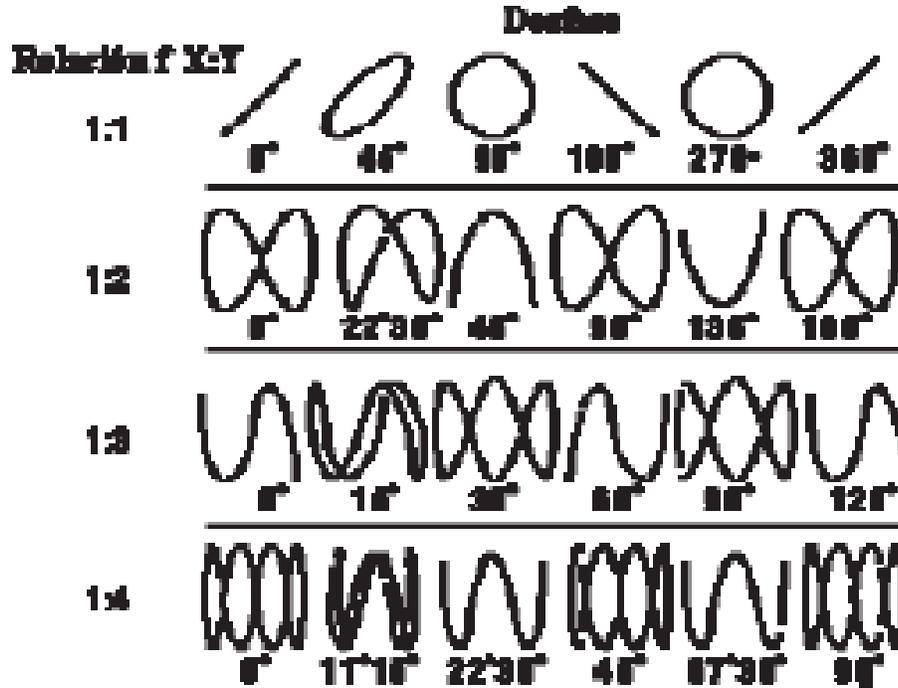
$$y = \text{sen} \left[\phi_2 - \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \phi_1 \right] \rightarrow \delta = \phi_2 - \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \phi_1 \quad (10)$$

Alternamente si se tiene las ecuaciones para métricas del movimiento se pueden describir de forma alterna de la siguiente forma:

$$(1) \quad x(t) = \text{sen}(w1t) \quad (2) \quad y(t) = \text{sen}(w2t + \delta) \quad (11)$$

Para poder correlacionar la forma de las curvas de Lissajous con el ángulo de fase, el modulo y la histéresis que el material presenta. Es importante reconocer la relación F X:Y 1:1 Con respecto al ángulo de desfase del asfalto.

Figura 2.14. Formas de las curvas de Lissajous con respecto al ángulo.



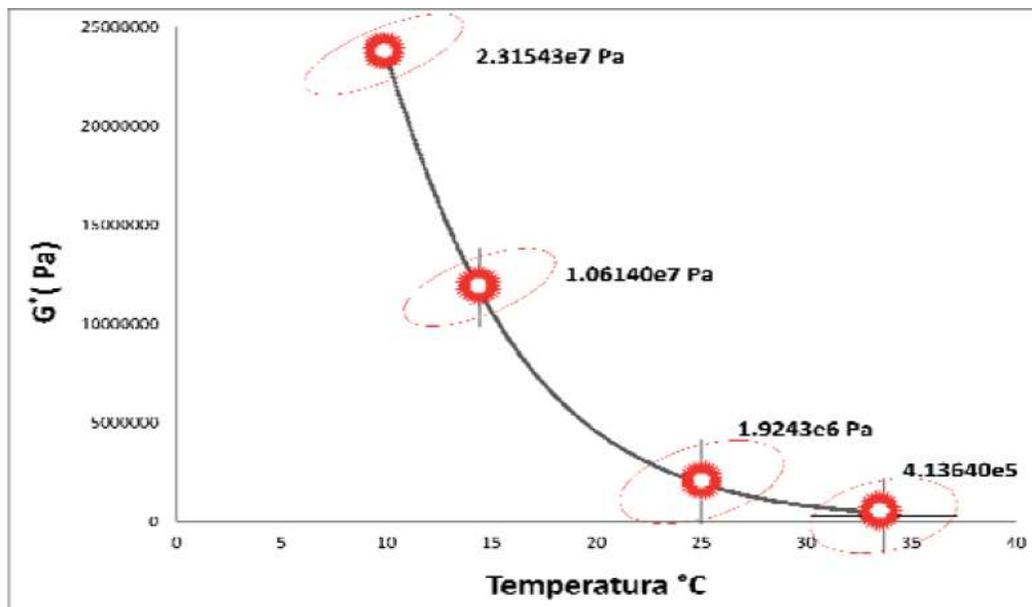
Fuente: Elaboración propia.

Las curvas de Lissajous son curvas proporcionadas por un estudio realizado en Costa Rica, donde a partir de las ecuaciones y formas de las curvas de Lissajous con respecto a su ángulo se determinó dos curvas de Lissajous con características del asfalto, en las que se mostrara la situación a la que el asfalto absorbe o disipa la energía con lo cual también se explicó la capacidad del asfalto a la deformación de la fatiga siendo estos la transición y porcentaje de cristalización del asfalto.

Curva de Lissajous. Relación Modulo complejo de asfalto (G') en función de la Temperatura °C. una vez terminado el proceso de pavimentado para una calle o avenida la mezcla asfáltica sufrirá una absorción o disipación de energía con respecto al cambio

brusco de temperatura ambiente a la que esta mezcla sufra. A partir de un estudio con respecto a un barrido de temperaturas de las mezclas entre los 10 y los 34°C. Simulando las temperaturas más bajas de exposición del asfalto en las carpetas asfálticas recién pavimentadas. Que la curva no es lineal y esto nos da la información sobre la forma en que el material disipa energía y como su susceptibilidad del material a esta dependiendo del rango de temperatura a la cual se sometió el asfalto. Ósea que el modulo complejo de asfalto (G') es mayor ante la disminución de temperatura y menor a altas temperaturas, por otro lado la figura muestra un aumento significativo en el módulo de material y como estos están sujetos a la variación en la composición química del asfalto producto del tratamiento térmico efectuado en ellos.

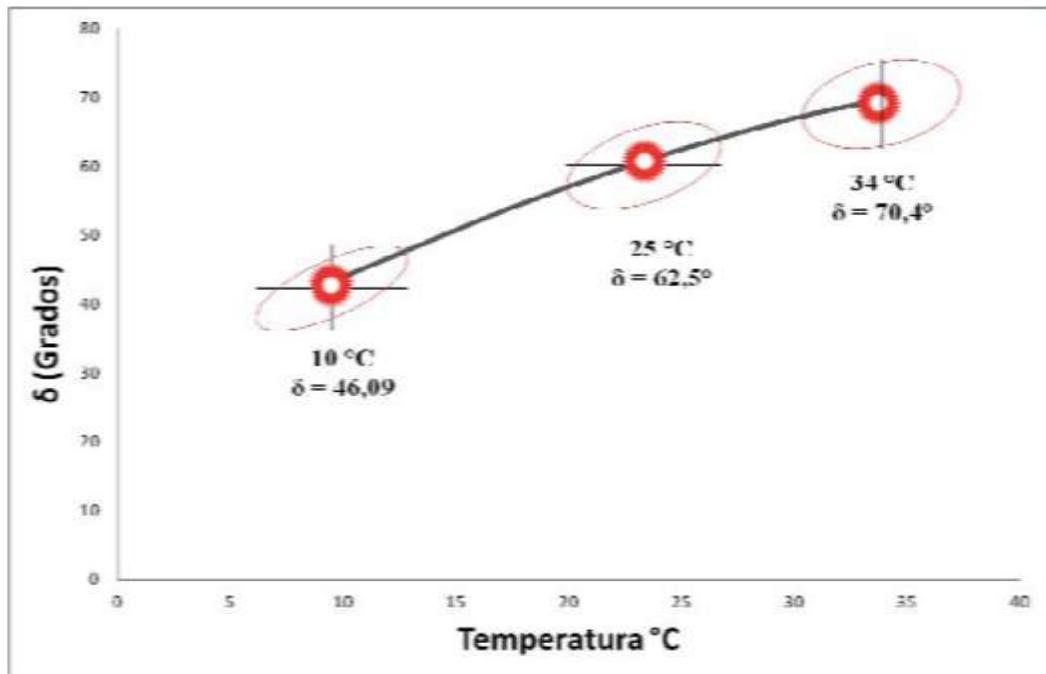
Figura 2.15. Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Curva de Lissajous. Relación ángulo de fase del asfalto en función a la Temperatura °C. El ángulo de fase depende de las propiedades del material y aunque varíen con la frecuencia, aporta información sobre las propiedades del material. Simulando las temperaturas de exposición del asfalto en las carpetas asfálticas recién pavimentadas para este estudio. En el asfalto el ángulo de fase en todo intervalo es mayor a 45 °C., esto quiere decir que $G'' > G'$ en todo intervalo de medición. Entonces se denota que a

bajas temperaturas ocurrirá una transición secundaria (Transición Vítrea). Esta curva de Lissajous ofrece información de la respuesta del material al esfuerzo aplicado usando los datos de temperatura ambiente a la que la carpeta de asfalto sufre una vez pavimentada, conforme se acerca la curva a los 10°C., la histéresis del material aumenta casi llegando a valores cercanos a los 45°, en donde la componente elástica del material domina. Por arriba de los 25°C., se muestra una relajación en la histéresis del material y este tiende a disipar energía deformándose.

Figura 2.16. Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs δ (*Grados*) Angulo de fase del asfalto.



Por encima de la transición vítrea, las sustancias poseen una gran movilidad en el estado fundido y nunca permanecen en una misma posición durante largo tiempo. Cuando desciende la temperatura, y se alcanza una temperatura característica, pueden adoptar una disposición sumamente ordenada, en forma de cristales. Los ordenamientos cristalinos, liberan calor, que es detectado como un incremento del flujo de calor en función de la temperatura.

2.8.- DESEMPEÑO DE LOS ASFALTOS

El Grado de Desempeño de un cemento asfáltico forma parte de un sistema denominado SUPERPAVE (SUPERIOR PERFORMANCE PAVEMENTS) que nace de las investigaciones desarrolladas en Estados Unidos en 1987 (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, SHRP). Éste sistema incluye nuevas especificaciones para el cemento asfáltico, agregado y un nuevo método de diseño de mezclas asfálticas en caliente y un modelo de predicción del comportamiento de pavimentos asfálticos.

El Método está incorporado en los Especificaciones y Procedimientos de Ensayes del Volumen 8 de Manual de Carreteras. 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave para ligantes Asfálticos.

El sistema entrega una resultados reológicos que permiten clasificar un cemento asfáltico por Grado de Desempeño (PG). Esta clasificación permite cumplir con dos objetivos principales:

- Medir las propiedades reológicas que pueden ser relacionadas con parámetros de desempeño de terreno para tres fallas críticas: ahuellamiento, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico.
- Caracteriza propiedades reológicas de los cementos asfálticos según las temperaturas y efectos del envejecimiento a los que estarán sometidos durante la construcción y toda su vida útil.

PRINCIPALES MODOS DE FALLA DE PAVIMENTOS ASOCIADOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS.

– Ahuellamiento.

- Primeros años en servicio
- Altas Temperaturas.
- Baja Velocidad.
- Altas cargas

Figura 2.17. Tipo de falla por ahuellamiento en el cemento asfáltico.



– Fatiga (Piel de Cocodrilo)

- Últimos años en servicio
- Temperaturas Intermedias.
- Altas cargas

Figura 2.18. Tipo de falla por Fatiga en el cemento asfáltico.



– Agrietamiento Térmico.

- Últimos años en servicio
- Bajas Temperaturas.
- Cargas Rápidas.

Figura 2.19. Tipo de falla por Agrietamiento térmico en el cemento asfáltico.



SELECCIÓN POR GRADO DE DESEMPEÑO EN LABORATORIO

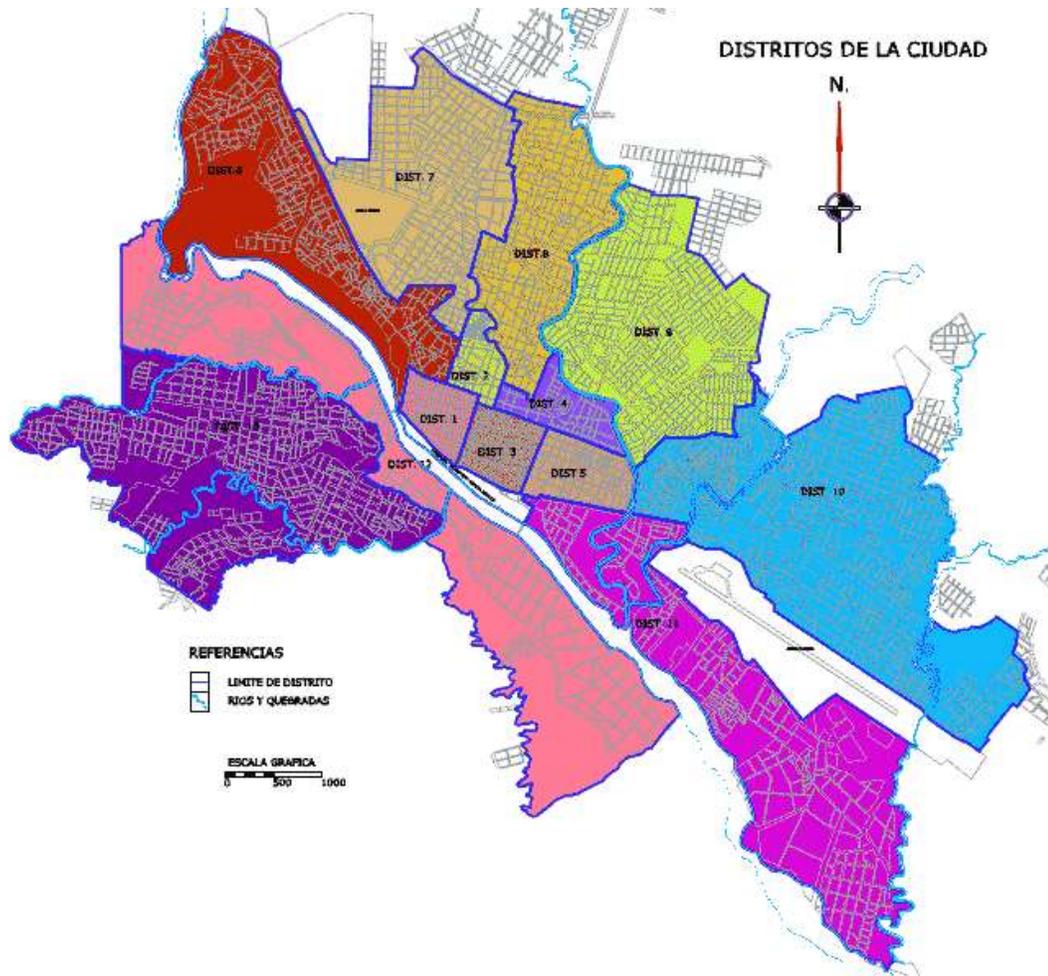
Se selecciona un cemento asfáltico apropiado a la zona en estudio de la siguiente manera:

- Para evitar ahuellamiento por alta temperatura, la temperatura de la muestra en laboratorio XX tiene que ser igual o superior a la temperatura de diseño ITdis.
- Para retrasar la fatiga, la temperatura intermedia de la muestra en laboratorio IT debe ser igual o menor que la temperatura de diseño ITdis, de manera de aplazar o tardar la aparición de fisuras en el material.
- Para prevenir el agrietamiento, la baja temperatura de la muestra en laboratorio YY debe ser igual o inferior a la temperatura de diseño BTdis, de manera que el material evite o demore la aparición de agrietamiento térmico.

metros cuadrados de asfalto en diferentes barrios de la ciudad, beneficiándolos con la tranquilidad de poder transitar sus calles y Avenidas asfaltadas.

La zona de investigación está ubicada en diferentes distritos de la ciudad, los distritos 10, 13,9 y 6. , ver figura 3.2

FIGURA 3. 2. Distritos de la ciudad de Tarija.



Fuente: Elaboración propia.

Estudio 1.- Para el primer estudio se hizo la investigación que en fecha 12 de Septiembre de 2016, se pavimento la calle Mario Estensoro Vásquez, calle que se encuentra en el barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 215 metros en el turno de la mañana y para el 13 de Septiembre se culminó el trazo con

437 metros con un área de 2637 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la Av. Tomas O'connor Darlach, llega hasta la Av. Víctor Vargas Reyes donde el asfaltado salta la Av. Víctor Vargas Reyes y sigue su trayecto unos 71 metros más sobre la calle Mario Estensoro Vásquez, esta vía se encuentra ubicada al oeste del tanque de agua que se encuentra en cesación del barrio, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32'22,08" S, Longitud 64°42'5,11" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'8,43" S, Longitud 64°42'5,11" O. ver figura 3.3.

FIGURA 3. 3. Calle Mario Estensoro Vásquez. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Mario Estensoro Vásquez tiene 3 tramos de pruebas Marshall a realizar, por tener una longitud de pavimento lineal 437 ml de asfalto.

FIGURA 3. 4. Calle Mario Estensoro Vásquez. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 2.- Para el segundo estudio se hizo la investigación que en fecha 12 de Septiembre de 2016, se pavimento la calle María Laura Justiniano, calle que se encuentra en el barrio Aeropuerto y termina al límite del barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 171 metros lineales en el turno de la tarde y para el 14 de Septiembre se culminó el trazo con un total de 386 metros lineales con un área de 2702 m² de asfalto y un ancho de vía de 7 metros siendo una calle en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la calle Raúl Pacheco Morales, llega hasta la Av. Tomas O´connor Darlach donde da inicio el Barrio Morros Blancos, esta vía se encuentra ubicada al Noreste del Aeropuerto Oriel Lea Plaza de la ciudad de Tarija, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32´33,07” S, Longitud 64°42´19,25” O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32´22,47” S, Longitud 64°41´12,07” O. ver figura 3.5.

FIGURA 3. 5 Calle María Laura Justiniano. Barrió Aeropuerto. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle María Laura Justiniano tiene 2 tramos, tiene 2 estudios Marshall por tener una longitud de pavimento lineal 396 ml de asfalto.

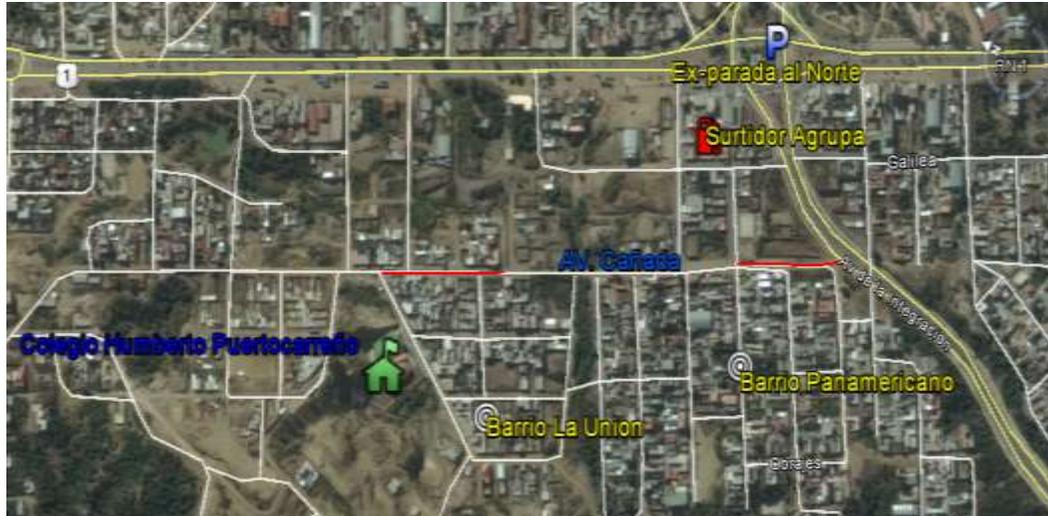
FIGURA 3. 6 Calle María Laura Justiniano. Barrió Aeropuerto y Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 3.- En el tercer estudio se hizo la investigación que en fecha 17 de Septiembre de 2016, se pavimento la Av. Cañada, misma que se encuentra en el barrio Panamericano y termina con el barrio La Unión, distrito 6, se pavimento un tramo de 171 metros lineales en el barrio Panamericano y para el 18 de Septiembre se asfalto 152 metros lineales en el barrio La Unión, con un total de 323 metros lineales con un área de 2584 m2 de asfalto y un ancho de vía de 8 metros siendo una Avenida en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la calle Guatemala, y choca con la Av. Integración donde se ve que el primer tramo está dentro del Barrio Panamericano, las coordenadas de punto de inicio es Latitud $21^{\circ}30'28,13''$ S, Longitud $64^{\circ}45'1,08''$ O. la Av. termina en estas coordenadas Latitud $21^{\circ}30'47,21''$ S, Longitud $64^{\circ}44'58,72''$ O. El siguiente tramo inicia en el cruce de la Av. Principal del Barrio (parada de micros 4), y culmina a una media cuadra de la intersección de la calle el Paraíso este tramo está dentro del Barrio La Unión, las coordenadas de punto de inicio es Latitud $21^{\circ}30'28,12''$ S, Longitud $64^{\circ}45'8,61''$ O. la Av. termina en estas coordenadas Latitud $21^{\circ}30'33,20''$ S, Longitud $64^{\circ}45'6,08''$ O. La Avenida se encuentra ubicada al Suroeste del Surtidor Agrupa mismo que se encuentra de frente de la Ex Parada al Norte de la ciudad de Tarija, ver figura 3.7.

FIGURA 3. 7 Avenida Cañada. Barrió Panamericano y Barrió La Unión. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Avenida Cañada, tiene 2 sub-estudios por tener una longitud de pavimento lineal 324 ml de asfalto.

FIGURA 3. 8 Avenida Cañada. Barrió Panamericano y La Unión (tramo 1).



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 9 Avenida Cañada. Barrió Panamericano y La Unión (tramo 2).



Fuente: Elaboración propia

Estudio 4.- se hizo la investigación que en fecha 3 de Octubre de 2016, se Asfalto la calle Héroes del Chaco, calle que se encuentra en el barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 200 metros lineales con un área de 1600 m² de asfalto y un ancho de vía de 8 metros siendo una calle en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la Av. Octavio Campero Echazu, llega hasta la calle María Romero del Carpio, esta vía se encuentra ubicada al Sur del tanque de agua en cesación del Barrio Morros Blancos y a la vez esta al Norte del Surtidor Y.P.F.B. las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32'45,28" S, Longitud 64°41'59,37" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'47,69" S, Longitud 64°41'53,31" O. ver figura 3.10.

FIGURA 3. 10 Calle Héroes del Chaco. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Héroes del Chaco, tiene un solo tramo con una longitud de pavimento lineal 200 ml de asfalto.

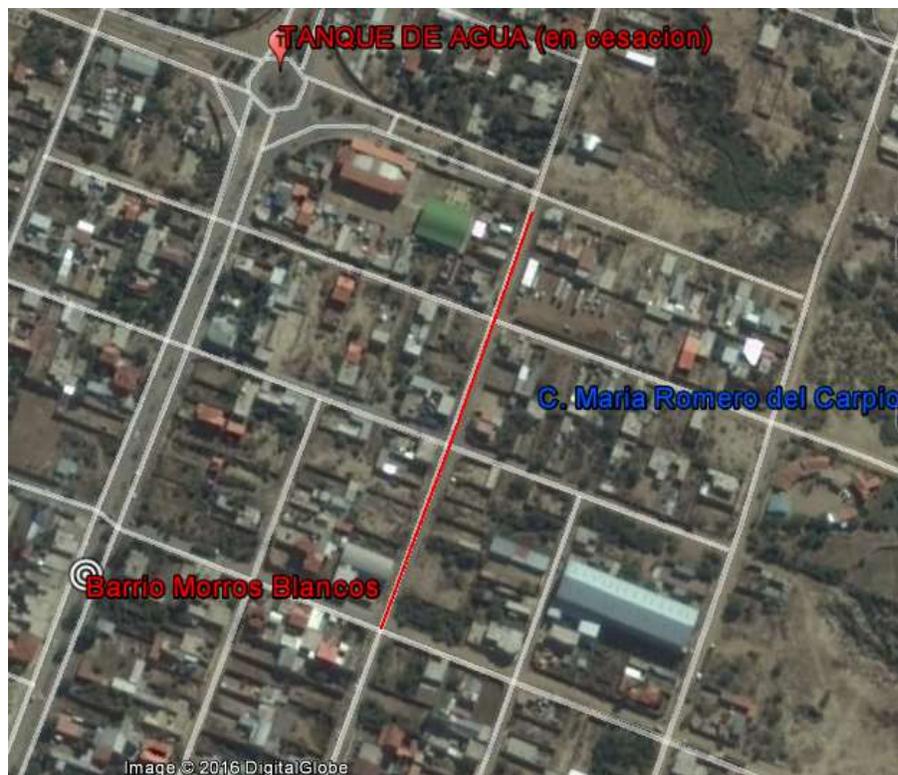
FIGURA 3. 11 Calle Héroes del Chaco. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 5.- En fecha 4 de Octubre de 2016, se Asfalto la calle María Romero del Carpio, calle que se encuentra en el barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 285 metros lineales con un área de 2280 m² de asfalto y un ancho de vía de 8 metros siendo una calle en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la Av. Tomas O'connor Darlach, llega hasta la Av. Víctor Vargas Reyes, esta vía se encuentra ubicada al Sureste del tanque de agua en cesación del Barrio Morros Blancos, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32'27,15" S, Longitud 64°41'45,49" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'18,41" S, Longitud 64°41'42,01" O. ver figura 3.12.

FIGURA 3. 12 Calle María Romero del Carpio. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle María Romero del Carpio, tiene un tramo, con una longitud de pavimento lineal 285 ml de asfalto.

FIGURA 3. 13 Calle María Romero del Carpio. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 6.- En fecha 5 de Octubre de 2016, se Asfalto la calle 25 de Julio, calle que se encuentra en el barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 168 metros lineales con un área de 1008 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, el asfaltado de esta vía inicia en la calle María Romero del Carpio , llega hasta la Av. Víctor Vargas Reyes, esta vía se encuentra ubicada al Sureste del tanque de agua en cesación del Barrio Morros Blancos, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32'20,80" S, Longitud 64°41'43,11" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'18,79" S, Longitud 64°41'48,47" O. ver figura 3.14.

FIGURA 3. 14 Calle 25 de Julio. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle 25 de Julio, tiene un tramo con una longitud de pavimento lineal 168 ml de asfalto.

FIGURA 3. 15 Calle 25 de Julio. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 7.- En fecha 6 de Octubre de 2016, se Asfalto la Av. Octavio Campero Echazu, la misma que se encuentra en el barrió Morros Blancos, distrito 10, se asfalto un tramo de 63.5 metros lineales en un sentido de ida y lo mismo en el sentido de vuelta, con un

área de 889 m² de asfalto y un ancho de vía de 7 metros siendo una avenida con dos tramos, tanto de ida como de regreso, el asfaltado de esta vía inicia en la Rotonda del Tanque de agua que se encuentra en cesación del barrio y termina en la siguiente cuadra, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32'15,47" S, Longitud 64°41'46,92" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'13,28" S, Longitud 64°41'46,45" O. ver figura 3.16.

FIGURA 3. 16 Av. Octavio Campero Echazu. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Avenida Octavio Campero Echazu, tiene 2 tramos pero un solo estudio, el mismo fue realizado en un sentido y en el otro de la Avenida, con una longitud total de pavimento lineal 127 ml de asfalto.

FIGURA 3. 17 Avenida Octavio Campero Echazu. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 8.- En fecha 7 de Octubre de 2016, se Asfalto la Avenida Tomas O´connor Darlach, vía que se encuentra en el barrio Morros Blancos, distrito 10, se pavimento un tramo de 488 metros lineales con un área de 4174 m² de asfalto y un ancho de vía de 8 metros siendo una avenida en doble sentido con una rotando al ingreso, el asfaltado de esta vía inicia en el puente que conecta el barrio Rosedal con el Barrio Morros Blancos, llega hasta la calle Mario Estensoro Vásquez, esta vía se encuentra ubicada al Suroeste del tanque de agua en cesación del Barrio Morros Blancos, las coordenadas de punto de inicio de la vía son Latitud 21°32´20,93” S, Longitud 64°42´19,41” O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32´22,34” S, Longitud 64°42´5,24” O. ver figura 3.18.

FIGURA 3. 18 Av. Tomas O´connor Darlach. Barrió Morros Blancos. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Av. Tomas O´connor Darlach, presenta tres estudios realizados por sus 3 tramos, con una longitud de pavimento lineal 488 ml de asfalto.

FIGURA 3. 19 Avenida Tomas O´connor Darlach. Barrió Morros Blancos.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 9.- En fecha 8 de Octubre de 2016, se Asfalto la Avenida 6 de Agosto, vía que se encuentra en el barrio Tabladita I, distrito 13, se pavimento un tramo de 285 metros lineales con un área de 2280 m² de asfalto y un ancho de vía de 8 metros siendo una avenida en doble sentido, Comienza la avenida en la Av. Los Molles y se asfalto hasta la Av. Héroes de la Independencia, el asfaltado de esta vía está al Noreste de la ubicación del coliseo Tabladita I del barrio, tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°32'20,93" S, Longitud 64°42'19,41" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'22,34" S, Longitud 64°42'5,24" O. ver figura 3.20.

FIGURA 3. 20 Av. 6 de Agosto. Barrió Tabladita I. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Avenida 6 de Agosto, tiene un tramo de estudio con una longitud de pavimento lineal 285 ml de asfalto.

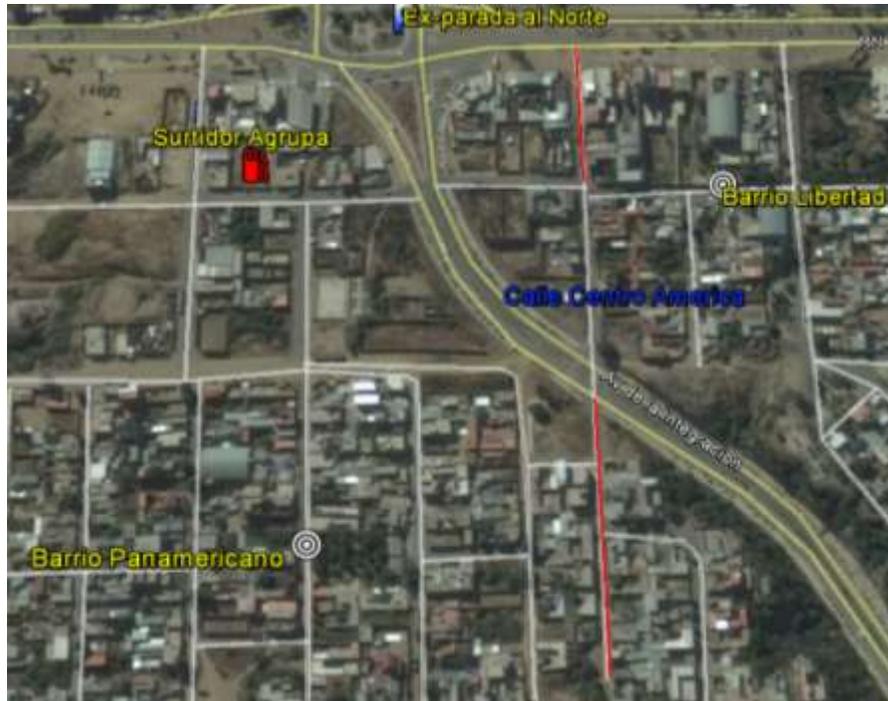
FIGURA 3. 21 Avenida 6 de Agosto. Barrió Tabladita I



Fuente: Elaboración propia

Estudio 10.- En fecha 18 de Octubre de 2016, se Asfalto la calle Centro América, vía que se encuentra en el barrio Libertad, como también se pavimento otro tramo en la misma calle en la misma fecha, solo que por turno de la tarde se asfalto en el barrio Panamericano un tramo de 180 metros lineales, ambos barrios pertenecientes al distrito 6 de la ciudad de Tarija, el primer tramo de 100 metros lineales en el barrio Libertad con un área de 600 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza la calle en la Av. Víctor Paz Estensoro o RN1 Y finaliza su asfaltado hasta la calle Galilea, esta vía se encuentra al este del surtidor Agrupa pasando la Avenida Integración, el segundo tramo realizado en el barrio Panamericano tiene un largo de 180 metros, siendo su área de asfalto unos 1080 m² con un ancho de vía de 6 metros y a su vez es una calle de doble sentido, este tramo se encuentra ubicado al sur este del Surtidor Agrupa. El primer tramo tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°32'20,93" S, Longitud 64°42'19,41" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°32'22,34" S, Longitud 64°42'5,24" O. ver figura 3.22.

FIGURA 3. 22 Calle Centro América. Barrió Libertad y Barrió Panamericano. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Centro América, presenta dos estudios uno en cada tramo realizado en distintas fechas y en diferentes barrios puesto que la calle está ubicada en los mismo. El primer tramo con una longitud de pavimento lineal 100 ml de asfalto, y el segundo con un tramo de 180 ml de asfalto.

FIGURA 3. 23 Calle Centro América. Barrió Libertad y Panamericano (tramo 1).



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 24 Calle Centro América. Barrió Libertad y Panamericano (tramo 2).



Fuente: Elaboración propia

Estudio 11.- En fecha 20 de Octubre de 2016, se asfalto la calle Jazmín, esta se encuentra en el barrio La Unión, distrito 6, se pavimento un tramo de 215 metros lineales con un área de 1290 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza en la Av. Principal y se asfalto hasta la Calle S/N, el asfaltado de esta vía está de frente al colegio Humberto Porto Carrero, tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°30'30,62" S, Longitud 64°45'10,31" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°30'36,83" S, Longitud 64°45'7,27" O. ver figura 3.25.

FIGURA 3. 25 Calle Jazmín. Barrió La Unión. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Jazmín tiene un tramo, con una longitud de pavimento lineal 215 ml. de asfalto.

FIGURA 3. 26 Calle Jazmín. Barrió La Unión.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 12.- En fecha 21 de Octubre de 2016, se asfalto la calle Las Palmeras, esta se encuentra en el barrio La Unión, distrito 6, se pavimento un tramo de 165 metros lineales con un área de 990 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza en la Av. Principal y se asfalto hasta la Calle S/N, el asfaltado de esta vía está de frente al colegio Humberto Porto Carrero, tiene un punto

inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°30'32,83" S, Longitud 64°45'12,67" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°30'37,06" S, Longitud 64°45'10,08" O. ver figura 3.27.

FIGURA 3. 27 Calle Palmeras. Barrió La Unión. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Las Palmeras, presenta un tramo para estudio, con una longitud de pavimento lineal 165 ml de asfalto.

FIGURA 3. 28 Calle Las Palmeras. Barrió La Unión.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 13.- En fecha 22 de Octubre de 2016, se asfalto la calle El Paraíso, esta se encuentra en el barrio La Unión, distrito 6, se pavimento un tramo de 150 metros

lineales con un área de 900 m² de asfalto y un ancho de vía de 6 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza en la Av. Cañada y se asfalto hasta la Calle las Palmeras, el asfaltado de esta vía está Paralelo a la Av. Principal del colegio Humberto Porto Carrero, tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°30'32,46" S, Longitud 64°45'7,24" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°30'34,62" S, Longitud 64°45'11,73" O. ver figura 3.29.

FIGURA 3. 29 Calle El Paraíso. Barrió La Unión. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle El Paraíso, con una longitud de pavimento lineal 150 ml de asfalto tiene un solo tramos a estudio.

FIGURA 3. 30 Calle El Paraíso. Barrió La Unión.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 14.- En fecha 25 de Octubre de 2016, se asfalto la Av. Principal, esta se encuentra en el barrio La Unión, distrito 6, se pavimento un tramo de 352 metros lineales con un área de 2464 m² de asfalto y un ancho de vía de 7 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza en la Av. Cañada y se asfalto hasta la Calle S/N, el asfaltado de esta vía está el colegio Humberto Porto Carrero, tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°30'28,34" S, Longitud 64°45'9,23" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°30'38,06" S, Longitud 64°45'12,81" O. ver figura 3.31.

FIGURA 3. 31 Av. Principal. Barrió La Unión. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Avenida Principal, con una longitud de pavimento lineal 352 ml de asfalto presenta dos estudios a realizar.

FIGURA 3. 32 Avenida Principal. Barrió La Unión.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 15.- En fecha 26 de Octubre de 2016, se asfalto la calle Oscar Montes B., esta se encuentra en el barrio Panamericano, distrito 6, se pavimento un tramo de 110 metros lineales con un área de 770 m² de asfalto y un ancho de vía de 7 metros siendo una calle en doble sentido, Comienza en la Av. Cañada y se asfalto hasta la Calle Galilea, el asfaltado de esta vía está en la parte trasera del surtidor Agrupa, tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°30'40,52" S, Longitud 64°45'2,60" O. la calle termina en estas coordenadas Latitud 21°30'39,07" S, Longitud 64°44'59,23" O. ver figura 3.33.

FIGURA 3. 33 Calle Oscar Montes B. Barrió Panamericano. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Calle Oscar Montes B., con una longitud de pavimento lineal 110 ml de asfalto tiene un solo estudio para laboratorio.

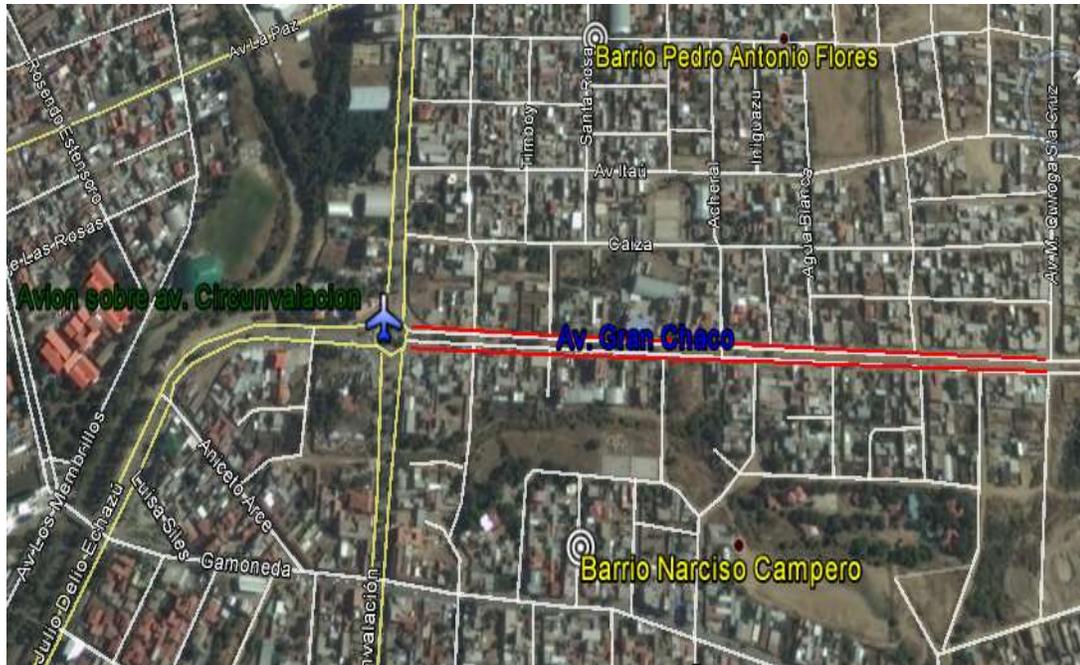
FIGURA 3. 34 Calle Oscar Montes B. Barrió Panamericano.



Fuente: Elaboración propia

Estudio 16.- En fecha 25, 26, 27,28 y 29 de Octubre de 2016, se asfalto la Avenida Gran Chaco, esta se encuentra en el barrio Pedro Antonio Flores y a la vez limita con el Barrio Narciso Campero, distrito 9, se asfalto un total de 725 metros lineales por sentido, dando un total de 1450 metros lineales con un área de 10150 m² de asfalto y un ancho de vía de 8.5 metros en un sentido y la otra de 8 metros, las avenidas son una en sentido de ida y otra en sentido de regreso, Comienza en la Av. Circunvalación a altura del Avión (monumento de la guerra al Chaco) y se asfalto hasta la Avenida Marcelo Quiroga Santa Cruz, el asfaltado de esta Avenida está a la derecha del monumento del Avión, la avenida en sentido de ida tiene un punto inicio con las siguientes coordenadas Latitud 21°31'55,92" S, Longitud 64°43'4,52" O. la misma que termina en estas coordenadas Latitud 21°31'39,46" S, Longitud 64°42'46,44" O. la avenida en sentido de regreso su punto inicio tiene coordenadas Latitud 21°31'55,54" S, Longitud 64°43'5,06" O. y termina en estas coordenadas Latitud 21°31'39,10" S, Longitud 64°42'46,83" O. ver figura 3.35.

FIGURA 3. 35 Avenida Gran Chaco. Barrió Pedro Antonio Flores y Narciso Campero. Por GOOGLE EARTH.



Fuente: Elaboración propia.

La Avenida Gran Chaco, presenta un resumen 7 tramos de pruebas realizadas por tener una longitud de pavimento lineal 1450 ml de asfalto.

FIGURA 3. 36 Avenida Gran Chaco. Barrió Pedro Antonio Flores y Narciso Campero.



Fuente: Elaboración propia

Para el mejoramiento de la investigación sobre el tema tratado, se utilizó un nuevo tipo de asfalto de procedencia Brasileira de la empresa “ESTRATURA ASFALTOS”, el nombre del producto es BETUFLEX B 60/85 E, es un cemento asfáltico con polímero elastómero SBS y otro aditivos que, con arreglo al procedimiento especial, tienen características de rendimiento, como redonda sensibilidad térmica, punto de ablandamiento de alta, la resistencia a la tensión repetida térmicas y mecánicas (elasticidad) y resistencia al envejecimiento.

FIGURA 3. 37 Empresa brasileira STRATURA ASFALTOS, proveedora del CA BETUFLEX 60-85 E.



Fuente: Elaboración propia

Este tipo de asfalto presenta rendimiento y durabilidad superiores en los servicios de pavimentación, reducir costos de mantenimiento y los niveles de accidentes de tráfico, con una solución efectiva en términos de costo/beneficio de los servicios de asfalto a caliente, tales como: concreto del asfalto, pre-mezclado, arena-asfalto, tratamiento superficial.

3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO

Siendo el asfalto un componente en los pavimentos, es primordial estudiar y analizar cada una de las propiedades físicas que lo caracterizan.

Para la realización del presente proyecto se solicita los datos de caracterización del material utilizado en la pavimentación de las diferentes calles y avenidas realizados en los últimos 3 meses a la entidad pública encargada de la realización de las misma, la Alcaldía Municipal de la Provincia Cercado del departamento de Tarija, siendo dicha institución la encargada de manejar el diseño y echado de carpetas asfálticas debido a la alta demanda y uso de asfalto para el crecimiento de nuestra ciudad.

Ante la falta de proporción de los datos de caracterización del asfalto, se solicitó el permiso de extracción del material que se usa para la realización del pavimentado, y a su vez se estudió los mismos realizando los ensayos de laboratorio para observar que el asfalto cumpla con sus especificaciones.

Haciendo un mejoramiento para la investigación se encontró otro tipo de asfalto que también se utiliza en la pavimentación de nuestro medio, pero siendo el uso de este un poco más específico para su misma utilización en zonas más transitadas, como ser avenidas principales.

3.2.1.- Caracterización de materiales asfálticos

3.2.1.1 Ensayo de peso específico ASTM D-70.

3.2.1.1.1 Objetivo

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a

los 25°C. Además de dar una identificación de la calidad y origen del material, el peso específico es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación.

3.2.1.1.2 Procesamiento

- ✓ Picnómetro.
- ✓ Baño de agua.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Recipiente de vidrio boca ancha de 600ml.
- ✓ Balanza A \pm 0.01gr.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Asfalto.

3.2.1.1.3 Procesamiento

Calibración del picnómetro.- Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada y secándolo finalmente. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón.

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A.

Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua a 25 °C.

Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y

una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

Preparación de la muestra.- Calentar con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobre calentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida para que pueda ser vertida. La muestra debe ser representativa de la existente en el laboratorio y deberá ser homogénea y no estar contaminada.

Verterlo una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tomar precaución para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Dejar enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pesar con el tapón con aproximación a 1 mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. Retornar luego el vaso al baño de agua a 25° C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

FIGURA 3. 38 Muestras de asfalto



FIGURA 3. 39 Registro de peso Picnómetro + asfalto + agua



3.2.1.1.4.- Cálculo y resultado

Tabla 1 Resultado de la gravedad específica de asfalto convencional 85-100

Peso Picnómetro	[g]	A	61.99	62
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	[g]	B	142.78	142.8
Peso Picnómetro + Muestra	[g]	C	106.25	109.9
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	[g]	D	143.34	143.3
Gravedad Especifica (Gb)	[g/cm ³]	$\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$	1,010	1.008
			PROMEDIO	1.009

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2 Resultado de la gravedad específica de asfalto Betuflex 60-80 E

Peso Picnómetro	[g]	A	61.99	61.99
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	[g]	B	142.78	142.78
Peso Picnómetro + Muestra	[g]	C	107.25	108.45
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	[g]	D	143.13	143.25

Gravedad Específica (Gb)	[g/cm ³]	$\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$	1,005	1.007
			PROMEDIO	1.006

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.2. Puntos de inflamación copa abierta de Cleveland ASTM D-92

3.2.1.2.1 Objetivo

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

3.2.1.2.2 Procesamiento

- ✓ Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación.
- ✓ Lave la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.
- ✓ Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.

- ✓ Llène la copa a una temperatura conveniente no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado. Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestra que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra.
- ✓ La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
- ✓ Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuya el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por min.
- ✓ Comenzando, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulos recto al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 s. Durante los últimos 17°C , suba la temperatura previo al Punto de Inflamación.
- ✓ Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.

✓ Para determinar el Punto de Combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2° Chasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informe la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

FIGURA 3. 40 Punto de Combustión



3.2.1.2.3 Resultado

De acuerdo a la norma de ensayos de laboratorio de asfalto de ABC para el tipo de asfalto 85-100 el punto de inflamación y combustión mínima es 230°C.

De acuerdo al procedimiento se obtuvo 263 °C de punto de inflamación y 200°C de combustión.

Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensayo es menor que 715 mm de mercurio informe y sume la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la tabla siguiente

Tabla 3 Valores de corrección del punto de Inflamación

Presion Barometrica (mm de mercuciro)	Correccion (oC)
715 - 665	2
664 - 610	4
609 - 550	6

Fuente: Manual de carreteras Ensayos de laboratorio de asfalto de ABC

Tabla 4 Resultado del punto de Inflamación asfalto convencional 85-100

MUESTRA	Presión Barométrica (TARIJA) (mm de mercurio)	Corrección (oC)	Punto de inflamación Oc
1	609-550	6	263

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Resultado del punto de Inflamación asfalto Betuflex 60-85

MUESTRA	Presión Barométrica (TARIJA) (mm de mercurio)	Corrección (oC)	Punto de inflamación Oc
1	609-550	5	305.0

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3. Penetración ASTM D5, AASHTO T49

3.2.1.3.1 Objetivo

✓ Determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal. Esta se hace a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

3.2.1.3.2 Equipo y material

- ✓ Penetrometro, Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0.05$ gr. El peso total del vástago con aguja será de $50 \pm 0,05$ gr. para cargas totales de 100 y 200 gr. Dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo.
- ✓ Aguja de Penetración, La aguja es de acero inoxidable templado y duro, debe tener aproximadamente 50 mm. De largo y diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.
- ✓ Capsulas
- ✓ Baño de agua
- ✓ Transportador de capsula
- ✓ Aparato medidor de tiempo
- ✓ Termómetros

3.2.1.3.3 Procedimiento

- ✓ Calentar el material en un recipiente, agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
- ✓ Se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, hasta una altura que sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta.
- ✓ Después de llenar los moldes, protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y dejar enfriar al aire a una temperatura por un período entre 1 y 1.5 horas.
- ✓ Sumergir el recipiente en el baño de agua a la temperatura controlada de 25°C , durante un periodo de 30 minutos.

- ✓ Comprobar que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamientos
- ✓ Fijar la aguja firmemente en su soporte. Se coloca el peso suplementario de 50g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g.
- ✓ Aproximar la aguja del penetrometro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sí que penetre.
- ✓ Poner en cero el penetrometro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado.
- ✓ Se lee ya nota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que hay a penetrado la aguja en la muestra.
- ✓ Se puede realizar más perforaciones en la muestra para lo cual se la vuela a introducir al baño de agua durante un periodo de 15 minutos.
- ✓ Al momento de repetir el ensayo se debe tener en cuenta que se las debe realizar tanto a 10mm de la perforación inicial y del borde.

FIGURA 3. 41 Lectura de penetración 25 °C, 5 segundos y con un peso de 100g.



3.2.1.3.4 Cálculo y resultados

Tabla 6 Resultado de Ensayo de Penetración 85-100 Convencional

Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T- 49	Lectura N°1	mm.	95	93	
	Lectura N°2	mm.	96	94	
	Lectura N°3	mm.	94	92	
	Promedio	mm.	95,0	93,0	94,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Resultado de Ensayo de Penetración Betuflex 60-85 E

Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T- 49	Lectura N°1	mm.	53	
	Lectura N°2	mm.	54	
	Lectura N°3	mm.	54	
	Promedio	mm.	53.70	53,7

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4 Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol ASTM D244

3.2.1.4.1. Objetivo.

✓ Este método de ensayo permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo. Empleando una temperatura de 135°C para los cementos asfálticos, de 25 y 50°C para las emulsiones asfálticas y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados, haciendo a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

✓ La prueba consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de Viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecida.

3.2.1.4.2 Equipo y materiales

✓ Viscosímetro Syabot Furolb

✓ Recipiente

✓ Aciete

✓ Matraz 60 cm³

3.2.1.4.3 Procesamiento

✓ Se colocan 450 g de la muestra de cemento asfáltico en un recipiente, para derretirla se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 15 °C a la prueba, agitándola de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C de calentamiento, cuando el agitado será continuo. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra solamente se debe.

✓ Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuara la prueba o con agua si se trata de un asfalto rebajado.

- ✓ Se limpia el tubo del equipo y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia.
- ✓ Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- ✓ Se ajusta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para la prueba, se entibian y secan el tubo de viscosidad y el embudo con la malla N° 20 cuando se trate de cemento asfáltico o N° 100 para asfalto rebajado. A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra preparada, filtrándola a través de la malla, hasta que se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- ✓ Se ajusta la muestra continuamente con el termómetro, dándole a este un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el tubo de viscosidad para no presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.
- ✓ Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0,3 °C respecto a la temperatura de prueba, se retira la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.

✓ Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronometro , el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm³ del matraz y se registra el tiempo medido. El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz.

FIGURA 3. 45 Limpieza del equipo



FIGURA 3. 44 Vertido del material



FIGURA 3. 43 Retiro del tapón de corcho



FIGURA 3. 42 Registro de tiempo



3.2.1.4.4 Cálculo y resultados

Viscosidad Saybolt 135°C de 60 cm³ de muestra de asfalto

Tabla 8 Resultado de Viscosidad Saybolt asfalto convencional

Ensayos	Tiempo (seg)
1	157
2	153
Promedio	155

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.5 Punto de reblandecimiento Anillo y Bola ASTM D 36

3.2.1.5.1 Objetivo.

✓ Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C). Se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua oglicerina

✓ Este ensayo mide de forma indirecta la consistencia y equivale a una temperatura de equiviscosidad en las condiciones de ensayo. Junto a la penetración a 25° C, permite calcular el índice de penetración y estimar mediante su valor la susceptibilidad de los asfaltos.

3.2.1.5.2. Procesamiento

✓ Se homogeniza su contenido con una espátula.

✓ Verter una pequeña muestra de betún caliente en cada anillo, posterior a esto permitir que las muestras se enfríen a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos.

- ✓ Una vez que las muestras se encuentren frías, cortar el exceso de betún sobre la parte superior del anillo con un cuchillo o espátula ligeramente caliente, de modo que el betún quede al ras y a nivel con el anillo.
- ✓ Monte el aparato con los anillos, guías de centrado de la bola, y el termómetro en posición. Llene la bañera de modo que la profundidad del líquido sea de 105 ± 3 mm con el aparato en su lugar.
- ✓ Coloque las esferas en las guías y sumerja el aparato en el medio del baño correspondiente.
- ✓ Calentar el baño de tal manera que la temperatura se incremente en rangos de 5°C cada minuto.
- ✓ Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

FIGURA 3. 49 Colocación del betún

FIGURA 3. 48 Colocación de esferas en el anillo sobre anillos



FIGURA 3. 47 Aparato sumergido



FIGURA 3. 46 Registro de temperatura

Dentro de la investigación a desarrollar al utilizar como datos de fuente los agregados naturales y el cemento asfáltico 85-100 de origen Brasileño, ante la falta de caracterización del mismo se realizaron sus pruebas en Laboratorio en la institución pública Sedeca, para que dicha información necesaria nos sirva en esta investigación. Y como el cemento asfáltico usado en estos 30 tramos de estudios realizados por la Alcaldía es el mismo se presenta a continuación una tabla con las características del mismo.

Tabla 9 Resumen característico del asfalto 85-100 usado en la investigación.

Estudio 1		Caracterización del asfalto					
TIPO DE ENSAYO	Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Viscosidad Saybolt	Pérdida de masa	Punto de Ablandamiento	
Unidad	gr/cm ³	°C	mm.	Seg.	%	°C	
Tramo	1	1,009	263	94	155	0.17	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Resumen característico del asfalto Betuflex 60-85 E.

Estudio 1		Caracterización del asfalto				
TIPO DE ENSAYO	Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Recuperación Elástica	Punto de Ablandamiento	
Unidad	gr/cm ³	°C	mm.	%	°C	
1	1,006	305	53.7	2.7	1.3	

Fuente: Elaboración propia

En Anexos se presenta la planilla realizada en el Laboratorio de la institución pública Sedeca, con la caracterización de ambos cementos asfálticos usado por la Alcaldía en nuestra región.

3.2.2.- Elaboración de mezclas asfálticas del área de proyecto

3.2.2.1 Método de Diseño Marshall Convencional AASHTO T 245

3.2.2.1 Objetivo

✓ Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto o inferior a 25mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno.

3.2.2.2 Resumen del metodo

✓ El procedimiento consiste en la elaboración de briquetas (probetas cilíndricas de 101.6 mm. de diámetro y 63.5 mm. de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall determinando su estabilidad y flujo.

✓ Si se desea determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas, se determinaran previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las briquetas compactadas antes del ensayo de rotura.

✓ Previa a la preparación de las briquetas es necesario determinar la granulometría de los áridos y la combinación de estos, además de los pesos específicos de los mismos, así como también del asfalto

3.2.2.3 Equipo y materiales

- ✓ Moldes de Compactación: Se conforman de una placa de base plana con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 4" y una altura aproximada de 3", la placa de base y el collarín deberán ser intercambiables o sea que se deberán ajustar en los dos extremos de los moldes
- ✓ Extractor: Que sirva para sacar las briquetas del molde

- ✓ Martillo de compactación: Consiste en una cara circular de 100mm. De diámetro equipada con un peso de 4.515 ± 15 gr. (10lb) Y construido de modo de obtener una altura de caída de 460 ± 2 mm.
- ✓ Pedestal de compactación: Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm. Cubierto con una placa de acero de 305 x305 x25 mm. Debe estar empotrado y quedar firmemente afianzada y a nivel.
- ✓ Sujetador de molde: Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.
- ✓ Mordaza: Son dos segmentos de cilindro (superior e inferior) con un radio interno de 51 ± 0.2 mm. Diseñado para transmitir la carga.
- ✓ Máquina Marshall: Aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrada para determinar la carga aplicada de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45 N. con un dial graduado de 0.0025 mm. Y un medidor de flujo con una precisión de 0.01 mm. Para determinar la deformación que se produce en la carga máxima.
- ✓ Horno
- ✓ Baño de agua: Deberá ser controlado termostáticamente a 60 ± 1 :C y también contara con un fondo falso y un termómetro centrado y fijo.

Realizar la combinación de agregados de gravedad específica y absorción en relación al porcentaje que se obtiene la estructura granular de las granulometrías propuestas, el diseño de mezcla debe proporcionar la granulometría que se encuentra dentro de los rangos de diseño.

3.2.2.4.- Gravedad Específica seca o bulk de la combinación de agregados (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

G_{sb} : Gravedad Especifica seca o bulk de la combinación de agregados

$P_1, P_2, ..P_n$: Porcentaje por Peso de los Agregados

G1, G2, ...G3:Gravedad Especifica seca o buk de cada agregado

Las gravedades específicas de la granulometría 1 convencional de los materiales las cuales se han obtenido por medio de cada uno de los ensayos respectivos son las siguientes:

Agregado $\frac{3}{4}$ " → G1 = 2,652

Agregado $\frac{3}{8}$ " → G2 = 2,652

Arena → G3 = 2,711

Asfalto → Gasf = 1,009

$$Gsb = \frac{20 + 28 + 52}{\frac{20}{2,652} + \frac{28}{2,652} + \frac{52}{2,711}} = 2.682$$

De manera resumida se tiene la gravedad específica bulk de la granulometría estudiada.

Tabla 10 Resultado de Gravedades específicas bulk de la combinación de los agregados

Gravedad específica seca o bulk	Gsb
Granulometría 1 Convencional	2,682

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.5. Evaluación del cemento asfáltico convencional

Se determina el grado apropiado de cemento asfáltico C.A. 85-100, según el tipo y ubicación geográfica del proyecto, así la gravedad específica del cemento asfáltico (Ga) tiene igual a 1,009 que se determinó en la caracterización de los ensayos de asfalto.

Tabla 11 Resumen de control de calidad asfalto convencional de Estudio 1

Ensayos	Unidades	Normas	Resultado	Especificación
----------------	-----------------	---------------	------------------	-----------------------

Penetración	[mm]	AASHTO T49	ASTM D5	94	85 – 100
Viscosidad Saybolt Furol	° C	AASHTO T5997	ASTM D244	155	85min
Punto de ablandamiento	° C	AASHTO T53	ASTM D36	45	30 – 150
Gravedad específica a 25°C	g/cm ³	ASSHTO T229	ASTM D71	1,009	—
Punto inflamación	°C	AASHTO T79	ASTM D1310	263	232 min

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.6. Evaluación del cemento asfáltico Betuflex 60-85 E

Se determina el grado apropiado de cemento asfáltico Betuflex 60-85 E, según el tipo y ubicación geográfica del proyecto, así la gravedad específica del cemento asfáltico (Ga) tiene igual a 1,006 que se determinó en la caracterización de los ensayos de asfalto.

Tabla 12 Resumen de control de calidad asfalto Betuflex 60-85 E

Ensayos	Unidades	Normas		Resultado	Especificación
Penetración	[mm]	AASHTO T49	ASTM D5	53,7	40 – 70
Viscosidad Rotacional Brookfiel	° C	AASHTO TP 42	ASTM D4402-06	738	2000 máx.
Punto de ablandamiento	° C	AASHTO T53	ASTM D36	76,5	60 min
Gravedad específica a 25°C	g/cm ³	ASSHTO T229	ASTM D71	1,006	—
Punto inflamación	°C	AASHTO T79	ASTM D1310	305.0	232 min

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.7 Preparación de los Especímenes Marshall

3.2.2.7.1 Dosificación de agregados para una briqueta

El procedimiento para dosificación de agregado que se utilizará en el método de diseño que se explica en este documento es el que recomienda la norma Bolivia de Laboratorio de suelos y asfalto, que los agregados se separen por tamizado seco en ciertas fracciones y recomienda los rangos.

Según el tamaño máximo de los agregados (3/4") que se utilizan en el diseño, se toman las siguientes fracciones de tamaño:

- ✓ 25.40 mm a 19.05 mm (1 pulg a ¾ pulg.)
- ✓ 19.05 mm a 12.70 mm (¾ a 1/2 pulg.)
- ✓ 12.70 mm a 9.53 mm (1/2 a 3/8 pulg.)
- ✓ 9.53 mm a 4.75 mm (3/8 pulg. a No. 4)
- ✓ 4.75 mm a 3.56 mm (No. 4 a No. 10)
- ✓ 3.56 mm a 2.00 mm (No. 10 a No. 16)
- ✓ 2.00 mm a 1.00 mm (No. 16 a No. 40)
- ✓ 1.00 mm a 0.42 mm (No. 40 a No. 50)
- ✓ 0.42 mm a 0.18 mm (No. 50 a No. 80)
- ✓ 0.18 mm a 0.075 mm (No. 80 a No. 200)
- ✓ Pasa por malla N°200

Nuestro diseño utilizará tres tamaños de agregado con sus respectivos porcentajes establecidos que son: Agregado Grueso ¾" , Agregado Medio 3/8" y Arena ; pero ahora, para poder hacer una briqueta de 1200 g se tienen tres fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar tres cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una elaboración de una briqueta; para éstas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por lo que se procede a calcularlo de las granulometrías propuestas que se obtuvo al combinar los tres agregados.

El porcentaje retenido se calcula es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción

3.2.2.7.2 Dosificación de agregado y asfalto

A continuación se ejemplifica el cálculo de los diferentes pesos de agregados para cada una de las fracciones, de acuerdo a los porcentajes establecidos como ser desde 4.3%, 4.8%, 5.3%, 5.8%, 6.3% y 6.8%.

Cálculo Para una Briqueta.

Para ejemplificar el cálculo se utilizará la granulometría 1 del tramo 1, Estudio 1, la dosificación completa para una briqueta de 1200 gramos con un porcentaje de asfalto 6,3 % C.A. (Cemento Asfáltico)

$$W_{\text{briqueta}} = 1200 \text{ g}$$

$$1200 \text{ g} \quad 1200 \text{ g} \times 6,3 \% = 75,6 \text{ g de C.A.}$$

$$1200 \text{ g} \times 93,7\% = 1124,4 \text{ g de agregado}$$

$$100 \% = 1200 \text{ g peso total en mezcla}$$

Los cálculos para las diferentes dosificaciones para las briquetas de acuerdo a su porcentaje respectivo de material granular se realizan de la misma forma que los

ejemplos en las secciones anteriores, a continuación se presenta todo los datos calculados de material granular.

Tabla 13 Dosificación para el diseño Marshall.

DOSIFICACION DISEÑO MARSHALL															
TAMIZ	%Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,30%		4,8%		5,3%		5,8%		6,3%		6,8%	
				P. Parcial	P. Acumu										
				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,3	0,7	0,7	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0
1/2"	83,7	16,3	15,6	179,4	187,6	178,5	186,7	177,5	185,7	176,6	184,7	175,7	183,7	174,7	182,7
3/8"	71,3	28,7	12,3	141,5	329,2	140,8	327,4	140,1	325,7	139,3	324,0	138,6	322,3	137,8	320,6
Nº4	50,7	49,3	20,7	237,5	566,7	236,3	563,7	235,0	560,7	233,8	557,8	232,5	554,8	231,3	551,9
Nº8	41,1	58,9	9,5	109,6	676,3	109,1	672,8	108,5	669,2	107,9	665,7	107,3	662,2	106,8	658,6
Nº16	34,3	65,7	6,8	78,3	754,6	77,9	750,6	77,5	746,7	77,0	742,7	76,6	738,8	76,2	734,8
Nº40	20,8	79,2	13,5	154,5	909,1	153,7	904,3	152,9	899,6	152,1	894,8	151,3	890,1	150,5	885,3
Nº80	10,3	89,7	10,6	121,2	1030,3	120,6	1024,9	120,0	1019,5	119,3	1014,2	118,7	1008,8	118,1	1003,4
Nº200	3,7	96,3	6,6	76,0	1106,3	75,6	1100,5	75,2	1094,7	74,8	1088,9	74,4	1083,1	74,0	1077,4
Filler	0	100,0	3,7	42,1	1148,4	41,9	1142,4	41,7	1136,4	41,5	1130,4	41,3	1124,4	41,0	1118,4
Peso Total=				1148,4		1142,4		1136,4		1130,4		1124,4		1118,4	
Peso Muestra=				1148,4		1142,4		1136,4		1130,4		1124,4		1118,4	
Peso Asfalto=				51,6		57,6		63,6		69,6		75,6		81,6	
Peso Total Material + C. Asf.=				1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 50 Preparación del material para las briquetas



3.2.2.8 Preparación de la mezcla

- a) Pese en bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria de cada fracción para producir muestra quede como resultado una briqueta compacta de altura igual a 65 mm. Normalmente se requieren 1200 gr.
- b) Coloque las bandejas en el horno y caliente a una temperatura de aproximadamente 30 °C sobre la temperatura de mezclado.
- c) Coloque el árido caliente en una bandeja y revuelva completamente, forme un cráter en el árido y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico e incorpórela en la bandeja junto con los áridos.
- d) Asegúrese que la temperatura en ese instante sea la de mezclado. Mezcle el asfalto y el árido tan rápido como sea posible hasta que de completamente uniforme.

FIGURA 3. 51 Bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria



FIGURA 3. 52 Muestra en el horno a una T 30°C



FIGURA 3. 53 Peso de muestra + asfalto



3.2.2.9 Compactación de Briquetas

- a) Prepare el molde y el martillo, limpiéndolos completamente y calentándolos durante 15 min.
- b) A una temperatura próxima a la de compactación, coloque un disco de papel filtro (papel común pintado con aceite sucio) cortado a medida, suavice las paredes del molde con aceite. Coloque el conjunto collar molde y base en el pedestal del compactador.
- c) Coloque la mezcla para la elaboración de briqueta
- d) Llene el molde con la espátula acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro.
- e) Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90s. Saque la base y el collar, invierta y re ensamble el molde y aplique en la otra cara del molde el mismo número de golpes.
- f) Después de compactar saque la base y deje enfriar la briqueta al aire. Si se desea puede utilizar un ventilador. Normalmente se deja enfriar toda la noche.

FIGURA 3. 55 Preparación del molde



FIGURA 3. 54 Disco de papel filtro



3.2.2.10 Gravedad Específica Bulk mezcla compactada (Gmb)

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para su respectivo curado a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad bulk, según AASHTO T 166-05. El procedimiento seguido fue secar los especímenes hasta masa constante (curado a temperatura ambiente). Luego se registró el peso seco de cada briqueta. Luego se sumergieron en un recipiente con agua a 25 °C, dejándolos saturar por lo menos 10 minutos. Al final del período de 10 minutos se removieron los especímenes y se colocaron en la canastilla sumergida previamente agitada para la eliminación de burbujas de aire, y se registró el peso sumergido de cada briqueta, inmediatamente al retirar la briqueta de la canastilla se secó la humedad del espécimen con una toalla húmeda tan rápido como fue posible. Pesamos al espécimen y registramos como peso saturado superficialmente seco.

La norma AASHTO T 166-05 establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica bulk es de 0.02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad bulk que sobrepasa dicho valor es descartada.

FIGURA 3. 56 Peso seco de briquetas



FIGURA 3. 57 Peso sat. Superf. Seco



FIGURA 3. 58 Peso sumergido en agua



Calculo:

$$G_{mb} = \frac{W_{seco\ al\ aire}}{W_{s.s.s.} - W_{sumergido}} = \frac{B}{C - D}$$

Porcentaje de C.A.= 6,13%:

$$G_{mb1} = \frac{1186,3}{1190 - 680,3} = 2,326$$

$$G_{mb2} = \frac{1186,9}{1189,3 - 685,9} = 2,358$$

$$G_{mb3} = \frac{1186,8}{1191,5 - 678,2} = 2,312$$

Valor promedio:

$$G_{mb3} = \frac{2,326 + 2,358 + 2,312}{3} = 2,332$$

Para la granulometría con este material se tiene:

Tabla 14 Resultados de gravedades específicas (Gmb) con CA 85-100

Nº Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta	
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Ag		Densidad Real	Densidad Promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.		CC	Grs./cm3
1	6,65	6,13	6,5	186,3	190,3	680,3	510,0	2,326	
2	6,67	6,13	6,5	186,9	189,3	685,9	503,4	2,358	
3	6,69	6,13	6,5	186,8	119,5	678,2	513,3	2,312	2,332

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15 Resultados de gravedades específicas (Gmb) Betuflex 60-85 E

Nº Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta	
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Ag		Densidad Real	Densidad Promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.		CC	Grs./cm3
1	6,54	5,83	6,2	190,5	193,8	683,8	510,0	2,334	
2	6,58	5,83	6,2	191,3	194,8	685,6	509,2	2,340	
3	6,60	5,83	6,2	192,0	195,8	688,9	506,9	2,352	2,342

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.11 Calculo de las Propiedades volumétricas

3.2.2.11.1 Porcentaje de Vacíos en Total de la Mezcla (VTM)

Los vacíos de aire o vacíos en total de mezcla se pueden definir como el volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla de pavimento compactado.

En mezclas asfálticas densas, este valor de vacíos según las especificaciones, debe estar en el rango de 3 a 5%. Existe una relación entre la gravedad específica bulk y la teórica máxima, esta última no contempla vacíos en su muestra, mientras que una briqueta compactada si posee vacíos en su interior, por lo tanto si el procedimiento se ha efectuado correctamente, la gravedad específica bulk siempre será menor que la gravedad específica teórica máxima.

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos es la siguiente: $100 \cdot (j-f)/j$

$$\% VTM = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} = \frac{J - F}{J}$$

VTM= vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

Gmm= Densidad máxima teórica de la mezcla de pavimentación.

Gmb= Densidad promedio de la mezcla compactada

Como ejemplo de cálculo para una briqueta de 6,13 % de asfalto residual se tiene:

Briqueta 1:

Gmm = 2,43

Gmb = 2,332

$$\% VTM = 100 * \frac{2,43 - 2,332}{2,43} = 4,20$$

3.2.2.11.2 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total.

La ecuación utilizada para determinar los vacíos en el agregado mineral (VAM) es la siguiente:

$$\% V.A.M. = \%VTM \left(\frac{Gmb * \%C.A.}{Ga.C.A.} \right)$$

Dónde:

VMA= vacíos en el agregado mineral (porcentaje del total de la mezcla)

Gmb= Densidad de la mezcla compactada.

C.A. = Porcentaje de cemento asfáltico.

Como ejemplo de cálculo para una briqueta se tiene:

Briqueta 1:

Gmb= 2,332

Ga= 1,009

$$\% VAM = 4,76 \left(\frac{2,332 * 6,13}{1,009} \right)$$

3.5.1.11.3 R.B.V. (Vacíos llenos con asfalto)

Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA), que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, mientras que el R.B.V. solamente abarca el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de R.B.V. se expresa generalmente como un porcentaje.

La ecuación que determina el R.B.V. Es la siguiente:

$$\% R. B. V. = 100 * \frac{VMA - VTM}{VMA}$$

Dónde:

R.B.V. = Vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA= Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del total de la mezcla.

VTM= vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

3.2.2.12 Medición de la estabilidad y la fluencia

Para briquetas confeccionadas con cemento asfáltico coloque estas en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 30 a 40 min antes de ensayar.

Limpie completamente la mordaza, la temperatura de esta debe mantenerse entre 21°C y 38°C usando un baño de agua si es necesario lubrique las barras guías con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza se deslice nuevamente. Si se usa un anillo de prueba para medir la carga aplicada asegúrese que el dial este firmemente ajustado y en cero.

Saque la probeta del agua y seque cuidadosamente la superficie coloque y centre la probeta en la parte inferior de la mordaza luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.

Aplique carga a la briqueta a una velocidad constante de deformación de 50 ± 1 mm/min. Hasta que produzca la falla.

El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida el cual se define como la estabilidad Marshall como el número total de Newtons o libras necesarios para producir falla de la briqueta a 60°C . A medida que avanza el ensayo de estabilidad sujete firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía, cuando se produzca la carga máxima, tome la lectura y anótela. Esta lectura es el valor de la fluidez de la briqueta expresada en unidades de 0.25 mm (1/100 pulg.)

El procedimiento completo de estabilidad y fluencia comienza desde el momento en que se retira la briqueta del agua y no debe durar más de 30 s.

FIGURA 3. 59 Briquetas en baño de María



FIGURA 3. 60 Extracción de briquetas en baño María al equipo Marshall.



FIGURA 3. 61. Colocado de Briqueta en la Mordaza Marshall.

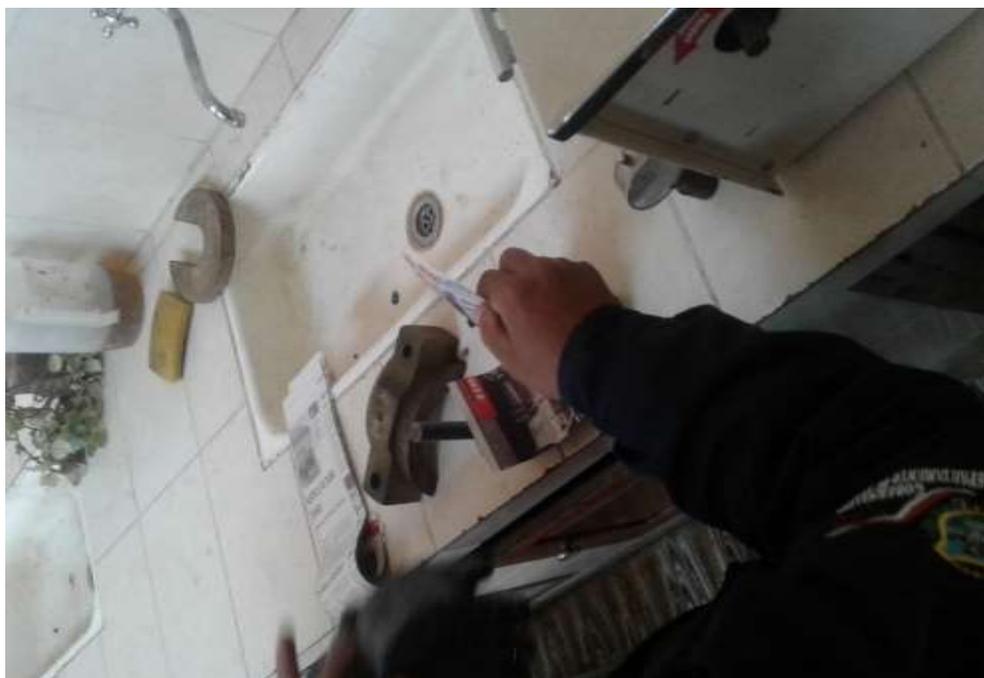


FIGURA 3. 62 Colocado de medidor de flujo.



FIGURA 3. 63 Lectorado de flujo y Estabilidad de probeta.



FIGURA 3. 64 Muestra lectorados y desechadas.





LABORATORIO DE SUELOS, ASFALTOS Y HORMIGONES

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: Estudio 1. Calle Mario Estensoro Vasquez

Fecha: 12 de septiembre de 2016

DISEÑO - MRSH - 01

Pesos Especificos (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION							GRAVA			GRAVILLA			ARENA			
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,652	gr/cm ³	49,35	Tipo de asfalto AASHTO M20	85-100								3/4"	3/8"	N°4							
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,711	gr/cm ³	50,65	P. Especifico Total AASHTO T-228	1,009	% DE AGREGADOS :							20%	28%	58%							
P. Esp. Agregado Total (Gag.)	2,682	gr/cm ³	100			ORIGEN AGREGADOS :							Acopio Planta de Asfaltos La Pintada									
N° GOLPES:		75		135 °C Compactación																		
C O D E	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)						LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA	(gr)	(gr)	(gr)	(cm3)	REAL (Dr.)	PROMEDIO (Drm.)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.	CORREGIDA			
		a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p				
		(a * 100) / 100 - a		D			r - d	c / e		1	2	3	4									
1	6,62	4,49	4,30	1192,5	1197,2	662,0	535,2	2,228					522	1150,8		0,939			220	8,7		
2	6,60	4,49	4,30	1188,6	1192,3	660,0	532,3	2,233					622	1371,3		0,943			220	8,7		
3	6,60	4,49	4,30	1194,2	1197,6	660,0	537,6	2,221	2,227	2,503	11,01	20,51	46,29	522	1150,8	1224,3	0,943	0,942	1153,3	220	8,7	8,66
4	6,66	5,04	4,80	1143,2	1145,8	637,8	508,0	2,250						802	1768,1		0,932			275	10,8	
5	6,81	5,04	4,80	1188,2	1192,7	660,0	532,7	2,231						747	1646,8		0,895			245	9,6	
6	6,73	5,04	4,80	1187,8	1191,7	664,6	527,1	2,253	2,245	2,484	9,63	20,31	52,59	845	1862,9	1759,3	0,915	0,914	1608,0	265	10,4	10,30
7	6,80	5,60	5,30	1188,1	1192,0	671,3	520,7	2,282						1082	2385,4		0,898			295	11,6	
8	6,73	5,60	5,30	1188,0	1195,0	670,5	524,5	2,265						965	2127,4		0,915			275	10,8	
9	6,77	5,60	5,30	1194,7	1198,5	670,2	528,3	2,261	2,269	2,465	7,94	19,86	60,03	1097	2418,4	2310,4	0,905	0,906	2093,2	310	12,2	11,55
10	6,73	6,16	5,80	1199,5	1200,9	682,3	518,6	2,313						995	2193,6		0,915			287	11,3	
11	6,46	6,16	5,80	1190,4	1191,4	673,5	517,9	2,299						1063	2343,5		0,973			330	13,0	
12	6,62	6,16	5,80	1185,1	1186,2	672,4	513,8	2,307	2,306	2,446	5,74	18,99	69,79	1028	2266,3	2267,8	0,939	0,942	2136,3	350	13,8	12,69
13	6,59	6,72	6,30	1185,6	1187,2	673,2	514,0	2,307						826	1821,0		0,945			360	14,2	
14	6,52	6,72	6,30	1191,3	1191,8	676,4	515,4	2,311						800	1763,7		0,958			360	14,2	
15	6,57	6,72	6,30	1192,6	1191,8	677,0	514,8	2,317	2,312	2,428	4,80	19,23	75,06	805	1774,7	1786,5	0,949	0,951	1698,9	355	14,0	14,11
16	6,54	7,30	6,80	1190,5	1191,5	675,2	516,3	2,306						555	1223,6		0,954			400	15,7	
17	6,54	7,30	6,80	1185,3	1186,8	671,3	515,5	2,299						555	1223,6		0,954			410	16,1	
18	6,42	7,30	6,80	1188,2	1189,6	674,6	515,0	2,307	2,304	2,410	4,39	19,92	77,96	555	1223,6	1223,6	0,983	0,964	1179,5	410	16,1	16,01

OBSERVACIONES

ESPECIFICACIONES

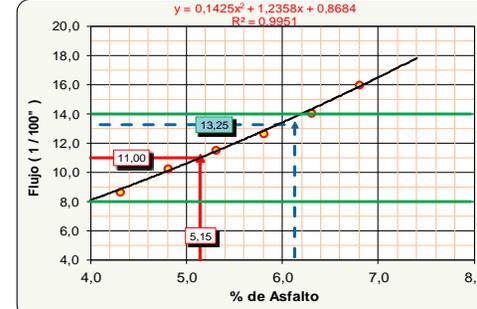
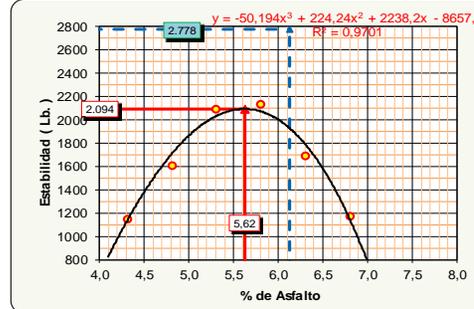
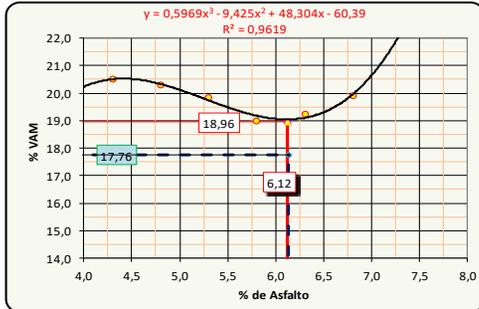
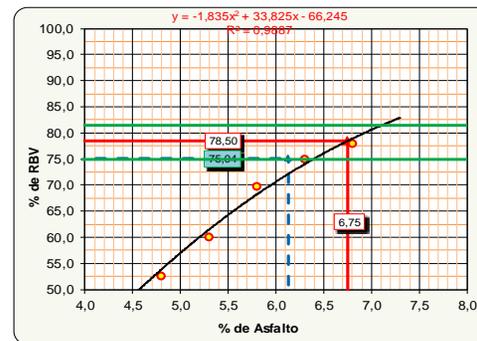
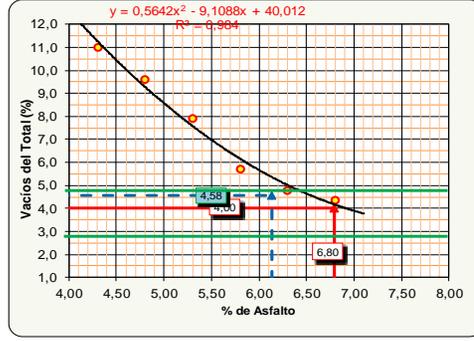
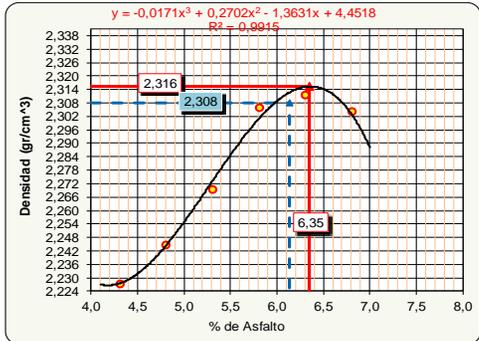
3 - 5 > 15 75 - 82

< 1500 Lb.

8 - 14

GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO

REGISTRO: **DISEÑO - MRSH - 01**



VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6.35	2.316	-----	-----
% VACIOS	6.80	4.0	3	5
R.B.V.	6.75	78.5	75	82
V.A.M	6.12	18.9	15	
ESTABILIDAD (Lb)	5.62	2094.0	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	5.15	11.0	8	14
PROMEDIO (%)	6.13	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6.13	2.308	-----	-----
% VACIOS	6.13	4.58	3	5
R.B.V.	6.13	75.04	75	82
V.A.M	6.13	17.76		
ESTABILIDAD (Lb)	6.13	2778	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	6.13	13.25	8	14
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			6.1	

OBSERVACIONES:		
MEZCLA BITUMINOSA TOTAL	GRAVA 3/4"	18.8
	GRAVILLA 3/8"	26.3
	ARENA	54.4
	ARENA (filler)	0.0
	% ASF. OTP.	6.1
	TOTAL	105.8%

Asfalto ± 3% del Optimo de la Mezcla :	Mín.	Max.
	5,9	6,3

Samuel Rocabado C.
TEC. DE ASFALTOS

Mauricio Rodriguez Villa
UNIVERSITARIO

Ing. Luis Vargas Trigo
RESP. LAB. DE SUELOS Y ASFALTOS



LABORATORIO DE SUELOS, ASFALTOS Y HORMIGONES

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL " B 60-85 E

Proyecto: Construcción de la Carretera Uyuni-Tupiza

Fecha: 8 de diciembre de 2016

DISEÑO - MRSH - 01

Pesos Específicos (AASHTO T-60, T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION			GRAVA - ALCALDIA	GRAVILLA - ALCALDIA	ARENA - ALCALDIA										
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,652	gr/cm ³	49,35	Tipo de asfalto AASHTO M 20	60-85				3/4"	3/8"	N°4										
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,711	gr/cm ³	50,65	P. Específico Total AASHTO T-228	1,006	% DE AGREGADOS :			20%	28%	52%										
P. Esp. Agregado Total (Gag)	2,682	gr/cm ³	100	ORIGEN AGREGADOS :			Planta de Asfaltos														
N° GOLPES:		75	145 °C Compactación																		
ALTEZA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO	PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)				LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA			
						REAL (Dr.)	PROMEDIO (Drm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)				MEDIA f.c.	CORREGIDA	
	BASE AGREGADO	BASE MEZCLA	(gr)	(gr)	(gr)	(cm ³)	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(Vv)	(VAM)	(RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	mm	MEDIA f.c.	CORREGIDA	LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA
	a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k		l	m	n		o		p	
	(a * 100) / 100 - a		D			r - d	c / e		1	2	3	4									

1	6,60	4,49	4,30	1194,3	1198,9	670,1	528,8	2,259					1350	2976,2		0,943			275	10,8		
2	6,65	4,49	4,30	1198,3	1202,1	690,1	512,0	2,340					1345	2965,2		0,934			272	10,7		
3	6,62	4,49	4,30	1195,2	1198,2	669,0	529,2	2,259	2,286	2,502	8,65	18,42	53,03	1351	2978,4	2973,3	0,939	0,939	2791,9	276	10,9	10,80

4	6,66	5,04	4,80	1191,5	1196,1	669,2	526,9	2,261					1598	3523,0		0,932			325	12,8		
5	6,68	5,04	4,80	1196,6	1200,1	682,6	517,5	2,312					1610	3549,4		0,928			305	12,0		
6	6,69	5,04	4,80	1199,2	1203,8	690,2	513,6	2,335	2,303	2,483	7,26	18,25	60,22	1601	3529,6	3534,0	0,925	0,928	3279,5	310	12,2	12,34

7	6,70	5,60	5,30	1198,3	1202,8	691,8	511,0	2,345					1698	3743,4		0,923			355	14,0		
8	6,75	5,60	5,30	1198,6	1203,1	692,2	510,9	2,346					1708	3765,5		0,910			360	14,2		
9	6,71	5,60	5,30	1195,5	1199,1	672,2	526,9	2,269	2,320	2,464	5,85	18,07	67,65	1710	3769,9	3759,6	0,920	0,918	3451,3	370	14,6	14,24

10	6,66	6,16	5,80	1199,8	1203,1	689,1	514,0	2,334					1960	4321,0		0,932			375	14,8		
11	6,62	6,16	5,80	1199,2	1202,9	691,9	511,0	2,347					1967	4336,4		0,939			390	15,4		
12	6,60	6,16	5,80	1198,3	1202,5	688,8	513,7	2,333	2,338	2,445	4,39	17,87	75,42	1962	4325,4	4327,6	0,943	0,938	4059,3	390	15,4	15,16

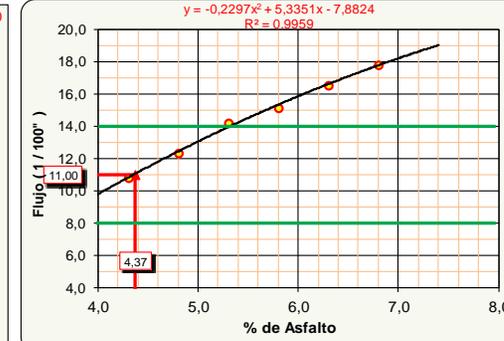
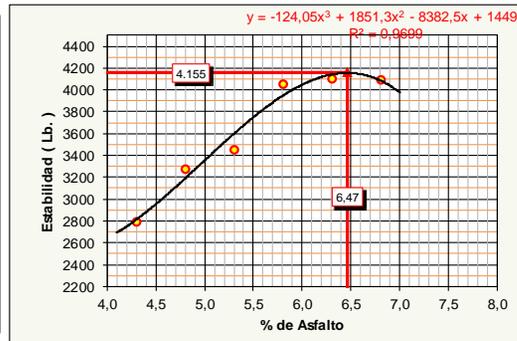
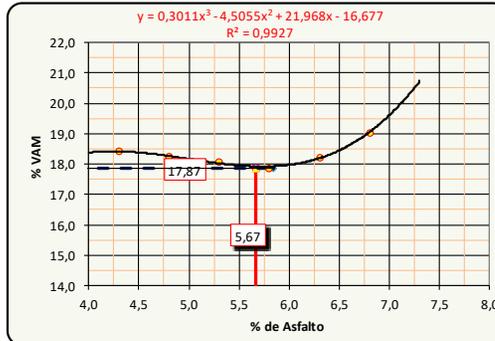
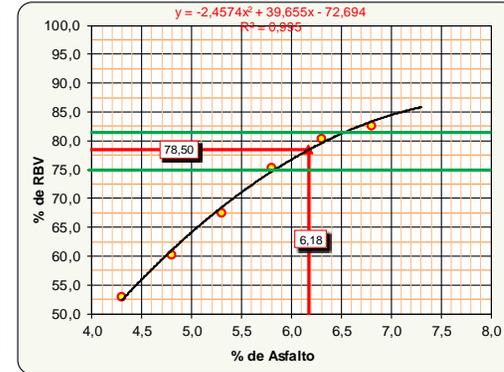
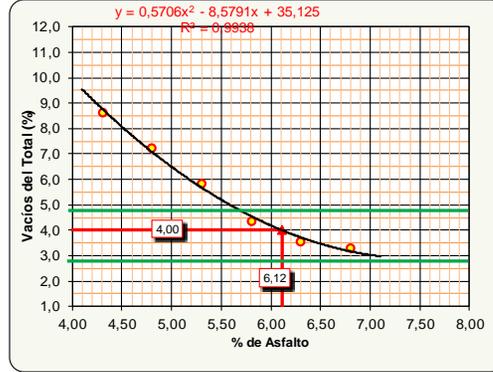
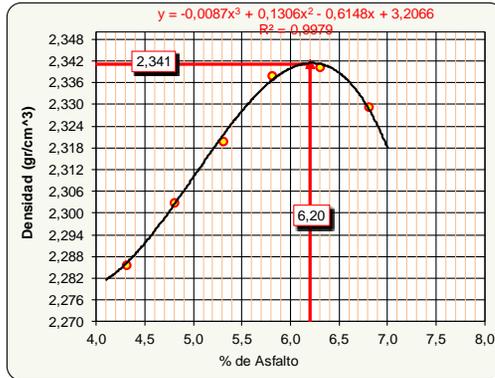
13	6,53	6,72	6,30	1199,8	1204,0	692,0	512,0	2,343					1950	4299,0		0,956			415	16,3		
14	6,52	6,72	6,30	1198,4	1203,1	690,1	513,0	2,336					1940	4276,9		0,958			425	16,7		
15	6,51	6,72	6,30	1199,7	1203,8	691,5	512,3	2,342	2,340	2,427	3,56	18,22	80,44	1935	4265,9	4280,6	0,960	0,958	4100,8	420	16,5	16,54

16	6,50	7,30	6,80	1197,5	1203,1	689,2	513,9	2,330					1925	4243,9		0,963			465	18,3		
17	6,51	7,30	6,80	1195,8	1199,8	682,1	517,7	2,310					1930	4254,9		0,960			450	17,7		
18	6,50	7,30	6,80	1199,2	1203,9	693,1	510,8	2,348	2,329	2,409	3,30	19,04	82,67	1935	4265,9	4254,9	0,963	0,962	4093,2	445	17,5	17,85

OBSERVACIONES ESPECIFICACIONES 3 - 5 ≥ 15 75 - 82 ≥ 1300 lb B - 14

GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO B 60-85 E

REGISTRO: **DISEÑO - MRSH - 01**



VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6,20	2,341	-----	-----
% VACIOS	6,12	4,0	3	5
R.B.V.	6,18	78,5	75	82
V.A.M.	5,67	18,9	15	
ESTABILIDAD (Lb.)	6,47	4154,6	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
FLUENCIA 1/100"	4,37	11,0	8	14
PROMEDIO (%)	5,83	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARSHALL			
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS
DENSIDAD	5,83	2,338	-----
% VACIOS	5,83	4,00	3 5
R.B.V.	5,83	78,50	75 82
V.A.M.	5,83	17,87	
ESTABILIDAD (Lb.)	5,83	4155	> 1500 Lb. (75 Golpes)
FLUENCIA 1/100"	5,83	11,00	8 14
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5,8

OBSERVACIONES:		
MEZCLA BITUMINOSA TOTAL	GRAVA ALC 3/4"	18,8
	GRAVILLA - 3/8"	26,4
	ARENA (filler)	49,0
	% ASF. OPT.	5,83
	TOTAL	100,0%

Asfalto ± 3 % del Optimo de la Mezcla : Min. Max.
5,7 6,0

3.2.3.- Datos característicos de los Estudios

Después de la compactación de las briquetas con su porcentaje óptimo de cemento asfáltico se procedió a su posterior extracción de los moldes para su respectivo curado a temperatura ambiente del día de la realización del tramo.

Para Estudio 1 se tuvo los siguientes datos característicos de las briquetas con el material de mezcla asfáltica por la Alcaldía.

Tabla 16 Características del Estudio 1

Estudio 1. Calle Mario Estensoro Vasquez	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo 1
			grs.	grs.	12/09/2016
	1	6,13	1186,3	1186,67	Temperatura 40
	2	6,13	1186,9		
	3	6,13	1186,8		
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo 2
			grs.	grs.	13/09/2016
	1	6,13	1194,3	1195,03	Temperatura 22
	2	6,13	1194,3		
	3	6,13	1196,5		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo 3	
		grs.	grs.	13/09/2016	
1	6,13	1192,5	1195,17	Temperatura 22	
2	6,13	1197,5			
3	6,13	1195,5			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 Características del Estudio 2

Estudio 2 Maria Laura Justiniano	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	12/09/2016
	1	6,13	1186,5	1186,7	Temperatura
	2	6,13	1187,8		
	3	6,13	1185,8		
					40
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo2
			grs.	grs.	14/09/2016
	1	6,13	1196,7	1194,0	Temperatura
	2	6,13	1193,0		
3	6,13	1192,4			
				23	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18 Características del Estudio 3

Estudio 3 Avenida Cañada	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	17/09/2016
	1	6,13	1188,0	1187,1	Temperatura
	2	6,13	1187,1		
	3	6,13	1186,1		
					35
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo2
			grs.	grs.	18/09/2016
	1	6,13	1190,8	1190,7	Temperatura
	2	6,13	1190,2		
3	6,13	1191,0			
				27	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19 Características del Estudio 4

Estudio 4 Calle Héroes del Chaco	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	03/10/2016
	1	6,13	1200,1	1199,6	Temperatura
2	6,13	1198,7			
3	6,13	1199,9			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2

20 Características del Estudio 5

Estudio 5 Calle Maria Romero del Carpio	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	04/10/2016
	1	6,13	1190,5	1190,0	Temperatura
2	6,13	1189,5			
3	6,13	1190,1			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21 Características del Estudio 6

Estudio 6 calle 25 de Julio	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	05/10/2016
	1	6,13	1198,9	1196,2	Temperatura
2	6,13	1196,3			
3	6,13	1193,5			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22 Características del Estudio 7

Estudio 7 Avenida Octavio Campero Echazu	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	25/01/1900
	1	6,13	1192,9	1192,3	Temperatura
	2	6,13	1193,2		
3	6,13	1190,8	25		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23 Características del Estudio 8

Estudio 8 Av. Tomas O'connor Darlach	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	07/10/2016
	1	6,13	1188,4	1188,333333	Temperatura
	2	6,13	1186,5		
	3	6,13	1190,1		
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo2
				grs.	08/10/2016
	1	6,13	1194,2	1194,133333	Temperatura
	2	6,13	1195,2		
	3	6,13	1193,0		
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 3
				grs.	grs.
	1	6,13	1194,2	1194,133333	Temperatura
	2	6,13	1195,2		
3	6,13	1193,0	23		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24 Características del Estudio 9

Estudio 9 Av. 6 de Agosto	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	09/10/2016
	1	6,13	1193,5	1192,3	Temperatura
	2	6,13	1191,1		
3	6,13	1192,2	25		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25 Características del Estudio 10

Estudio 10 Calle Centro America	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	18/10/2016
	1	6,13	1185,9	1186,8	Temperatura
	2	6,13	1187,5		
	3	6,13	1186,9		
	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo 2
			grs.	grs.	18/10/2016
	1	6,13	1186,1	1186,7	Temperatura
	2	6,13	1187,4		
	3	6,13	1186,5		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26 Características del Estudio 11

Estudio 11 Calle Jazmin	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	20/10/2016
	1	6,13	1199,5	1199,7	Temperatura
	2	6,13	1199,5		
	3	6,13	1200,1		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27 Características del Estudio 12

Estudio 12 Calle Las Palmeras	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	21/10/2016
	1	6,13	1205,9	1200,9	Temperatura
	2	6,13	1196,6		
	3	6,13	1200,1		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28 Características del Estudio 13

Estudio 13 Calle El Paraiso	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	22/10/2016
	1	6,13	1188,9	1190,8	Temperatura
	2	6,13	1190,7		
	3	6,13	1192,8		27

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29 Características del Estudio 14

Estudio 14 Avenida Principal	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	23/10/2016
	1	6,13	1189,4	1187,5	Temperatura
	2	6,13	1186,9		
	3	6,13	1186,3		33
Estudio 14 Avenida Principal	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 3
			grs.	grs.	23/10/2016
	1	6,13	1187,9	1187,6	Temperatura
	2	6,13	1185,7		
	3	6,13	1189,1		33

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30 Características del Estudio 15

Estudio 15 Calle Oscar Montes B.	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
			grs.	grs.	23/10/2016
	1	6,13	1189,6	1187,1	Temperatura
	2	6,13	1187,5		
	3	6,13	1184,2		34

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31 Características del Estudio 16

N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	Tramo1
		grs.	grs.	
1	6,13	1189,8	1188,8	25/10/2016 Temperatura 30
2	6,13	1189,2		
3	6,13	1187,4		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo2
			grs.	25/10/2016
1	6,13	1189,1	1188,83333	Temperatura 30
2	6,13	1189,9		
3	6,13	1187,5		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo3
			grs.	26/10/2016
1	6,13	1203,8	1202,4	Temperatura 16
2	6,13	1200,6		
3	6,13	1202,8		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo4
			grs.	27/10/2016
1	6,13	1193,2	1193,14333	Temperatura 24
2	6,13	1195,2		
3	6,13	1191,1		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo5
			grs.	28/10/2016
1	6,13	1196,7	1194,03333	Temperatura 23
2	6,13	1193,0		
3	6,13	1192,4		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo6
			grs.	28/10/2016
1	6,13	1192,3	1194	Temperatura 23
2	6,13	1193,0		
3	6,13	1196,7		
N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo7
			grs.	29/10/2016
1	6,13	1192,2	1190,1	Temperatura 28
2	6,13	1187,5		
3	6,13	1190,5		

Fuente: Elaboración Propia

Para los siguientes estudios elaborados en el Laboratorio de la institución pública SEDECA TARIJA, se realizaron los siguientes estudios, en función a la elaboración de un proyecto vial “Construcción de la Carretera Uyuni- Tupiza”, ya realizado pero en el mismo que se elaboró las mezclas asfálticas con el cemento asfáltico BETUFLEX 60-85 E.

Tabla 32 Características del Estudio 17

Estudio 17 Construcción de la Carretera Uyuni- Tupiza #1	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 1
			grs.	grs.	12/12/2016
	1	5,83	1191,6	1189,5	Temperatura
	2	5,83	1188,2		
3	5,83	1188,6	31		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33 Características del Estudio 18

Estudio 18 Construcción de la Carretera Uyuni- Tupiza #2	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 2
			grs.	grs.	13/12/2016
	1	5,83	1191,3	1189,2	Temperatura
	2	5,83	1188,3		
3	5,83	1188,1	32		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34 Características del Estudio 19

Estudio 19 Construcción de la Carretera Uyuni- Tupiza #3	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 3
			grs.	grs.	14/12/2016
	1	5,83	1191,1	1192,4	Temperatura
	2	5,83	1192,5		
3	5,83	1193,5	25		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35 Características del Estudio 20

Estudio 20 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #4	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 4
			grs.	grs.	15/12/2016
	1	5,83	1186,9	1189,9	Temperatura
	2	5,83	1187,3		
3	5,83	1195,5	29		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36 Características del Estudio 21

Estudio 21 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #5	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 5
			grs.	grs.	16/12/2016
	1	5,83	1190,1	1189,6	Temperatura
	2	5,83	1189,2		
3	5,83	1189,5	31		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37 Características del Estudio 22

Estudio 22 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #6	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 6
			grs.	grs.	19/12/2016
	1	5,83	1194,1	1193,0	Temperatura
	2	5,83	1192,1		
3	5,83	1192,8	24		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38 Características del Estudio 23

Estudio 23 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #7	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 7
			grs.	grs.	20/12/2016
	1	5,83	1188,2	1191,3	Temperatura
	2	5,83	1192,3		
3	5,83	1193,5	27		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39 Características del Estudio 24

Estudio 24 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #8	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo 8
			grs.	grs.	21/12/2016
	1	5,83	1190,2	1189,6	Temperatura
	2	5,83	1189,6		
	3	5,83	1188,9		31

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40 Características del Estudio 25

Estudio 25 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #9	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramp 9
			grs.	grs.	22/12/2016
	1	5,83	1188,9	1189,1	Temperatura
	2	5,83	1189,2		
	3	5,83	1189,1		32

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41 Características del Estudio 26

Estudio 26 Constuccion de la Carretera Uyuni- Tupiza #10	N° Probeta	% Asfalto	Peso Probeta	Peso Probeta promedio	tramo10
			grs.	grs.	23/12/2016
	1	5,83	1189,3	1189,1	Temperatura
	2	5,83	1189,1		
	3	5,83	1188,8		32

Fuente: Elaboración Propia

3.3.- MATERIALES EXISTENTE EN EL ÁREA DE PROYECTO

El material usado en las mezclas para la dosificación de asfalto en nuestras calles realizadas por la entidad pública, la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija, es seleccionado por una empresa contratada por la misma entidad, la cual se encargara de proveer el material granular y fino para la mezcla durante todo el año de su

contratación, en este caso para el año 2016 la Empresa contratada es ASOCIACION ACCIDENTAL “PEDROFORTE”, misma que se encuentra ubicada en el Barrio San Jorge sobre la carretera Panamericana n°3926.

Tabla 42 Detalle de extracción del material realizado por la empresa.

EMPRESA “ASOCIACION ACCIDENTAL PEDROFORTE”		
TIPO DE MATERIAL	LUGAR DE EXTRACCION	OBSERVACION
Grava de ¾	Rio de San Blas	Material extraído y zarandeado y separado en la planta separadora y chancadora de la empresa. Para ser vendida a la alcaldía.
Grava de 3/8	Puente de la Pintada	Material extraído y zarandeado y separado en la planta separadora y chancadora de la empresa. Para ser vendida a la alcaldía.
Arena	Ladera de Sunchuguayco	Material extraído y zarandeado y separado en la planta separadora y chancadora de la empresa. Para ser vendida a la alcaldía.

Fuente: Elaboración propia

En laboratorio se realizó las siguientes pruebas. Para este proyecto se realizó las características del agregado grueso y fino que es utilizado para la mezcla en laboratorio y así con estas aclaraciones se toma en cuenta el agregado para las mezclas asfálticas.

3.3.1 Angularidad del agregado grueso ASTM D 5821

3.3.1.1 Objetivo

- ✓ Uno de los propósitos de esta estimación es maximizar la resistencia al corte mediante el incremento de la fricción entre partículas de las mezclas de agregado.

✓ Otro propósito es proveer estabilidad para tratamientos superficiales de agregados mediante el incremento de la fricción y textura del agregado utilizado carpetas asfálticas delgadas.

3.3.1.2 Equipo y materiales

- ✓ Juego de Tamices
- ✓ Cuarteador mecánico
- ✓ Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 gr.
- ✓ Espátula

3.3.1.3 Procedimiento

✓ Esparza la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lave el agregado sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.

✓ Separe con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas.

✓ Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las producidas por procedimientos mecánicos.

✓ Pese las partículas fracturadas y anote este valor.

FIGURA 3. 65 Separando las partículas fracturadas y no fracturadas



FIGURA 3. 66 Inspección y detección de las partículas fracturadas.



FIGURA 3. 67 Peso de partículas fracturadas



3.3.1.4 Cálculo y resultados

- ✓ Anote el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños antes especificados.
- ✓ Anote el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.
- ✓ Finalmente calcule el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño:

$$P(\%) = \frac{B}{A} * 100$$

A: Peso exacto de las muestras tomadas para el ensayo (g).

B: Peso del material con caras fracturadas para cada tamaño (g).

P: Porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño (%).

3.3.2.- Partículas largas y achatadas ASTM D 4791

3.3.2.1 Objetivo

✓ Este método de prueba provee un medio para verificar el cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas, o para determinar las características relativas a la forma del agregado grueso.

✓ Las partículas de agregado planas o alargadas, para algunos usos en construcción, pueden interferir con la consolidación y provocar dificultad para colocar los materiales.

3.3.2.2 Equipo y materiales

✓ Tamices $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ "

✓ Cuarteador mecánico

✓ Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 gr.

✓ Recipientes

3.3.2.3 Procedimiento

✓ Separar por cuarteo una muestra representativa por cuarteo

✓ Tamizar por las mallas indicadas $\frac{3}{4}$ " para grava y $\frac{3}{8}$ " para gravilla y determinar el peso retenido con muestra representativa de 1000g.

FIGURA 3. 68 Cuarteo de muestra representativa



FIGURA 3. 69 Separando las partículas planas o alargadas



En la práctica muy pocos estados miden las partículas planas o alargadas por separado. La mayoría de los estados miden la relación de la mínima dimensión (espesor) a la máxima dimensión (largo) de la partícula de agregado para determinar el porcentaje de partículas planas o alargadas, usualmente se especifica un porcentaje máximo de relaciones 1:5. El ensayo se realizó de esta forma.

3.3.2.4 Cálculo y resultado

- ✓ Anote el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños antes especificados.
- ✓ Anote el peso del material de chatas y alargadas cada tamaño.
- ✓ Finalmente calcule el porcentaje de partículas chatas y alargadas

$$P(\%) = \frac{B}{A} * 100$$

A: Peso exacto de las muestras tomadas para el ensayo (g)

B: Peso del material de partículas chatas y alargadas (g).

P: Porcentaje de partículas chatas y alargadas (%).

3.3.3.- Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles ASTM C131

3.3.3.1 Objetivo

- ✓ Este método abarca el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de piedra y grava triturada y agregado grueso natural (grava no triturada) por medio de a máquina de los ángeles.

3.3.3.2 Equipo

- ✓ Máquina de desgaste de los Ángeles que consiste de un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones interiores: 70cm. (28") de diámetro y 50cm (20") de largo. El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplada a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto.
- ✓ Un juego de tamices de abertura cuadrada de la serie estándar de los siguientes tamaños: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 3/4", 3/8" y números 4, 8 y 12.
- ✓ Horno de temperatura constante a 105 °C.
- ✓ Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.

3.3.3.3 Procedimiento:

✓ La muestra de ensayo y la carga se colocara en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Para la gradaciones A, B, C la maquina se hará girar 500 revoluciones, para las gradaciones E, F y G se hará girar durante 1000 revoluciones. Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se hará una separación preliminar en un tamiz más grueso que el N° 12; la porción más fina se tamizara luego sobre el tamiz N° 12.

✓ El material que quede retenido en el tamiz N° 12 deberá lavarse, secarse hasta peso constante en un horno de 105 a 110 °C y pesarse con una aproximación al gramo. La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los Ángeles consistirá de bolas o esferas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue:

Tabla 44 Grados de ensayo (Definidos por tipos y sus rangos de tamaños, en mm)

Tamaño de Partículas (mm)	E	F	G	A	B	C	D
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2.5)
Tamaño de las fracciones (g)							
75 - 63	2.500 ± 50						
63- 50	2.500 ± 50						
50 -37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- numero	12			12	11	8	6
- masa (g)	5-00 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones	1.000			500			

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

FIGURA 3. 70 Cuarteo del material



FIGURA 3. 71 Tamizado



FIGURA 3. 72 Esferas de acero



FIGURA 3. 73 Equipo de los Ángeles



3.3.3.4 Cálculo y resultado

La diferencia entre el peso original (P) y el peso final (Pf) de la muestra de ensayo será expresado como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo. Este valor será consignado como porcentaje de desgaste.

$$\text{Porcentaje de Desgaste} = \frac{P - P_f}{P} * 100 = \frac{\text{Diferencia}}{P} * 100$$

3.3.4.- Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos

3.3.4.1Objetivo:

Determinar la gravedad específica y la absorción de agua en áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Definiciones

Gravedad específica: de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C

La ecuación usada es:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen} * \text{Peso específico del agua}}$$

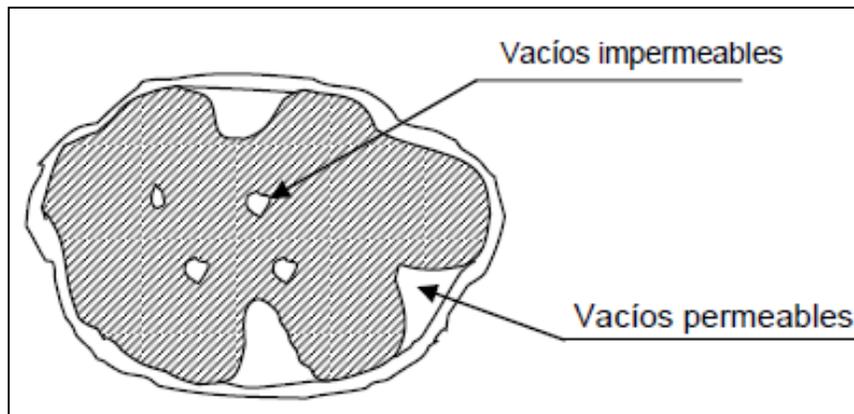
Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de gravedad específica en:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

Gravedad Específica Seca Aparente (Gsa), incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión.

FIGURA 3. 74 Representación gráfica de los vacíos en los agregados



Fuente: Manual de Laboratorio ensayo para pavimentos -Perú

$$G.E. \text{ seca aparente } (Gsa) = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

Gravedad Específica Seca Bulk (Gsb) ,Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

Gravedad específica seca Bulk (Gsb)

$$= \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado + vacíos permeables}}$$

$$G. E. \text{ seca Bulk (Gsb)} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb), define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

$$\text{Grav. Esp. saturada superficialmente Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado + vacíos permeables}}$$

$$G. E. \text{ sss bulk (Gsssb)} = \frac{W_{sss}}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

3.3.4.2 Equipo y materiales:

- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Canastillo “Porta Muestra, de alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo de la balanza.
- ✓ Recipientes

3.3.4.3 Procedimiento:

- ✓ Tamaño de la muestra a ensayar, es la cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la tabla N°1, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 45 Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
Mm	ASTM	Kg
12.5 o menos	1/2"	2
19	3/4"	3
25	1"	4
37.5	1(1/2)"	5
50	2"	8
63	2(1/2)"	12

Fuente: ASTM127-01“Volume04.02ConcreteandAggregates”

- ✓ Más o menos 5 kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4.75 mm), se secan a peso constante.
- ✓ La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua
- ✓ Los agregados se sacan del agua
- ✓ Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca
- ✓ La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el sumergido en agua La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante

FIGURA 3. 75 Muestra saturada



FIGURA 3. 76 Secando la Muestra,



FIGURA 3. 77 Peso de muestra en agua



3.3.4.4 Cálculos y resultados

$$\text{Gravedad específica seca aparente (Gsa)} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Gravedad específica seca Bulk (Gsb)} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca (Gsssb)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Dónde:

A: masa en el aire del agregado seco al horno (g)

B: masa en el aire del agregado saturado superficialmente seco (g)

C: masa del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua (g)

3.3.5.- Gravedad Específica y absorción en Agregados Finos ASTM C-128

3.3.5.1 Objetivo

✓ El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

3.3.5.2 Equipo y material

✓ Balanza con capacidad de 1kg. y sensibilidad de 0,1 gr.

✓ Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).

✓ Molde cónico y una varilla.

✓ Muestra, que Se selecciona una muestra de 1kg. Que puede ser obtenida por cuarteo, luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

3.3.5.3 Procedimiento:

- ✓ Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- ✓ Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se levante el cono.
- ✓ Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- ✓ Se coloca 100grs. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope, con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en un baño a temperatura constante de 20°C. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- ✓ Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C) y se pesara.

FIGURA 3. 78 Muestra sumergida



FIGURA 3. 79 Secado del material



FIGURA 3. 80 Usando el molde cónico



3.3.6.- Determinación del valor Equivalente de arena de suelos y agregados finos
Norma ASTM D 2419

3.3.6.1 Objetivo

El equivalente de arena es una medida de la cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino menor de 4.75 mm.

3.3.6.2 Equipo y materiales:

- ✓ Tubo irrigado, de acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña.
- ✓ Sistema de Sifón, se compone de un botellón de 3.8 lt de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
- ✓ Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- ✓ Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
- ✓ Pisón de metal.
- ✓ Recipiente metálico.
- ✓ Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
- ✓ Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
- ✓ Tamiz N°4
- ✓ Recipiente para mezcla
- ✓ Horno. Capaz de mantener temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

3.3.6.3 Procedimiento

- ✓ Llenamos la probeta hasta 10 cm con solución tipo (Cloruro de calcio, glicerina y agua destilada).
- ✓ Vertemos contenido de muestra de arena.
- ✓ Golpeamos parte inferior para desalojar burbujas y humedecer muestra.
- ✓ Dejamos reposar 10 minutos.
- ✓ Tapamos la probeta y agitamos 90 ciclos (ida y vuelta 20 cm) durante 30 segundos.
- ✓ Lavamos el tapón y las paredes interiores de la probeta con disolución lavadora.
- ✓ Introducimos tubo irrigador al fondo de la muestra y ascendemos poco a poco (permite el ascenso del material fino atrapado).
- ✓ Dejar reposar durante 20 minutos.

- ✓ Hacemos lecturas h1 y h2 para las dos muestras.

FIGURA 3. 81 Tipos de muestra en reposo



3.3.6.4 Cálculo y resultado:

Calcule el equivalente de arena con aproximación a 0.1% como sigue:

$$\% \text{ de arena} = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} * 100$$

Tabla 46 Resultado del Peso Específico de la arena

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO						
AASHTO T - 84						
Descripción	Unidad	Arena Natural	Arena Natural		PROMEDIO	
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	235	231,7			
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	485,3	481,9			
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x=f-u)	grs.	400	400			
Peso Muestra Seca (a)	grs.	393,0	393,3			
Peso Agua (t)	grs.	572,2	572,9			
Peso Muestra + Agua (b)	grs.	822,5	823,1			
Peso Espec. del Agreg. Seco $a/((x+t)-b)$	grs./cm ³	2,625	2,626		2,625	ASFALTO
P. E. A. Saturado Sup. Seco $x/((x+t)-b)$	grs./cm ³	2,672	2,670		2,671	2,711
Peso Específico Aparente $a/(a+t)-b)$	grs./cm ³	2,754	2,748		2,751	
% de Absorción $((x-a)/a)*100$	%	1,781	1,704		1,742	1,742

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.- Granulometría de agregados ASTM C136

3.3.7.1 Objetivo

Determinar la distribución de los tamaños de las partículas de agregado fino y grueso mayores a 0,075mm. Mediante un proceso de tamizado.

3.3.7.2 Equipos y materiales:

- ✓ Balanza eléctrica: De 0.01 gr. De precisión para muestras de hasta 200gr.
- ✓ Juego de Tamices: Con aberturas en cada tamiz según la siguiente tabla:

Tabla 47 Serie de Tamices (* Tamices utilizados en el ensayo)

Agregado Grueso		Agregado Fino	
Mm	ASTM	Mm	ASTM
63 mm.	2 1/2"	*2.36 mm.	N° 8
50 mm.	2"	*1.18 mm.	N° 16
37.5 mm.	1 1/2"	*0.60 mm.	N° 30
*25 mm.	1"	*0.30 mm.	N° 50
*19 mm.	3/4"	*0.15 mm.	N° 100
*12.5 mm.	1/2"	0.075 mm.	N° 200
*9.5 mm.	3/8"		
*4.75 mm.	N° 4		

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

3.3.7.3 Procedimiento

- ✓ Antes de realizar el ensayo se debe de eliminar todo tipo de impurezas (material orgánico) y toda partícula fina menor a 0.075 mm. Para ello se procederá a lavar bien la muestra y secarla muy bien. (Se recomienda dejarlo secar 24 Hrs. a temperatura ambiente o secarlo en un horno.)
- ✓ Se realiza el cuarteo del material para determinar una cantidad de muestra apropiada según la siguiente tabla:

Tabla 48 Cantidad mínima de muestra (* Utilizado)

Tamaño máximo de las partículas	Tamiz N°	Masa de muestra mínima
63 mm.	2 1/2"	35 kg.
50 mm.	2"	20 kg.
37.5 mm.	1 1/2"	15kg.
25 mm.	1"	10 kg.
19 mm.	3/4"	5 kg.
*12.5 mm.	1/2"	2kg.
**9.5 mm.	3/8"	1 kg.
4.75 mm. o menos	N° 4	0.3 y/o 0.5 kg.

Fuente: Manual de Carretera V4C de Administración Boliviana de Caminos

- ✓ Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado por lo general es de 15 minutos.
- ✓ Se quita la tapa y se separa los tamices, vaciando las fracciones de muestra que quedaron retenidos en cada uno de ellos, incluyendo en la base.

FIGURA 3. 82 Cuarteo del material



FIGURA 3. 83 Preparación de muestra



FIGURA 3. 85 Juego de tamices

FIGURA 3. 84 Pesando el Material tamizado



3.3.7.4 Cálculo y resultado

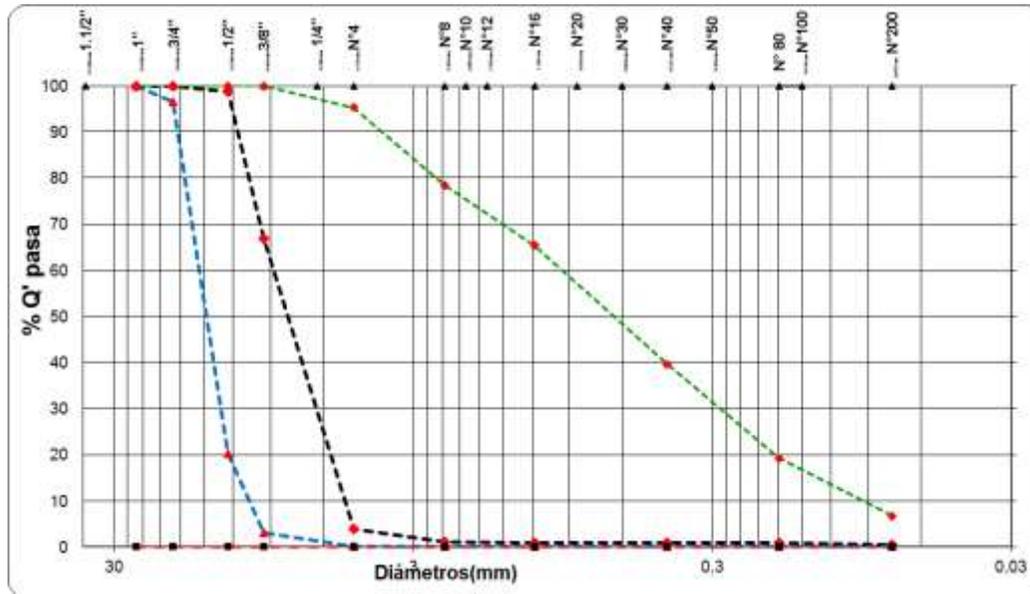
- ✓ Sume y registre todas las fracciones retenidas de todos los tamices, esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en más de 3% para agregados finos y de 0.5 % para los áridos gruesos
- ✓ Si esta especificación no se cumple se rechaza el ensayo y se realiza otro con una muestra gemela.
- ✓ Calcular la masa retenida acumulada en cada tamiz.
- ✓ Calcule el porcentaje retenido en cada tamiz.
- ✓ Calcular el porcentaje que pasa cada tamiz haciendo la diferencia de 100 entre el % retenido de cada tamiz
- ✓ Graficar la curva granulométrica en un sistema de coordenadas ortogonales cuya abscisa en escala logarítmica indique las aberturas nominales de los tamices y en las ordenadas a escala lineal los valores.

Tabla 49. Granulometría de los agregados.

Peso Total Sec	4778,7 gr		4619,0 gr		1000,0 gr		Abertura
Tamiz	Grava		Gravilla		Arena		Tamiz
Nº	Peso Ret.	%Que Pasa	Peso Ret.	%Que Pasa	Peso Ret.	%Que Pasa	mm.
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	25,40
3/4"	171,2	96,4	0,0	100,0	0,0	100,0	19,10
1/2"	3812,9	20,2	63,0	98,6	0,0	100,0	12,70
3/8"	4630,0	3,1	1532,0	66,8	0,0	100,0	9,50
Nº 4	4773,1	0,1	4440,1	3,9	47,2	95,3	4,75
Nº 8	4773,1	0,1	4571,0	1,0	215,5	78,5	2,36
Nº 16	4773,1	0,1	4575,0	1,0	346,1	65,4	1,18
Nº 40	4774,2	0,1	4579,3	0,9	604,4	39,6	0,43
Nº 80	4775,1	0,1	4580,1	0,8	807,1	19,3	0,18
Nº 200	4776,1	0,1	4593,1	0,6	932,7	6,7	0,075

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICA 1 Granulométricas de los agregados.



Fuente: Elaboración propia

3.3.8.- Dosificación de agregados para la granulometría combinada

3.3.8.1 Objetivo

La dosificación de agregados tiene por objeto lograr una mezcla cuya gradación se encuentre dentro de los límites recomendados en una especificación determinada, se cuenta con procedimientos analíticos y gráficos; dentro de estos el método de prueba y error es el más utilizado, ya que con la ayuda de programas de computación como Excel es cómodo elaborar tablas de cálculos y establecer una combinación de varios agregados.

3.3.8.2 Procedimiento

- ✓ Se busca una combinación de los tres agregados que se utilizarán: Grava 3/4'', Grava 3/8'' y Arena, para esto se ha utilizado el programa Excel de Windows mediante la elaboración de una tabla con fórmulas para que realice dichos cálculos de la cual se obtiene los porcentajes para cada uno de los agregados antes mencionados, y considerando que el Tamaño Máximo del agregado que se tiene es de 3/4''.

- ✓ Se procede a asignar un porcentaje a cada agregado, la sumatoria de dichos porcentajes será el 100 por ciento de los agregados; por ejemplo:

Agregado Grueso 3/4"	20 %
Agregado Medio 3/8"	28 %
Arena	52 %
TOTAL	100 %

- ✓ El porcentaje de cada agregado es multiplicado por su respectiva granulometría luego se obtiene la suma de los tres porcentajes obteniendo así el valor para cada tamiz respectivamente, se verifica si está dentro de la especificación e igual a la granulometría proyectada.

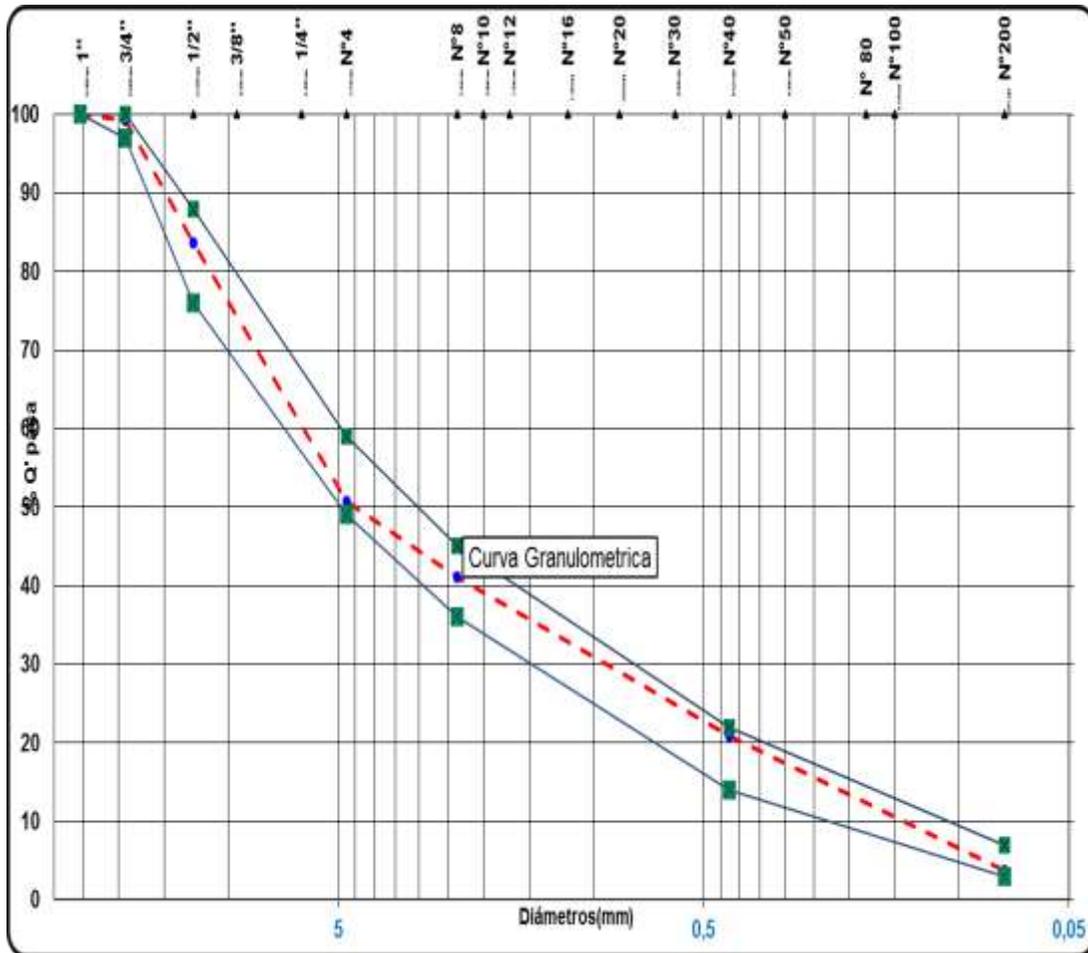
Granulometría: se utiliza la especificación granulométrica del Manual de Carretera Administración Boliviana de Caminos ABC, que exige para ese tamaño es el Tipo C.

Tabla 3 Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C

AGREGADO		Grava - Alcaldía		Gravilla - Alcaldía		Arena - Alcaldía						%QUE PASA	FAJA	
%USADO		20%		28%		52%		0%		0%			CURVA DE TRABAJO	
TAMICES		%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.		INF.	SUP.
PULG	mm.													
1 1/2"	38,1	100,0	20,0	100,0	28,0			100,0	0,0			48,00		
1"	25,40	100,0	20,0	100,0	28,0	100,0	52,0		0,0		0,0	100,0	100	100
3/4"	19,10	96,4	19,3	100,0	28,0	100,0	52,0		0,0		0,0	99,3	97	100
1/2"	12,50	20,2	4,0	98,6	27,6	100,0	52,0		0,0		0,0	83,7	79	89
3/8"	9,50	3,1	0,6	66,8	18,7	100,0	52,0		0,0		0,0	71,3	0	0
#4	4,75	0,1	0,0	3,9	1,1	95,3	49,5		0,0		0,0	50,7	44	58
#8	2,360	0,1	0,0	1,0	0,3	78,5	40,8		0,0		0,0	41,1	36	46
#16	1,180	0,1	0,0	1,0	0,3	65,4	34,0		0,0		0,0	34,3	0	0
#40	0,425	0,1	0,0	0,9	0,2	39,6	20,6		0,0		0,0	20,8	18	24
#80	0,180	0,1	0,0	0,8	0,2	19,3	10,0		0,0		0,0	10,3	8	12
#200	0,075	0,1	0,0	0,6	0,2	6,7	3,5		0,0		0,0	3,7	2	6

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICA 2 Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C



Fuente: Elaboración propia

Comprobación granulométrica: Cuando se tienen establecidos los porcentajes para cada uno de los agregados el procedimiento sigue con una comprobación granulométrica que se puede decir que es la combinación real, y es simplemente la verificación que indica que se puede reproducir la combinación teórica, dicha comprobación se realiza según el ensayo basado en AASHTO T 27.

Así la combinación para obtener una muestra de 2500 g que sirva para realizar el ensayo granulométrico, es de la siguiente manera:

Agregado Grueso 3/4"	20 % = 0.20 x 2500 g = 500 g
Agregado Medio 3/8"	28 % = 0.28 x 2500 g = 700 g
Arena	52 % = 0.52 x 2500 g = 1300 g
	100 % 2500 g

Esta empresa realiza la entrega del material a la Alcaldía en la planta Asfáltica de La Pintada, donde se recibe el material y una vez esclarecida las especificaciones del mismo, tanto como el porcentaje de asfalto para el óptimo del material y sus características del mismo. Se envía el agregado hacia la Posta Municipal, donde se realiza la dosificación y mezcla en su planta Asfáltica de donde se parte ya con la mezcla y su porcentaje óptimo de asfalto y se transporta el mismo con una temperatura mayor a los 145 °C, para que así cuando la misma mezcla llegue hacia las calles y avenidas de nuestra ciudad se prevea que la mezcla no rebase el mínimo de su temperatura para la compactación de la carpeta asfáltica, la misma que es a los 135 °C.

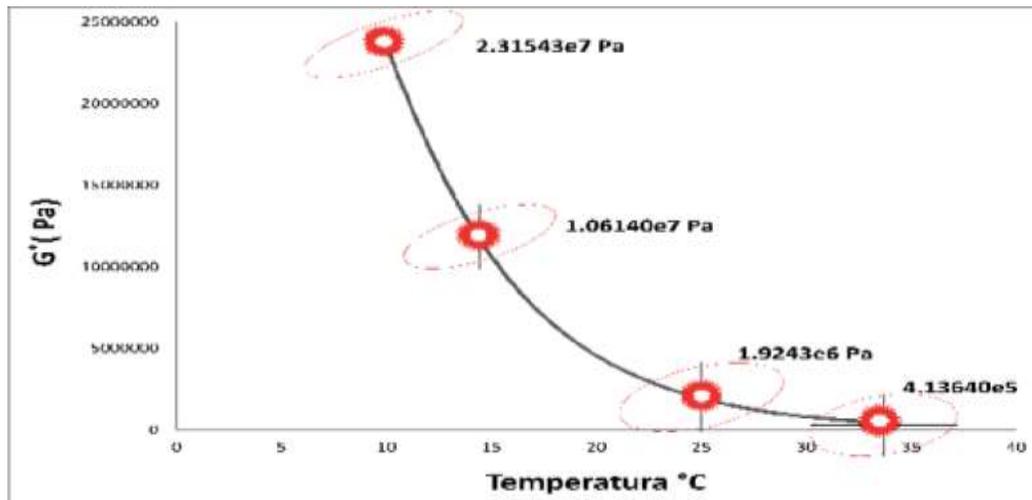
En el siguiente caso de dosificación de una mezcla asfáltica con un tipo de asfalto con polímeros que es el BETUFLEX 60-85 E, la temperatura para su compactado es de 145°C. Entonces la mezcla deberá tener una temperatura mayor a los 150°C. Si se requiera de pavimentar una avenida y que la misma quede a larga distancia.

3.4.- EVALUACIÓN CON LISSAJOUS DE LA MEZCLA DE PROYECTO

Se realizó con la toma de temperaturas ambiente de los días de asfaltado para los 16 tramos viales de la ciudad y los diez estudios elaborados en laboratorio de SEDECA, aplicando las curvas de Lissajous y comparándolas con el modulo del material, se observan datos que correlacionan de manera coherente con los porcentajes de cristalización del asfalto.

3.4.1.- Comparación de las Curvas de Lissajous con respecto al módulo de asfaltos.

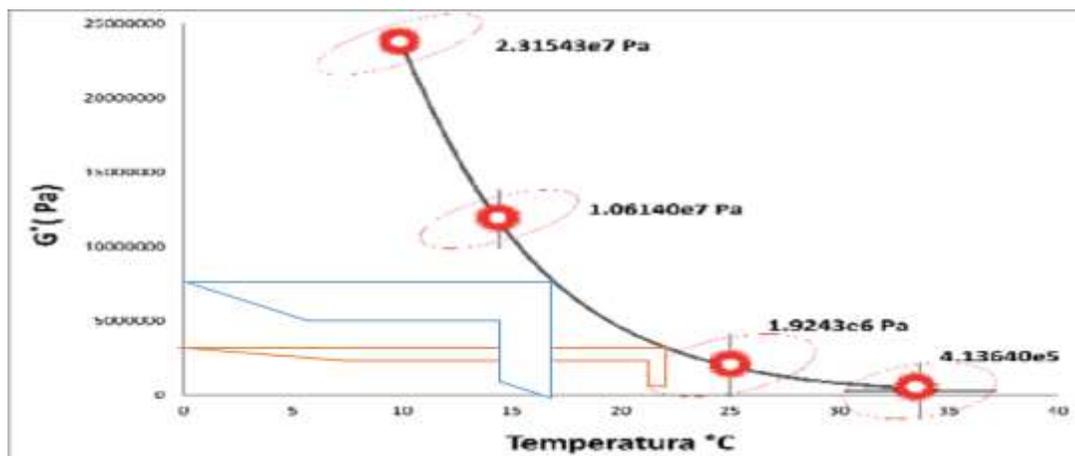
FIGURA 3. 86 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

Usando la gráfica G' (Pa) vs Temperatura de Lissajous, con la temperatura del clima en la que se asfalto las calles de la ciudad de Tarija, en sus diferentes tramos, calles y Avenidas. Buscamos G' (Pa).

FIGURA 3. 87 Uso de Temperaturas para obtener G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

Si usamos de ejemplo el estudio 1, usando sus temperaturas a diseño de las carpetas asfálticas.

Tabla 504 Resultados de G' (Pa) a partir de las temperaturas de los estudios de diseño.

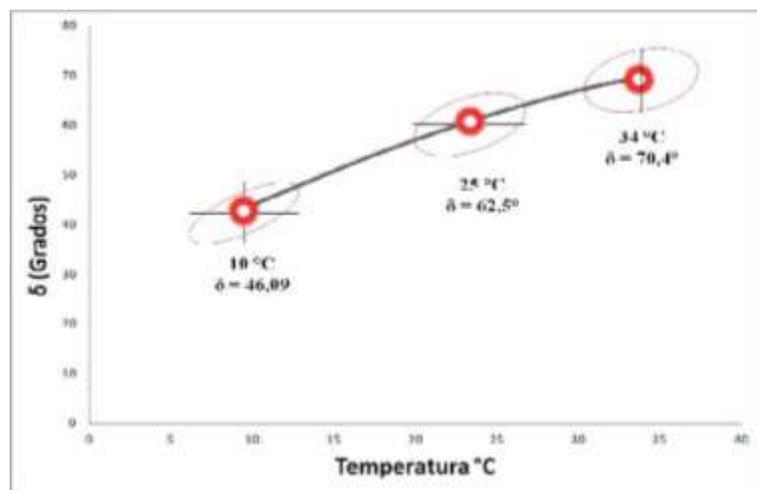
# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
1	28	809900

Fuente: Elaboración propia

Se puede obtener los datos de G' (Pa), para así poder graficar con todos los datos de los estudios realizados, una curva Temperatura vs G' (Pa), y así realizar la comparación de las curvas de Lissajous con respecto al módulo de asfaltos.

3.4.2. Comparación entre las curvas de Lissajous y el ángulo de fase de los asfaltos.

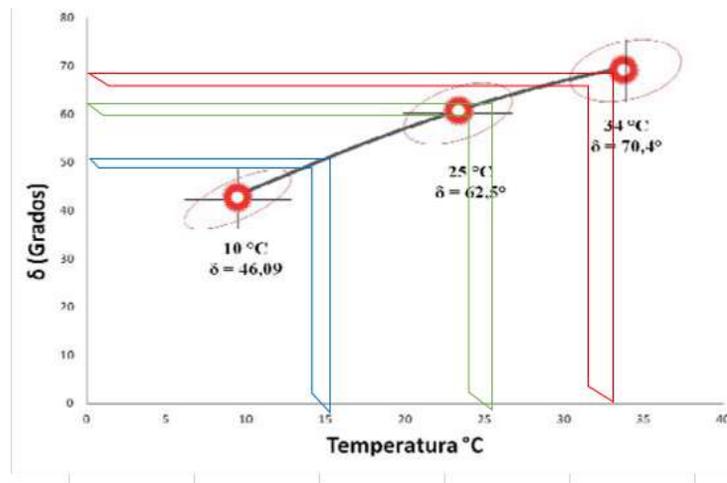
FIGURA 3. 88 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs δ (Grados) Angulo de fase del asfalto original.



Fuente: Elaboración Propia

Usando la gráfica δ (*Grados*) vs Temperatura de Lissajous, con la temperatura del clima en la que se asfalto las calles de la ciudad de Tarija, sus diferentes tramos, calles y Avenidas. Y los estudios realizados en laboratorio en SEDECA, Buscamos δ (*Grados*)

FIGURA 3. 89 Uso de Temperaturas para obtener δ (*Grados*).



Fuente: Elaboración Propia

Si usamos de ejemplo el estudio 1, usando sus temperaturas a diseño de las carpetas asfálticas.

Tabla 51 Resultados de δ (*Grados*) a partir de las temperaturas de los estudios de diseño.

# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (<i>Grados</i>)
1,00	28,00	65
2,00	23,00	60

3,00	23,00	60
------	-------	----

Fuente: Elaboración propia

Se puede obtener los datos de δ (*Grados*), para así poder graficar con todos los datos de los estudios realizados, una curva Temperatura vs δ (*Grados*), y así realizar la comparación de las curvas de Lissajous con respecto al ángulo de fase del asfalto.

3.5.- RESULTADOS

3.5.1.-Caracterización de materiales para la mezcla asfáltica

3.5.1.1. Planilla de caracterización del asfalto.

Tabla 52 caracterización del asfalto Estudio 1.

Estudio 1		Caracterización del asfalto					
TIPO DE ENSAYO		Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Viscosidad Saybolt	Pérdida de masa	Punto de Ablandamiento
Unidad		gr/cm ³	°C	mm.	Seg.	%	°C
Tramo	1	1,009	263	94	155	0.17	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53 caracterización del asfalto Betuflex 60-85 E.

Estudio 1		Caracterización del asfalto				
TIPO DE ENSAYO		Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Recuperación Elástica	Punto de Ablandamiento
Unidad		gr/cm ³	°C	mm.	%	°C

1	1,006	305	53.7	2.7	1.3
---	-------	-----	------	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2. Planilla de caracterización del Agregado.

Peso específico.-

Tabla 54 Planilla de Peso específico de los agregados, Estudio 1.

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO						
AASHTO T - 84						
Descripcion	Unidad	Arena Natural	Arena Natural	U	PROMEDIO	
Peso Frasco Seco Vacío (u)	grs.	235	231,7	0		
Peso Frasco+Muestra(f)	grs.	485,3	481,9	0	150	150
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca(x-	grs.	400	400	0	0,5	0,5
Peso Muestra Seca (a)	grs.	393,0	393,3	0	2,713	2,709
Peso Agua (t)	grs.	572,2	572,9	0		
Peso Muestra + Agua (b)	grs.	822,5	823,1	0		
Peso Espec. del Agreg. Seco $(a/((x+t)-b))$	grs./cm ³	2,625	2,626	#####	2,625	SFALT
P. E. A. Saturado Sup. Seco $(x/((x+t)-b))$	grs./cm ³	2,672	2,670	#####	2,671	
Peso Especifico Aparente $(a/(a+t)-b)$	grs./cm ³	2,754	2,748	#####	2,751	2,711
% de Absorción $((x-a)/a)*100$	%	1,781	1,704	#####	1,742	1,742
DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (AASHTO T - 99)						
VOLUMEN DESPLAZADO Y GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO (AASHTO T - 99)						
Descripcion	Unidad	Grava 3/4 - 3/8"	Grava 3/4 - 3/8"	U	PROMEDIO	
Peso Muestra Saturada de Superf. Seca (e)	grs.	4813	4497	0	160	160
Peso Material Seco (f)	grs.	4770	4416	0	0,4	0,6
Peso Muestra + Cesto suspendido en Agua	grs.	2979	2779	0		
Peso del Cesto suspendido en Agua	grs.	0	0	0	2,644	2,658
Peso Muestra suspendida Agua (g)	grs.	2979	2779	0		SFALT
Peso Especifico del Agregado Seco $(f / (e-g))$	grs./cm ³	2,601	2,570		2,583	
P.E.A. Saturado de Superficie Seca $(e/(e-g))$	grs./cm ³	2,624	2,618		2,620	
Peso Especifico Aparente $(f/ (f-g))$	grs./cm ³	2,663	2,698		2,684	2,652
% de Absorción $((e-f)/f)*100$	%	0,901	1,834		1,461	1,461

Fuente: Elaboración propia

Desgaste de los ángeles.-

Caras Fracturadas

Tabla 57 Planilla de caras fracturadas de los agregados, Estudio 1.

ENSAYO	Lecturas			Promedio	Especificación	
	1	2	3			
ENSAYO N°						
PESO TOTAL (grs.) (a)	1000					
PESO RETENIDO TAMIZ N° 8 (grs.) (b)	956					
CARAS NO FRACTURADAS (grs.) (a-b)	44					
% Caras Fracturadas = (b/a)*100	95,60			95,6	>	75
OBSERVACIONES: Material de Mezcla						
ENSAYO	Lecturas			Promedio	Especificación	
	1	2	3			
ENSAYO N°						
PESO TOTAL (grs.) (a)	1000					
PESO RETENIDO TAMIZ N° 8 (grs.) (b)	907,0					
CARAS NO FRACTURADAS (grs.) (a-b)	93,0					
% Caras Fracturadas = (b/a)*100	90,70			90,7	>	75

Fuente: Elaboración propia

Equivalente arena

Tabla 58 Planilla de Equivalente arena de los agregados, Estudio 1.

ENSAYO	Lecturas			Promedio	Especificación	
	1	2	3			
ENSAYO N°						
LECTURA NIVEL SUPERIOR	7,2	7,2	7,1			
LECTURA NIVEL INFERIOR	3,7	3,8	3,75			
% DE ARENA	51,39	52,78	52,82	52,3	>	45

Fuente: Elaboración propia

Durabilidad

Tabla 59 Planilla de Durabilidad de los agregados, Estudio 1.

AGREGADO - GRUESO										
Granulometría				Peso Materiales		Perdida por	% Pasa al	% Perdida	% Perdida	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	Diferencia	Tamiz	Respecto	Respecto	
Nº	Pasa	Ret.		Ensayo(Grs.)	Ensayo(Grs.)	(Grs.)	mas fino	Tamiz	Muestra Total	
2	2	1	100,0	0,0	0,0					
1	1	3/4"	99,4	503,5	498,5	5,0	19,1	0,99	0,19	
3/4"	3/4"	1/2"	80,3	400,5	388,5	12,0	3,5	3,00	0,10	
1/2"	1/2"	3/8"	76,8	300,0	295,4	4,6	23,0	1,53	0,35	
3/8"	3/8"	Nº 4	53,8	300,0	296,3	3,7	53,8	1,23	0,66	
Nº 4	Nº 4	Nº 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	
Nº 10	Nº 10									
TOTAL % PERDIDA DE PESO							80,3		1,31	
MÁXIMO									12,00	
Cinco ciclos										
Obs. Material para Mezcla Asfáltica										
AGREGADO - FINO										
Granulometría				Peso Materiales		Perdida por	% Pasa al	% Perdida	% Perdida	
Tamiz	Tamiz	Tamiz	Material	Antes	Después	Diferencia	Tamiz	Respecto	Respecto	
Nº	Pasa	Ret.		Ensayo(Grs.)	Ensayo(Grs.)	(Grs.)	mas fino	Tamiz	Muestra Total	
3/8"	3/8"	Nº 4	53,8	300,0	298,7	1,3	15,4	0,43	0,07	
Nº 4	Nº 4	Nº 8	38,4	100,0	99,2	0,8	10,5	0,80	0,08	
Nº 8	Nº 8	Nº 16	27,9	100,0	99,1	0,9	11,9	0,90	0,11	
Nº 16	Nº 16	Nº 40	16,0	100,0	99,4	0,6	6,3	0,60	0,04	
Nº 40	Nº 40	Nº 80	9,7	100,0	95,4	4,6	9,7	4,60	0,45	
Nº 80	Nº 80									
TOTAL % PERDIDA DE PESO									0,68	
MÁXIMO									12,00	
Cinco ciclos										

Fuente: Elaboración propia

Laminaridad

Tabla 60 Planilla de Laminaridad de los agregados, Estudio 1.

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares
3/4"	1000	71,3	7,13
Peso Total de la Muestra	1000		
(% Total de Partículas Laminares (Máximo 15%))			7,13

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Laminares (gr)	% Retenido Partículas Laminares
3/8"	1000	76,8	7,68
Peso Total de la Muestra	1000		
(% Total de Partículas Laminares (Máximo 15%))			7,68

Fuente: Elaboración propia

Chatas y Alargadas

Tabla 61 Planilla de Chatas y alargadas de los agregados, Estudio 1.

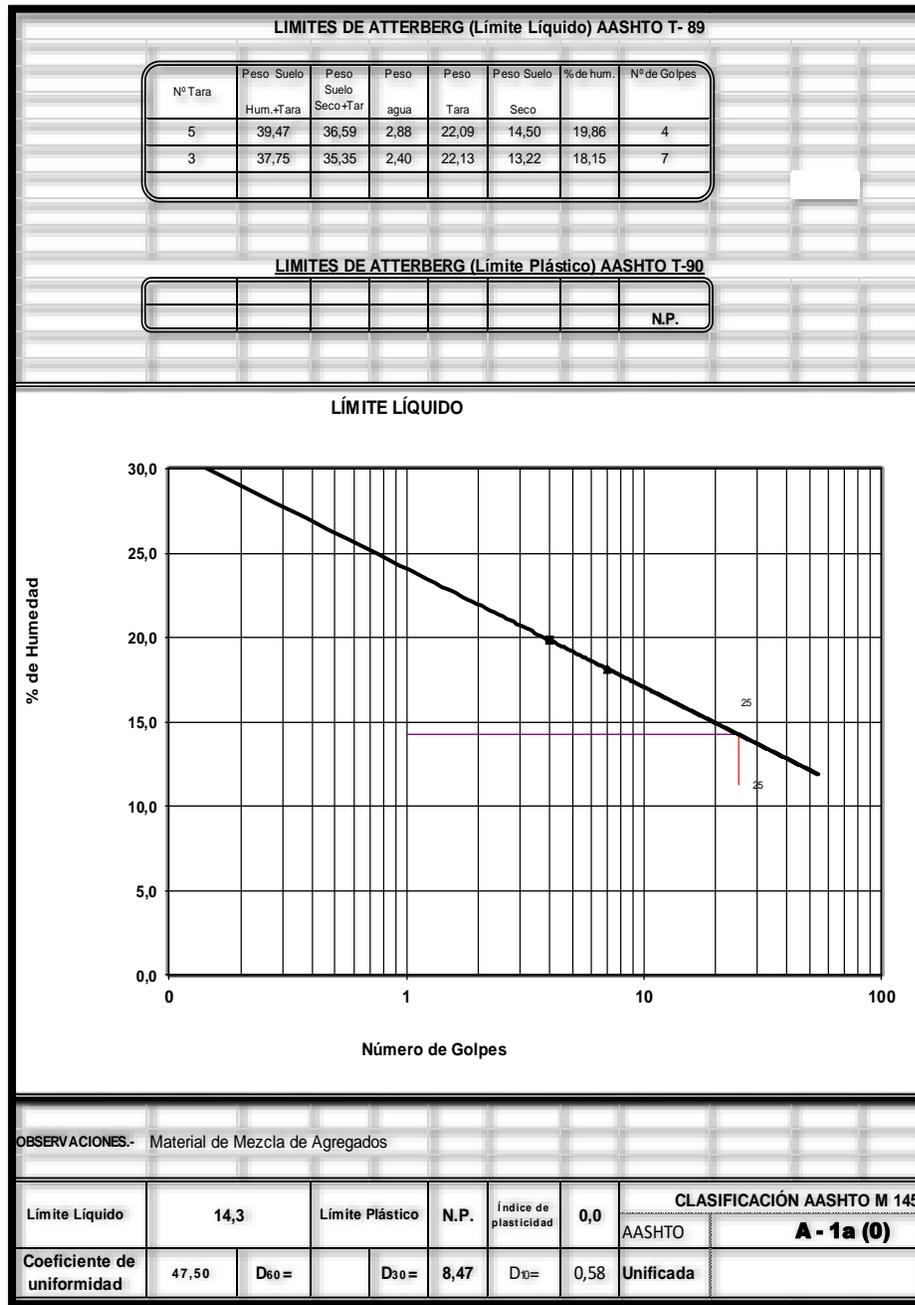
MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)	% Retenido Partículas Chatas Alargadas
3/4"	1000	7,6	0,76
Peso Total de la Muestra	1000		
(% Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%))			0,76

MATERIAL	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)	% Retenido Partículas Chatas Alargadas
3/8"	1000	9,2	0,92
Peso Total de la Muestra	1000		
(% Total de Partículas Chatas Alargadas (Máximo 10%))			0,92

Fuente: Elaboración propia

Limites

Tabla 62 Planilla de Limites de los agregados, Estudio 1.



Fuente: Elaboración propia

Granulometría

Tabla 63 Planilla de Granulometría de los agregados, Estudio 1.

Peso Total Sec	4778,7 gr		4619,0 gr				1000,0 gr	
Tamiz	Grava		Gravilla				Arena	
Nº	Peso Ret.	%Que Pasa	Peso Ret.	%Que Pasa			Peso Ret.	%Que Pasa
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	171,2	96,4	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	3812,9	20,2	63,0	98,6	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	4630,0	3,1	1532,0	66,8	0,0	0,0	0,0	100,0
Nº 4	4773,1	0,1	4440,1	3,9	0,0	0,0	47,2	95,3
Nº 8	4773,1	0,1	4571,0	1,0	0,0	0,0	215,5	78,5
Nº 16	4773,1	0,1	4575,0	1,0	0,0	0,0	346,1	65,4
Nº 40	4774,2	0,1	4579,3	0,9	0,0	0,0	604,4	39,6
Nº 80	4775,1	0,1	4580,1	0,8	0,0	0,0	807,1	19,3
Nº 200	4776,1	0,1	4593,1	0,6	0,0	0,0	932,7	6,7

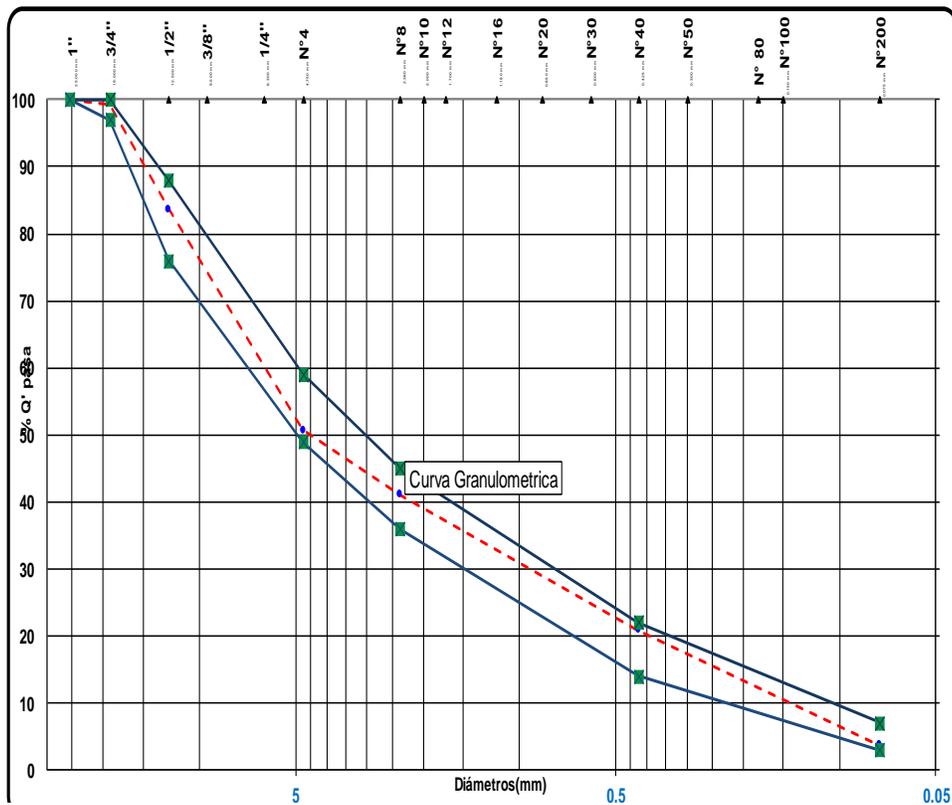
Fuente: Elaboración propia

3.5.2.- Dosificación de la mezcla Asfáltica

3.5.2.1 Dosificación de los materiales

Tabla 64 Planilla de dosificación de los agregados, Estudio 1.

AGREGADO		Grava - Alcaldia		Gravilla - Alcadia		Arena - Alcadia						% QUE PASA	FAJA		TOLERANCIAS (+/-)	FAJA			
% USADO		20%		28%		52%		0%		0%			CURVA DE TRABAJO	INF.		SUP.	ESPECIF. GRAD. MEDIA	INF.	SUP.
TAMICES		%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.	%TOTAL	%ENC.								
PULG	mm.																		
1 1/2"	38,1	100,0	20,0	100,0	28,0			100,0	0,0			48,00				100	100		
1"	25,40	100,0	20,0	100,0	28,0	100,0	52,0		0,0		0,0	100,0	100	100	0%	100	100		
3/4"	19,10	96,4	19,3	100,0	28,0	100,0	52,0		0,0		0,0	99,3	97	100	0%	97	100		
1/2"	12,50	20,2	4,0	98,6	27,6	100,0	52,0		0,0		0,0	83,7	79	89	5%	76	88		
3/8"	9,50	3,1	0,6	66,8	18,7	100,0	52,0		0,0		0,0	71,3	0	0	0%	0	0		
#4	4,75	0,1	0,0	3,9	1,1	95,3	49,5		0,0		0,0	50,7	44	58	7%	49	59		
#8	2,360	0,1	0,0	1,0	0,3	78,5	40,8		0,0		0,0	41,1	36	46	5%	36	45		
#16	1,180	0,1	0,0	1,0	0,3	65,4	34,0		0,0		0,0	34,3	0	0		0	0		
#40	0,425	0,1	0,0	0,9	0,2	39,6	20,6		0,0		0,0	20,8	18	24	3%	14	22		
#80	0,180	0,1	0,0	0,8	0,2	19,3	10,0		0,0		0,0	10,3	8	12	0%	0	0		
#200	0,075	0,1	0,0	0,6	0,2	6,7	3,5		0,0		0,0	3,7	2	6	2%	3	7		



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2. Dosificación Marshall.

Tabla 65 Planilla de dosificación Marshall, Estudio 1.CA 85-100 Y B 60-85 E.

DOSIFICACION DISEÑO MARSHALL															
TAMIZ	%Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,30%		4,8%		5,3%		5,8%		6,3%		6,8%	
				P. Parcial	P. Acumul										
				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,3	0,7	0,7	8,3	8,3	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
1/2"	83,7	16,3	15,6	179,4	187,7	178,5	186,7	177,5	185,7	176,6	184,7	175,6	183,7	174,7	182,8
3/8"	71,3	28,7	12,3	141,5	329,2	140,8	327,5	140,1	325,8	139,3	324,0	138,6	322,3	137,8	320,6
Nº4	50,7	49,3	20,7	237,5	566,7	236,2	563,3	235,0	560,8	233,8	557,8	232,5	554,9	231,3	551,9
Nº8	41,1	58,9	9,5	109,6	676,3	109,0	672,8	108,5	669,2	107,9	665,7	107,3	662,2	106,8	658,6
Nº16	34,3	65,7	6,8	78,3	754,6	77,9	750,6	77,5	746,7	77,0	742,8	76,6	738,8	76,2	734,9
Nº40	20,8	79,2	13,5	154,6	909,2	153,8	904,4	153,0	899,7	152,2	894,9	151,4	890,2	150,6	885,4
Nº80	10,3	89,7	10,5	121,1	1030,3	120,5	1024,9	119,9	1019,6	119,2	1014,2	118,6	1008,8	118,0	1003,4
Nº200	3,7	96,3	6,6	76,0	1106,3	75,6	1100,5	75,2	1094,7	74,8	1088,9	74,4	1083,2	74,0	1077,4
Filler	0	100,0	3,7	42,1	1148,4	41,9	1142,4	41,7	1136,4	41,5	1130,4	41,2	1124,4	41,0	1118,4
Peso Total=				1148,4		1142,4		1136,4		1130,4		1124,4		1118,4	
Peso Muestra=				1148,4		1142,4		1136,4		1130,4		1124,4		1118,4	
Peso Asfalto=				51,6		57,6		63,6		69,6		75,6		81,6	
Peso Total Material + C. Asf.=				1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0		1200,0	

Fuente: Elaboración propia

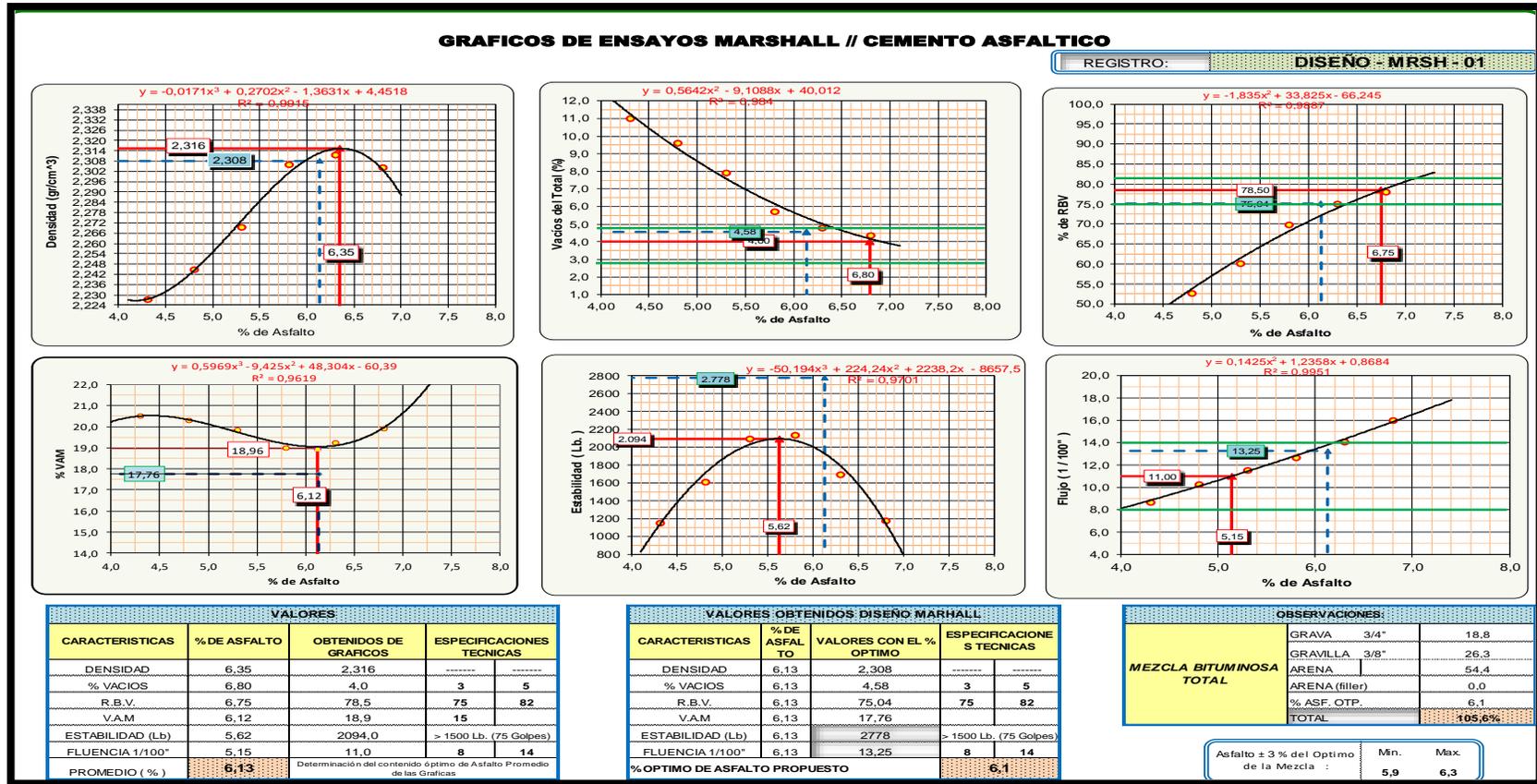
3.5.3.- Diseño Marshall

Tabla 66 Planilla de diseño Marshall, Estudio 1.CA 85-100.

Proyecto: Estudio 1. Calle Mario Estensoro Vasquez										Fecha: 12 de septiembre de 2016				DISEÑO - MRSH - 01								
Pesos Especificos (AASHTO T-100, T-85)			% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20			DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA										
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,652	gr/cm ³	49,35	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100				3/4"	3/8"	N°4											
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,711	gr/cm ³	50,65	P. Especifico Total AASHTO T-228	1,009				20%	28%	58%											
P. Esp. Agregado Total (Gag.)	2,682	gr/cm ³	100						Acopio Planta de Asfaltos La Pintada													
N° GOLPES: 75			135 °C Compactación																			
IPCA CODIN	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLU MEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA				REAL (Dr.)	PROMEDIO (Dm.)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA	
		a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p				
		(a + b) / 100 = e		D		r - d	c / e	1	2	3	4											
1	6,62	4,49	4,30	1192,5	1197,2	662,0	535,2	2,228					522	1150,8		0,939		220	8,7			
2	6,60	4,49	4,30	1188,6	1192,3	660,0	532,3	2,233					622	1371,3		0,943		220	8,7			
3	6,60	4,49	4,30	1194,2	1197,6	660,0	537,6	2,221	2,227	2,503	11,01	20,51	46,29	522	1150,8	1224,3	0,943	0,942	1153,3	220	8,7	8,66
4	6,66	5,04	4,80	1143,2	1145,8	637,8	508,0	2,250						802	1768,1		0,932			275	10,8	
5	6,81	5,04	4,80	1188,2	1192,7	660,0	532,7	2,231						747	1646,8		0,895			245	9,6	
6	6,73	5,04	4,80	1187,8	1191,7	664,6	527,1	2,253	2,245	2,484	9,63	20,31	52,59	845	1862,9	1759,3	0,915	0,914	1608,0	265	10,4	10,30
7	6,80	5,60	5,30	1188,1	1192,0	671,3	520,7	2,282						1082	2385,4		0,898			295	11,6	
8	6,73	5,60	5,30	1188,0	1195,0	670,5	524,5	2,265						965	2127,4		0,915			275	10,8	
9	6,77	5,60	5,30	1194,7	1198,5	670,2	528,3	2,261	2,269	2,465	7,94	19,86	60,03	1097	2418,4	2310,4	0,905	0,906	2093,2	310	12,2	11,55
10	6,73	6,16	5,80	1199,5	1200,9	682,3	518,6	2,313						995	2193,6		0,915			287	11,3	
11	6,46	6,16	5,80	1190,4	1191,4	673,5	517,9	2,299						1063	2343,5		0,973			330	13,0	
12	6,62	6,16	5,80	1185,1	1186,2	672,4	513,8	2,307	2,306	2,446	5,74	18,99	69,79	1028	2266,3	2267,8	0,939	0,942	2136,3	350	13,8	12,69
13	6,59	6,72	6,30	1185,6	1187,2	673,2	514,0	2,307						826	1821,0		0,945			360	14,2	
14	6,52	6,72	6,30	1191,3	1191,8	676,4	515,4	2,311						800	1763,7		0,958			360	14,2	
15	6,57	6,72	6,30	1192,6	1191,8	677,0	514,8	2,317	2,312	2,428	4,80	19,23	75,06	805	1774,7	1786,5	0,949	0,951	1698,9	355	14,0	14,11
16	6,54	7,30	6,80	1190,5	1191,5	675,2	516,3	2,306						555	1223,6		0,954			400	15,7	
17	6,54	7,30	6,80	1185,3	1186,8	671,3	515,5	2,299						555	1223,6		0,954			410	16,1	
18	6,42	7,30	6,80	1188,2	1189,6	674,6	515,0	2,307	2,304	2,410	4,39	19,92	77,96	555	1223,6	1223,6	0,983	0,964	1179,5	410	16,1	16,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Planilla de diseño Marshall, Estudio 1.CA 85-100.



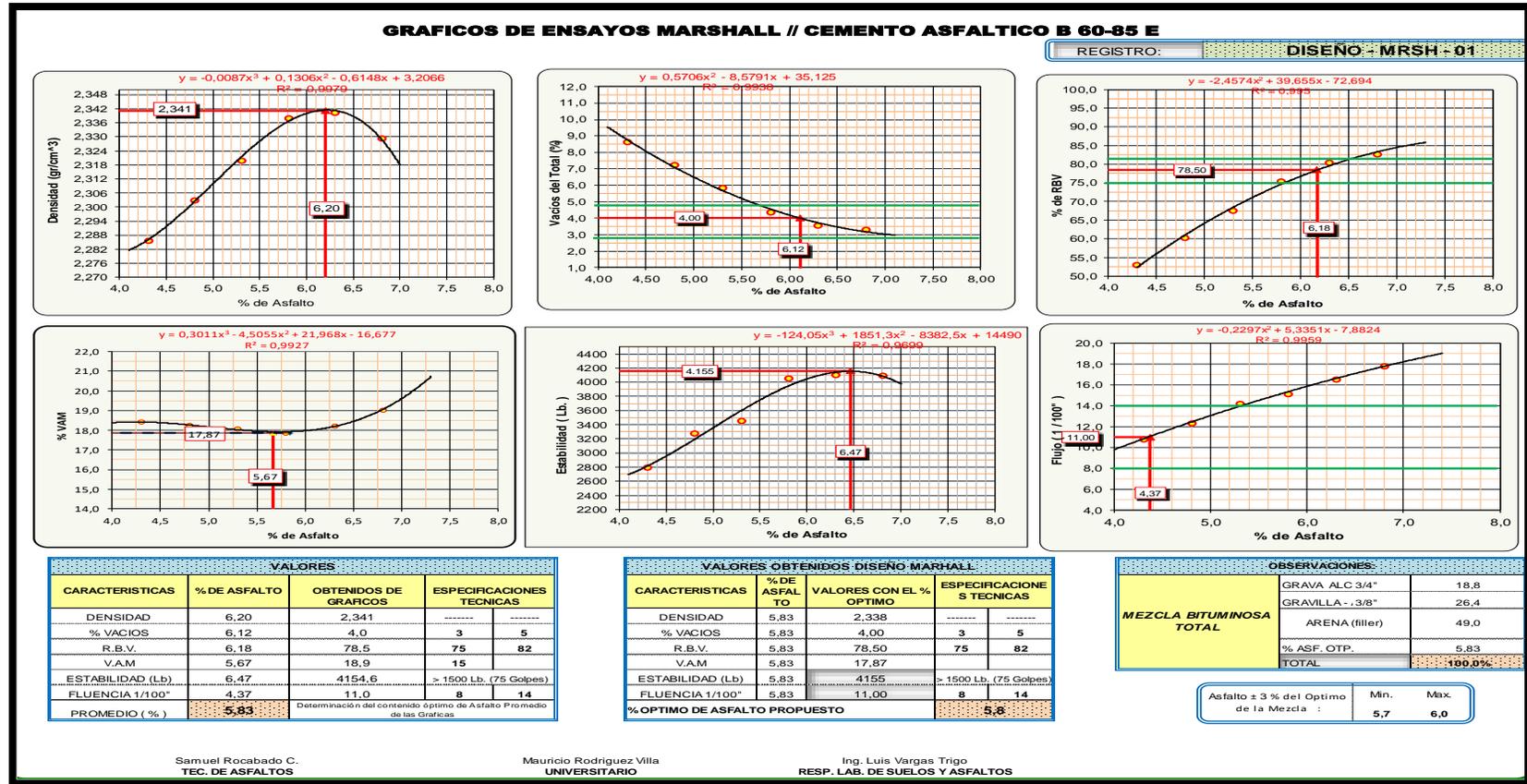
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 Planilla de diseño Marshall, Estudio 1.BETUFLEX 60-85 E.

LABORATORIO DE SUELOS, ASFALTOS Y HORMIGONES																							
" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL " B 60-85 E																							
Proyecto: Construcción de la Carretera Uyuni-Tupiza										Fecha: 8 de diciembre de 2016					DISEÑO - MRSH - 01								
Pesos Especificos (AASHTO T-60, T-85)			% de Agregados			C. Asfáltico AASHTO M-20			DOSIFICACION			GRAVA - ALCALDIA		GRAVILLA - ALCALDIA		ARENA - ALCALDIA							
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,652	gr/cm ³	49,35	Tipo de asfalto AASHTO M20	60-85			% DE AGREGADOS :			3/4"		3/8"		N°4								
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,711	gr/cm ³	50,65	P. Especifico Total AASHTO T-228	1,006			ORIGEN AGREGADOS :			20%		28%		52%								
P. Esp. Agregado Total (Gag.)	2,682	gr/cm ³	100	N° GOLPES: 75			145 °C Compactación			Planta de Asfaltos													
Eje C/10	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacíos			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1/100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.)	PROMEDIO (D _{RM})	MAXIMA TEORICA	MEZCLA	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA	LECT. DIAL
		a	b					c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m				n	o
		(a * 100) / 100	D	r	d	r - d	c / e	1	2	3	4		l	m	n		o		p				
1	6,60	4,49	4,30	1194,3	1198,9	670,1	528,8	2,259					1350	2976,2		0,943			275	10,8			
2	6,65	4,49	4,30	1198,3	1202,1	690,1	512,0	2,340					1345	2965,2		0,934			272	10,7			
3	6,62	4,49	4,30	1195,2	1198,2	669,0	529,2	2,259	2,286	2,502	8,65	18,42	53,03	1351	2978,4	2973,3	0,939	0,939	2791,9	276	10,9	10,80	
4	6,66	5,04	4,80	1191,5	1196,1	669,2	526,9	2,261					1598	3523,0		0,932			325	12,8			
5	6,68	5,04	4,80	1196,6	1200,1	682,6	517,5	2,312					1610	3549,4		0,928			305	12,0			
6	6,69	5,04	4,80	1199,2	1203,8	690,2	513,6	2,335	2,303	2,483	7,26	18,25	60,22	1601	3529,6	3534,0	0,925	0,928	3279,5	310	12,2	12,34	
7	6,70	5,60	5,30	1198,3	1202,8	691,8	511,0	2,345					1698	3743,4		0,923			355	14,0			
8	6,75	5,60	5,30	1198,6	1203,1	692,2	510,9	2,346					1708	3765,5		0,910			360	14,2			
9	6,71	5,60	5,30	1195,5	1199,1	672,2	526,9	2,269	2,320	2,464	5,85	18,07	67,65	1710	3769,9	3759,6	0,920	0,918	3451,3	370	14,6	14,24	
10	6,66	6,16	5,80	1199,8	1203,1	689,1	514,0	2,334					1960	4321,0		0,932			375	14,8			
11	6,62	6,16	5,80	1199,2	1202,9	691,9	511,0	2,347					1967	4336,4		0,939			390	15,4			
12	6,60	6,16	5,80	1198,3	1202,5	688,8	513,7	2,333	2,338	2,445	4,39	17,87	75,42	1962	4325,4	4327,6	0,943	0,938	4059,3	390	15,4	15,16	
13	6,53	6,72	6,30	1199,8	1204,0	692,0	512,0	2,343					1950	4299,0		0,956			415	16,3			
14	6,52	6,72	6,30	1198,4	1203,1	690,1	513,0	2,336					1940	4276,9		0,958			425	16,7			
15	6,51	6,72	6,30	1199,7	1203,8	691,5	512,3	2,342	2,340	2,427	3,56	18,22	80,44	1935	4265,9	4280,6	0,960	0,958	4100,8	420	16,5	16,54	
16	6,50	7,30	6,80	1197,5	1203,1	689,2	513,9	2,330					1925	4243,9		0,963			465	18,3			
17	6,51	7,30	6,80	1195,8	1199,8	682,1	517,7	2,310					1930	4254,9		0,960			450	17,7			
18	6,50	7,30	6,80	1199,2	1203,9	693,1	510,8	2,348	2,329	2,409	3,30	19,04	82,67	1935	4265,9	4254,9	0,963	0,962	4093,2	445	17,5	17,85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69 Planilla de diseño Marshall, Estudio 1.BETUFLEX 60-85 E.



Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Diseño con porcentaje óptimo de Asfalto

Tabla 70 Planilla de diseño optima, Estudio 1.CA 85-100.

Pesos Específicos (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		Cemento Asfáltico AASHTO M 20																	
Mat. Retenido Tamiz N°4	2,652	49,34667		85-100																	
Mat. Pasa Tamiz N°4	2,711	50,7		Peso Específico Total AASHTOT-228		1,009															
Peso Específico Total	2,682	100				No.de Golpes/Capa 75															
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)							Peso Esp. Max. de Mezclas Compact.(AASHTO T-209)					Estabilidad Marshall				Flujo					
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol.	Densidad Probeta		% de Vacíos					LEC. DIAL	Carga	Factor correc	Carga Real C	Carga Promec	En 1/100 pulg	promedio
		Base me	Base Agr	Seco	Sat. Sup	Sumergic	Probeta	Densidad Re	Densidad Pro	Densidad Máxima Teórica	% de Vacíos	Mezcla Total	V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral)	R.B.V. (Relación Betumen Vacíos)							
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs./cm3	Grs./cm3	Grs./cm3	%	%	%		Libras		Libras	Libras			
1	6,65	6,13	6,5	186,3	190,3	680,3	510,0	2,326						1454	3205,5	0,93	2993,3		0,13		
2	6,67	6,13	6,5	186,9	189,3	685,9	503,4	2,358						1235	2722,7	0,93	2532,1		0,13		
3	6,69	6,13	6,5	186,8	191,5	678,2	513,3	2,312	2,332	2,43	4,20	18,37	77,15	1212	2672,0	0,93	2471,6	2665,7	0,13	12,86	
OBSERVACIÓN:																	Resistencia Remanente (%)		90,91	>	85,00
Especificación		Mínimo					3	15	75					1500			8				
		Máximo					5	82								14					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71 Planilla de diseño optima, Estudio 17.BETUFLEX 60-85 E.

Pesos Específicos (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		Cemento Asfáltico AASHTO M 20		Peso Específico Total AASHTOT-228		No.de Golpes/Capa															
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,652	49,34667		60-85																			
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,711	50,7																					
Peso Específico Total	2,682	100					1,006		75														
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)								Peso Esp. Max. de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)				Estabilidad Marshall				Flujo							
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta		Densidad Máxima	% de Vacíos				LEC. DIAL	Carga	Factor corrección	Carga Real Corregida	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas promedio			
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Ag		Densidad Real	Densidad Promedio		Teórica	Total	V.A.M. (Vacíos)	Agregados Mineral							R.B.V. (Relación)	Betumen Vacíos)	
		%	%	grs.	grs.	grs.	CC	Grs./cm3	Grs./cm3	Grs./cm3	%	%	%		Libras		Libras	Libras					
1	6,54	5,83	6,2	1190,5	1193,8	683,8	510,0	2,334							1365	3009,3	0,95	2872,1		0,13			
2	6,58	5,83	6,2	1191,3	1194,8	685,6	509,2	2,340							1355	2987,2	0,95	2828,6		0,13			
3	6,60	5,83	6,2	1192,0	1195,8	688,9	506,9	2,352	2,342	2,44	4,18	17,76	76,44		1360	2998,3	0,94	2828,0	2842,9	0,13	12,86		
OBSERVACIÓN:															Resistencia Remanente (%)		85,24	>	85,00				
Especificación		Mínimo		3	15	75											1500			8			
		Máximo		5		82															14		

Fuente: Elaboración propia

3.5.5.- Relación Peso vs Temperatura a diseño según los estudios

Tabla 72 Datos característicos de los Estudios con CA. 85-100.

Estudio	# de datos	TEMPERATURA	PESO DE MUESTRA
		°C.	gr.
1	1,00	28,00	1190,07
	2,00	23,00	1194,00
	3,00	23,00	1194,03
2	4,00	24,00	1193,14
	5,00	16,00	1202,40
3	6,00	30,00	1188,83
	7,00	30,00	1188,80
4	8,00	34,00	1187,10
5	9,00	33,00	1187,57
6	10,00	33,00	1187,53
7	11,00	27,00	1190,80
8	12,00	17,00	1200,87
	13,00	18,00	1199,70
	14,00	36,00	1186,77
9	15,00	36,00	1186,67
10	16,00	25,00	1192,27
	17,00	23,00	1194,13
11	18,00	23,00	1194,13
12	19,00	31,00	1188,33
13	20,00	25,00	1192,30
14	21,00	21,00	1196,22
	22,00	28,00	1190,03
15	23,00	18,00	1199,57
16	24,00	27,00	1190,67
	25,00	35,00	1187,07
	26,00	23,00	1194,03
	27,00	40,00	1186,70
	28,00	22,00	1195,17
	29,00	22,00	1195,03
	30,00	40,00	1186,67

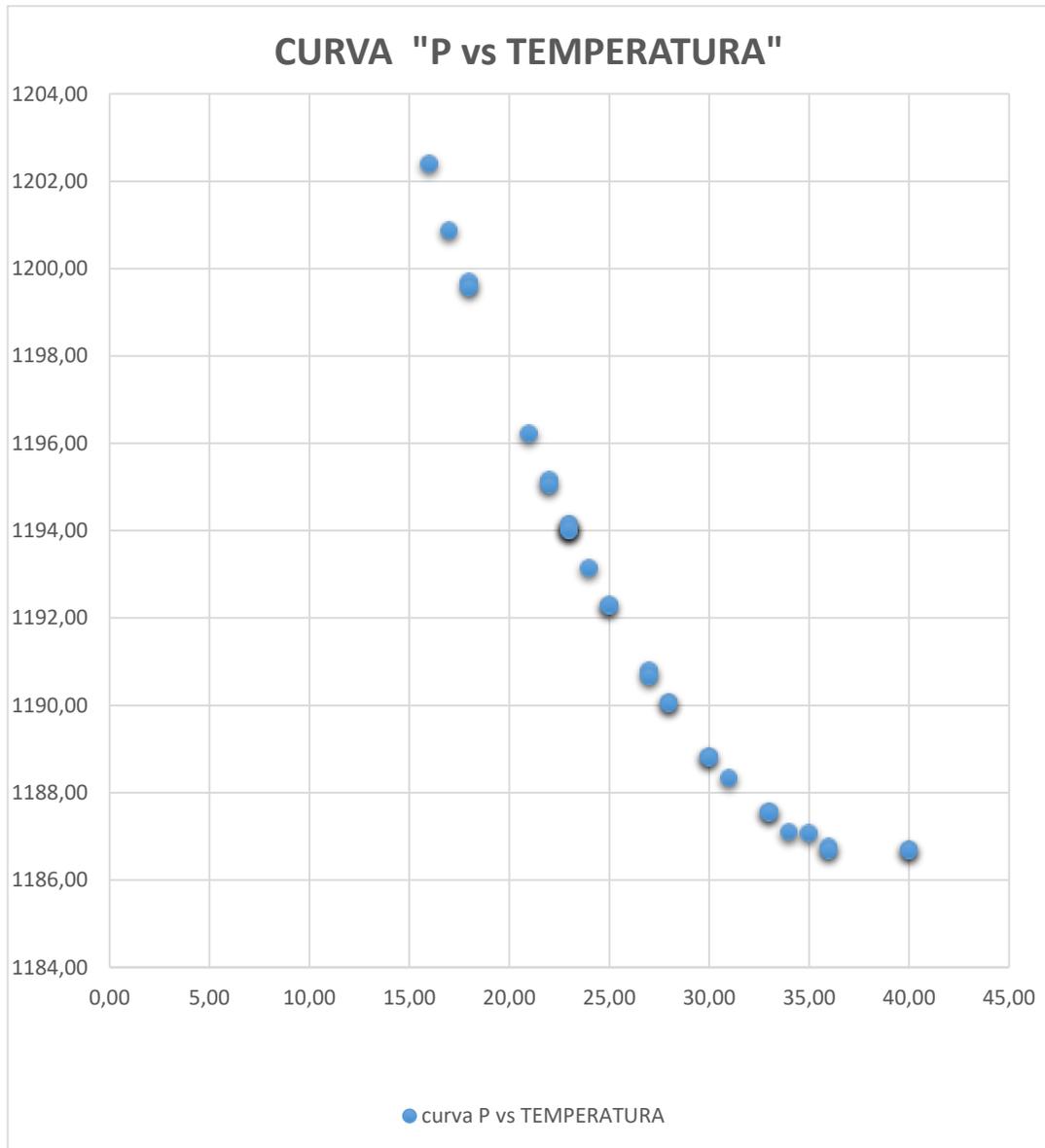
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72 Datos característicos de los Estudios con BETUFLEX 60-85 E.

Estudio	# de datos	TEMPERA TURA	PESO DE MUESTRA
		°C.	gr.
17	1	31	1189,5
18	2	32	1189,2
19	3	25	1192,4
20	4	29	1189,9
21	5	31	1189,6
22	6	24	1193,0
23	7	27	1191,3
24	8	31	1189,6
25	9	32	1189,1
26	10	32	1189,1

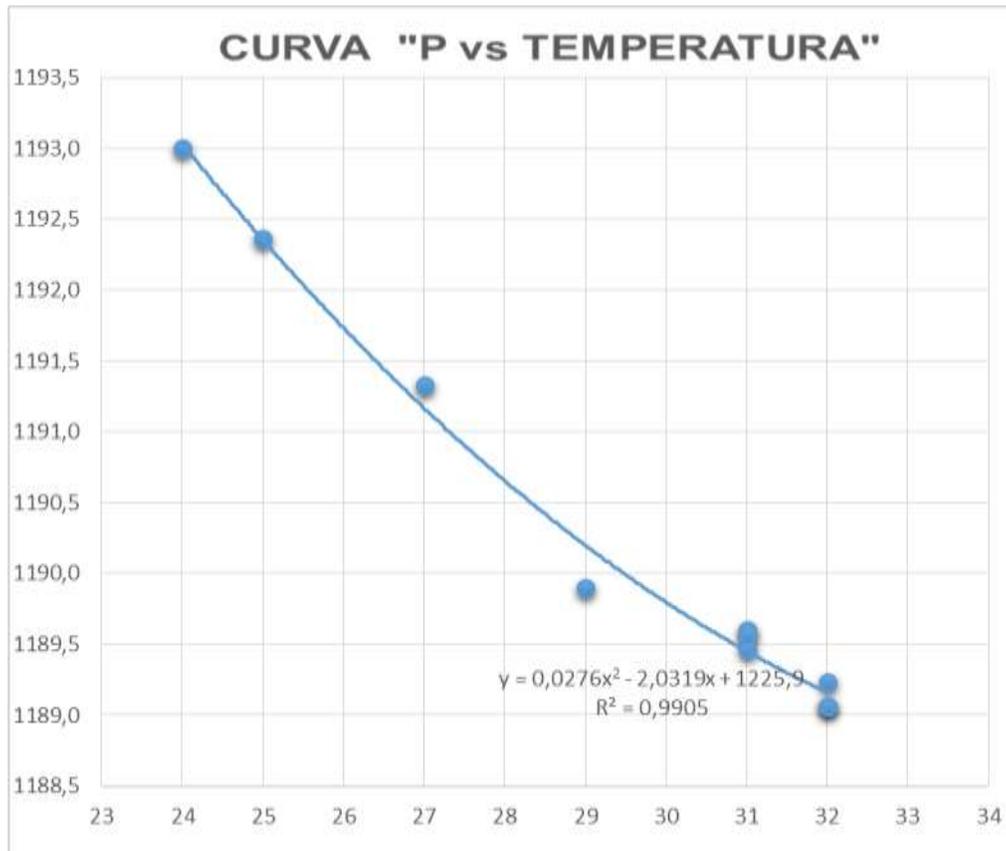
Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA 3. CURVA “peso de muestra vs Temperatura ambiente”. ESTUDIO 1-16. CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 4. CURVA “peso de muestra vs Temperatura ambiente”. ESTUDIO 16-26. B 60-85 E.



Fuente: Elaboración propia

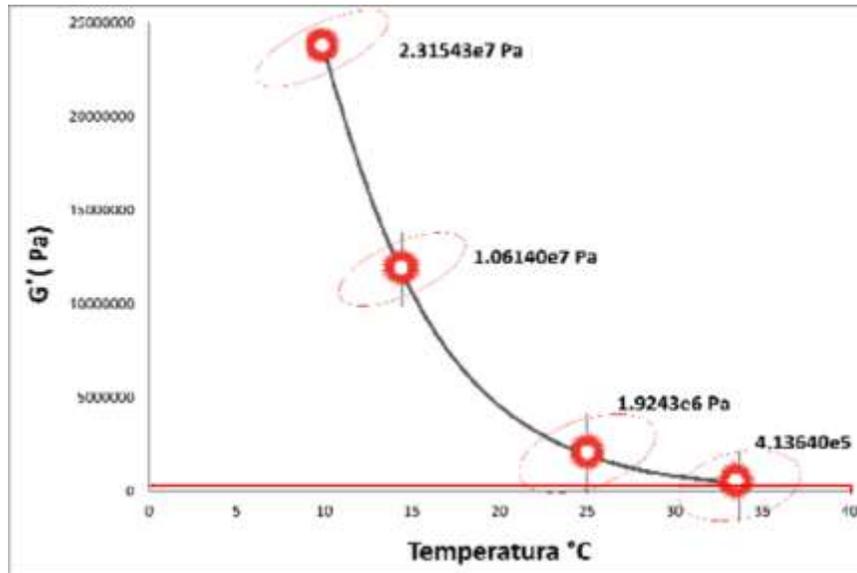
3.5.6.- Relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous

3.5.6.1.- Comparación de las Curvas de Lissajous con respecto al módulo de asfaltos.-

Estudio 1.- en este estudio se realizó tres tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 12 de septiembre de 2016 con una temperatura de 40 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.90.

FIGURA 3. 90 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

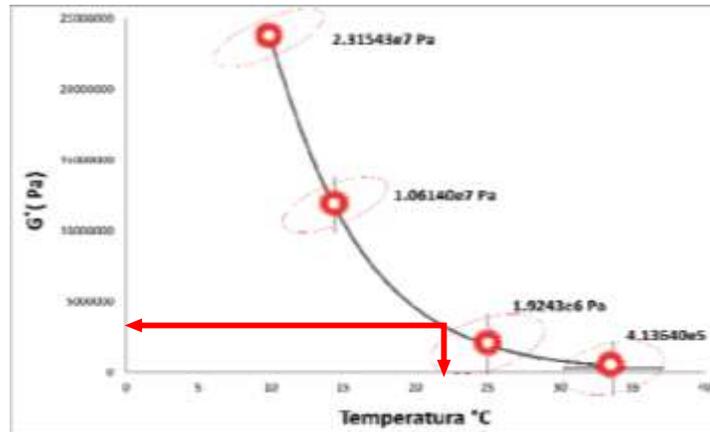
Tabla 73 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
1	1	40	103000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 13 de septiembre de 2016 con una temperatura de 22 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.91.

FIGURA 3. 91 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

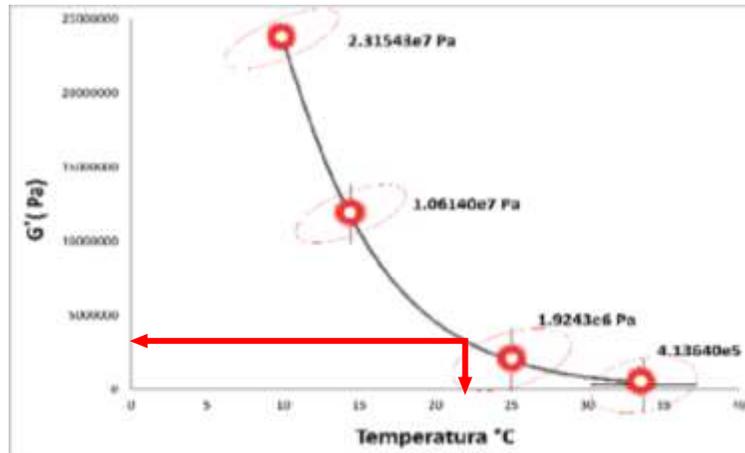
Tabla 74 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
1	2	22	2270000

Fuente: Elaboración propia.

En el tercer tramo realizado el día 13 de septiembre de 2016 con una temperatura de 22 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.92.

FIGURA 3. 92 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 75 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

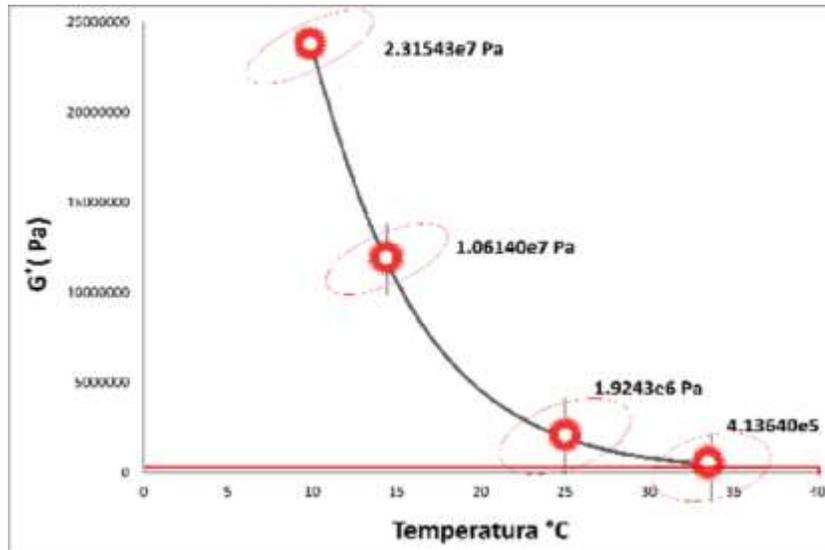
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
1	3	22	2270000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 2.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 12 de septiembre de 2016 con una temperatura de 40 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.93.

FIGURA 3. 93 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

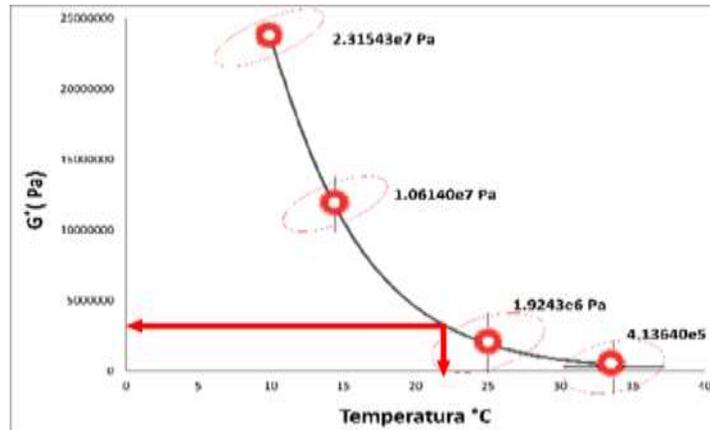
Tabla 76 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G´(Pa)
2	4	40	103000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 14 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.94.

FIGURA 3. 94 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 77 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

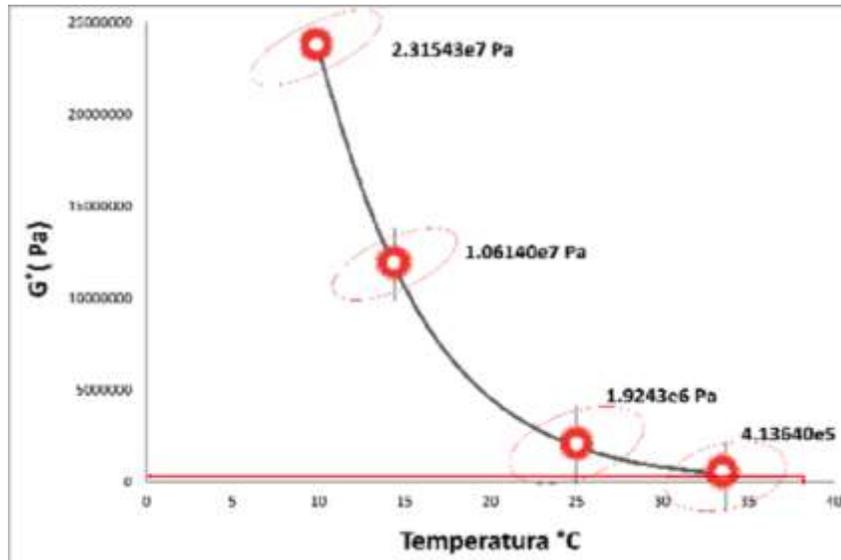
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
2	5	23	1900000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 3.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 17 de septiembre de 2016 con una temperatura de 35 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.95.

FIGURA 3. 95 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

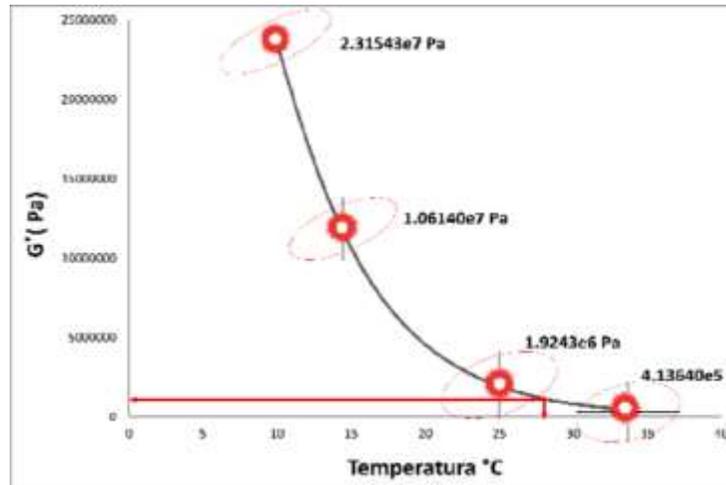
Tabla 78 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
3	6	35	240000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 18 de septiembre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.96.

FIGURA 3. 96 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 79 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

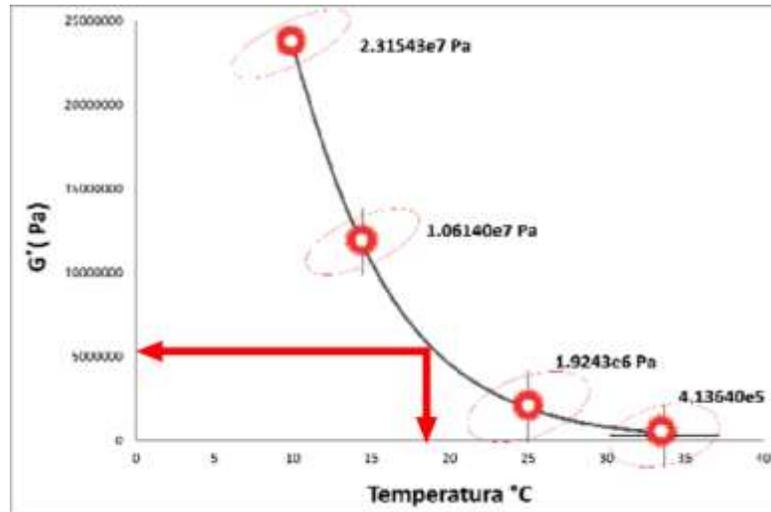
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
3	7	27	960000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 4.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 3 de Octubre de 2016 con una temperatura de 18 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.97.

FIGURA 3. 97 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 80. Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

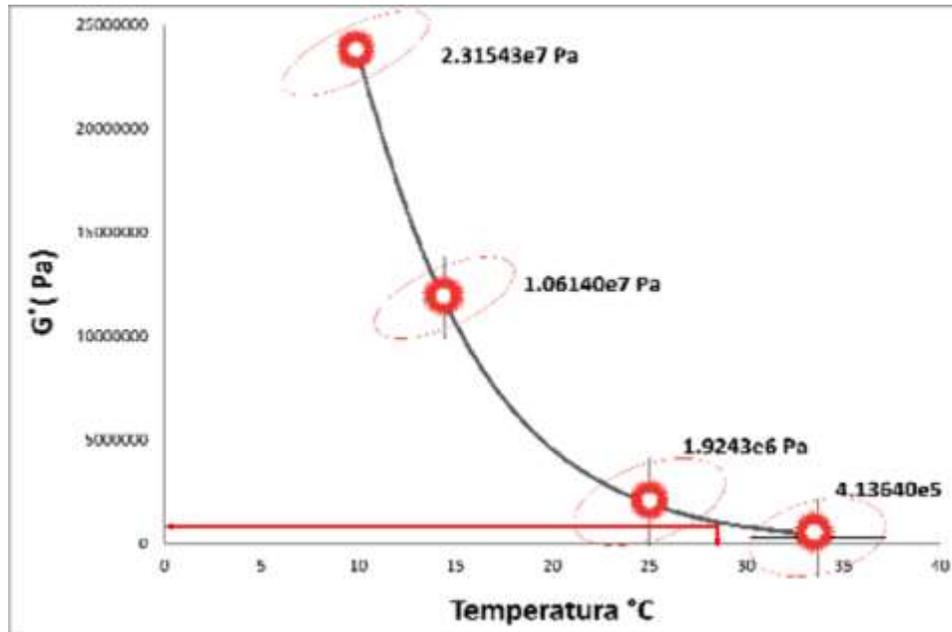
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
4	8	18	4500000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 5.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 4 de Octubre de 2016 con una temperatura de 28 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.98.

FIGURA 3. 98 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 81 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

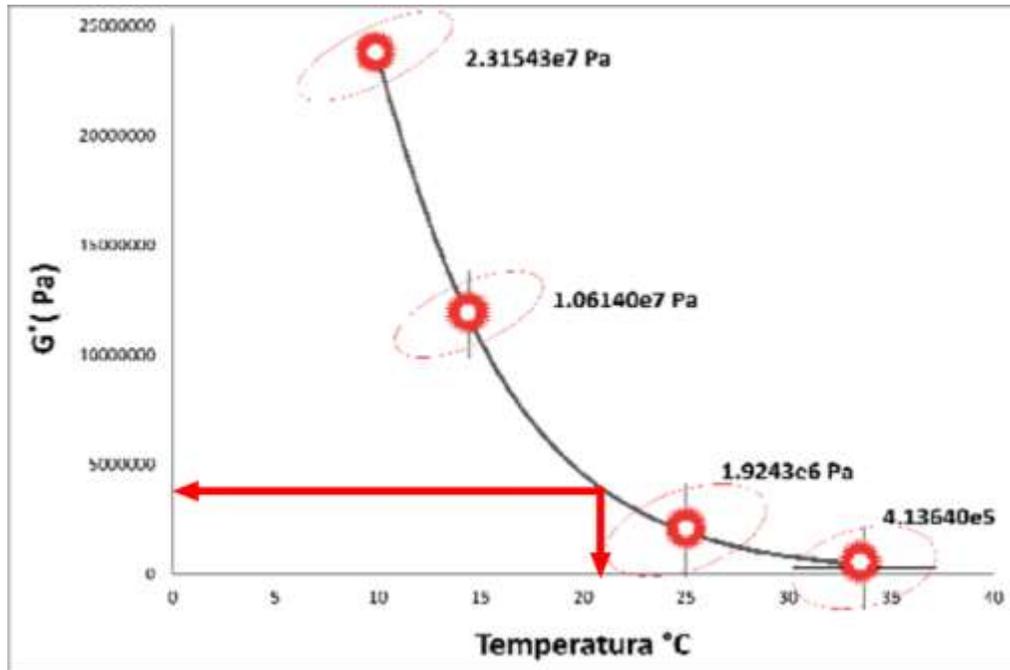
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
5	9	28	810000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 6.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 5 de Octubre de 2016 con una temperatura de 21 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.99.

FIGURA 3. 99 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G´(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El módulo del asfalto es:

Tabla 82 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

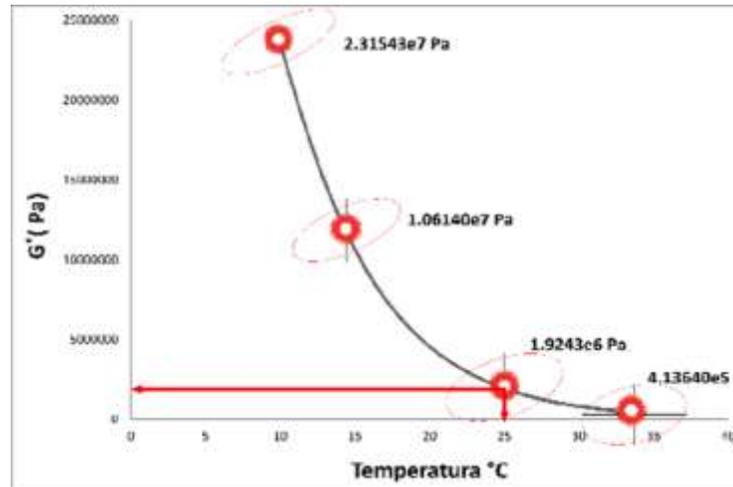
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G´(Pa)
6	10	21	2700000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 7.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 6 de Octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.100.

FIGURA 3. 100 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 83 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

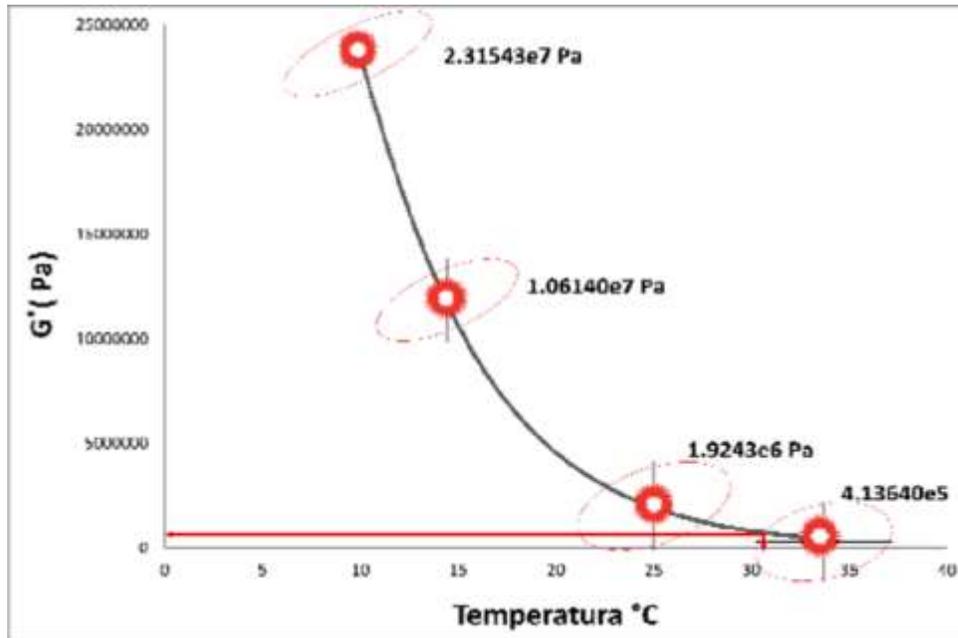
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G'(Pa)
7	11	25	1350000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 8.- en este estudio se realizó tres tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 7 de septiembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.101.

FIGURA 3. 101 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

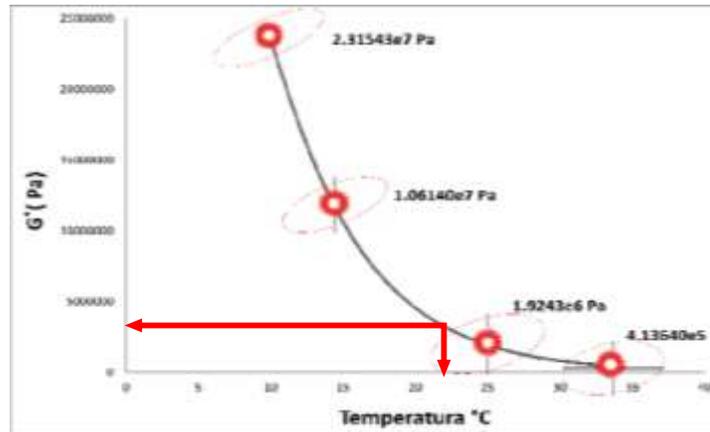
Tabla 84 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
8	12	31	480000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 8 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.102.

FIGURA 3. 102 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

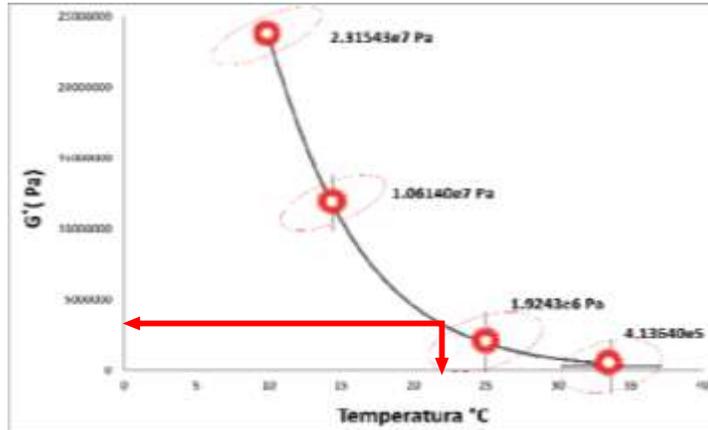
Tabla 85 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
8	13	23	1900000

Fuente: Elaboración propia.

En el tercer tramo realizado el día 8 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.103.

FIGURA 3. 103 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 86 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

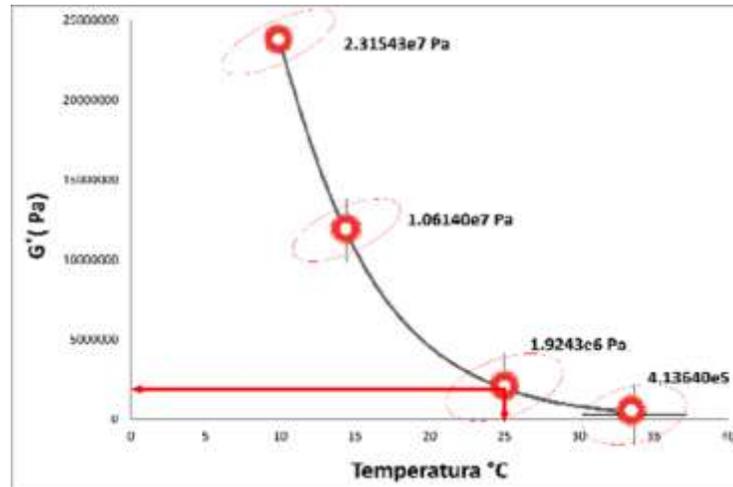
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
8	3	23	1900000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 9.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 9 de Octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.104.

FIGURA 3. 104 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 87 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

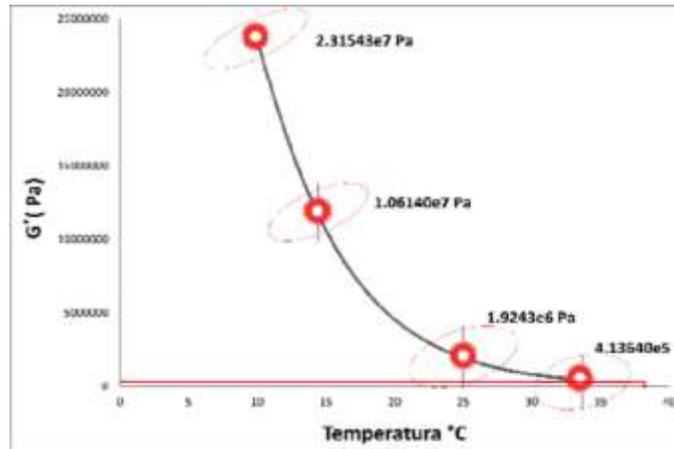
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
9	15	25	1350000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 10.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 18 de Octubre de 2016 con una temperatura de 36 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.105.

FIGURA 3. 105 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

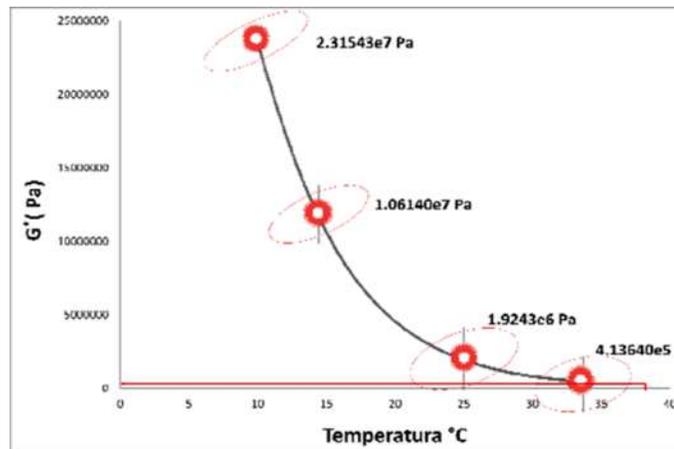
Tabla 88 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
10	16	36	205000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 18 de octubre de 2016 con una temperatura de 36 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.106.

FIGURA 3. 106 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 89 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

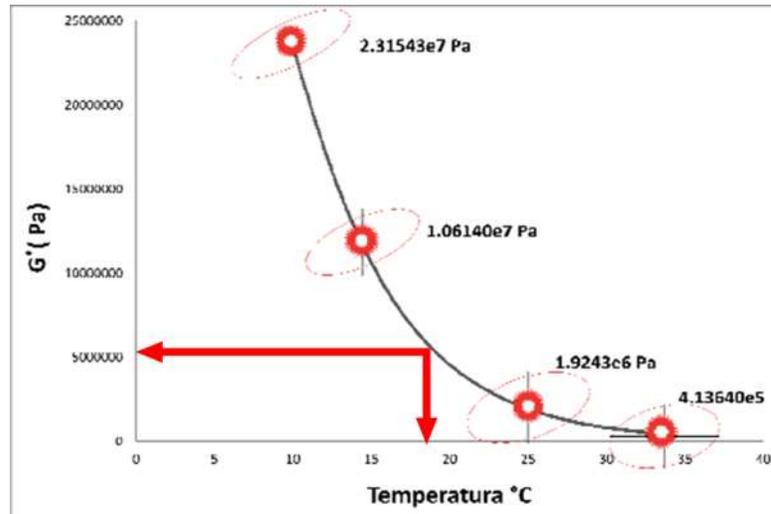
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
10	17	36	205000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 11.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 20 de Octubre de 2016 con una temperatura de 18 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.107.

FIGURA 3. 107 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 90. Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

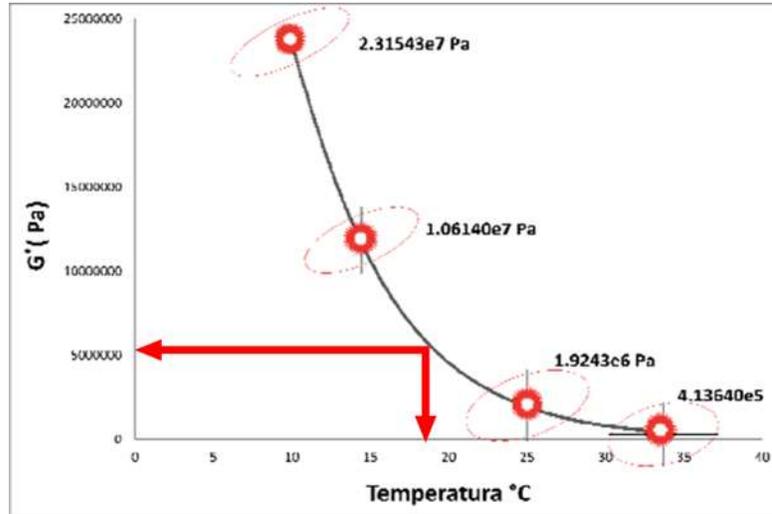
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
11	18	18	4500000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 12.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 21 de Octubre de 2016 con una temperatura de 17 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.108.

FIGURA 3. 108 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 91 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

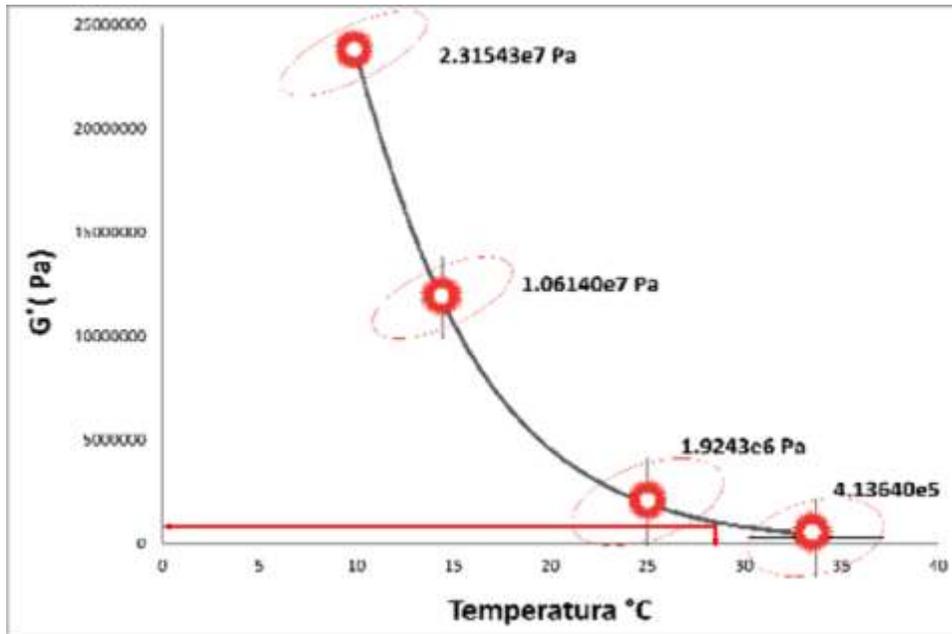
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
12	19	17	540000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 13.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 22 de Octubre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.109.

FIGURA 3. 109 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 92 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous

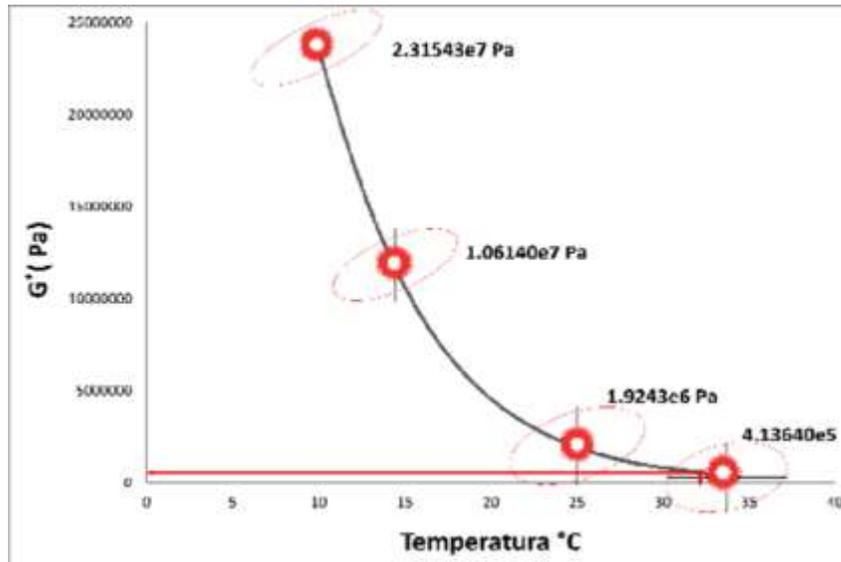
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	G' (Pa)
13	20	27	960000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 14.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 23 de Octubre de 2016 con una temperatura de 33 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.110.

FIGURA 3. 110 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

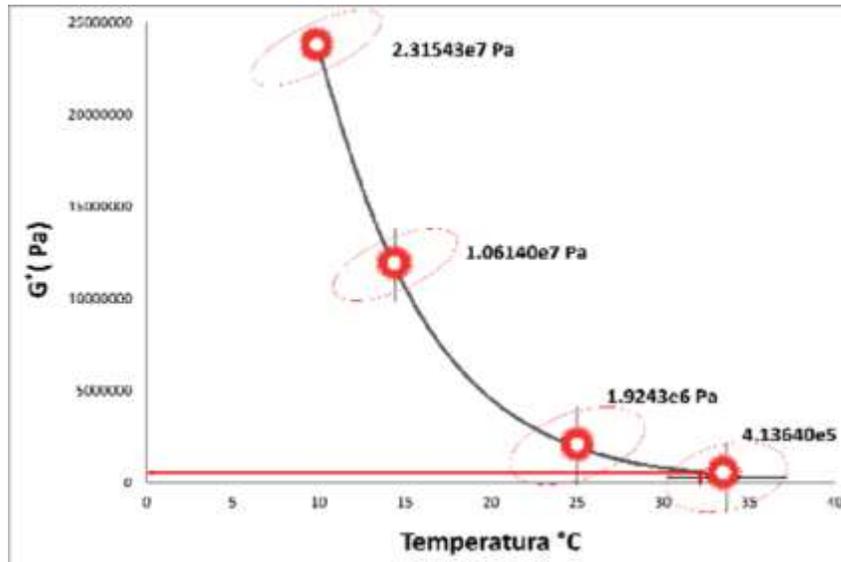
Tabla 93 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
14	21	33	343000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 23 de octubre de 2016 con una temperatura de 33 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.111.

FIGURA 3. 111 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 94 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

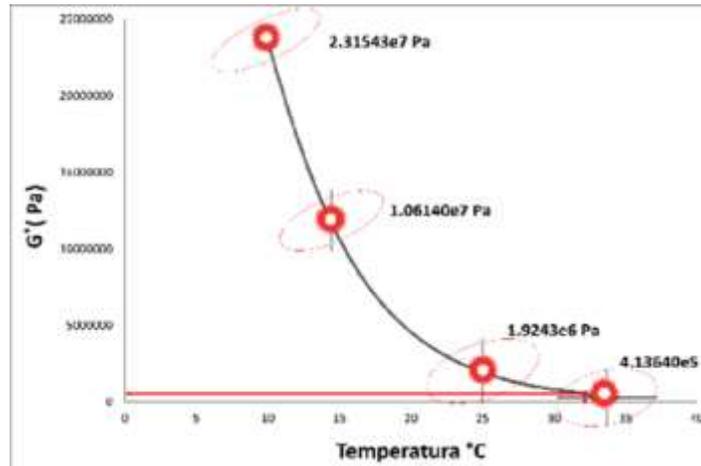
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
14	22	33	343000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 15.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 24 de Octubre de 2016 con una temperatura de 34 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.112.

FIGURA 3. 112 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 95 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

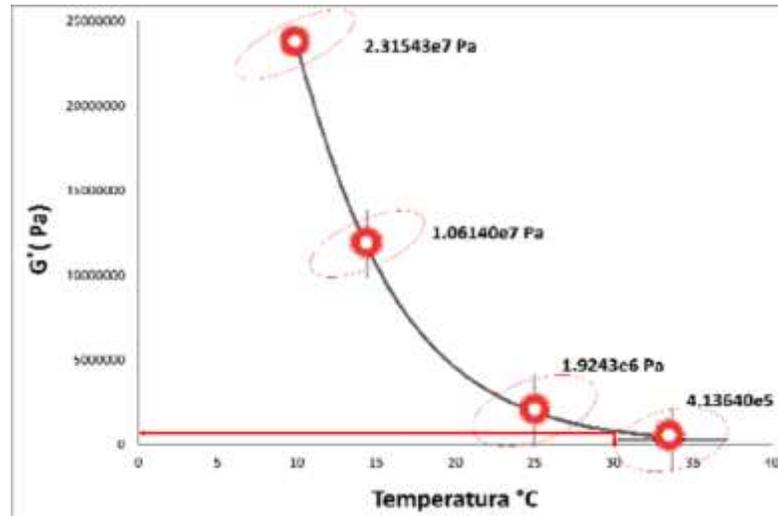
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	G' (Pa)
15	23	34	290000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 16.- en este estudio se realizó siete tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 25 de octubre de 2016 con una temperatura de 30 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.113.

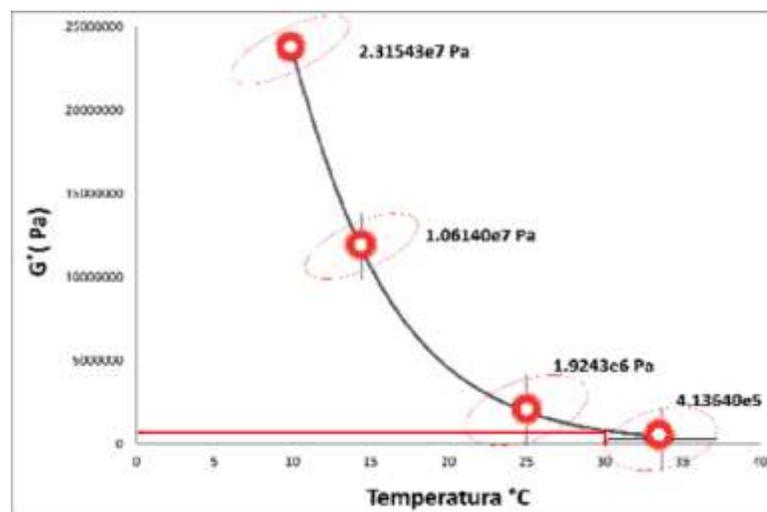
FIGURA 3. 113 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el segundo tramo realizado el día 25 de octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.114.

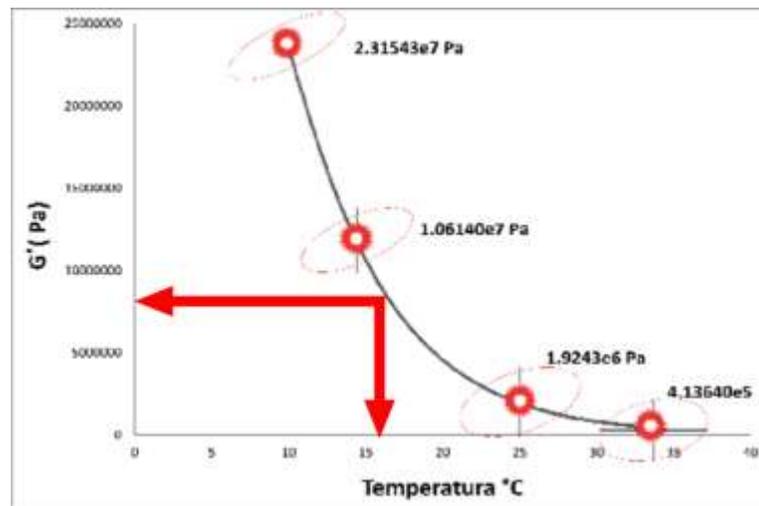
FIGURA 3. 114 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el tercer tramo realizado el día 26 de octubre de 2016 con una temperatura de 16 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.115.

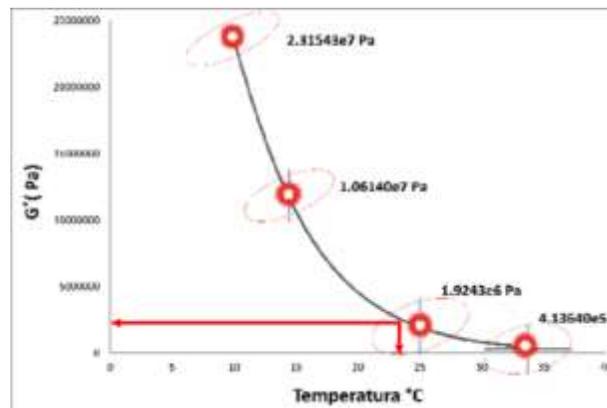
FIGURA 3. 115 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el cuarto tramo realizado el día 27 de octubre de 2016 con una temperatura de 24 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.116.

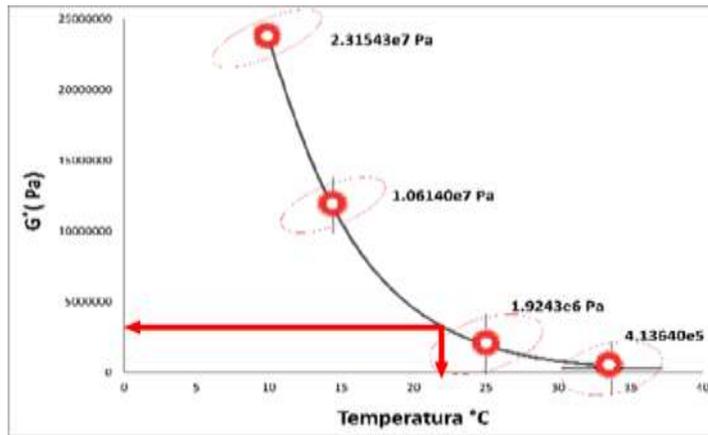
FIGURA 3. 116 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el quinto tramo realizado el día 28 de Octubre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.117.

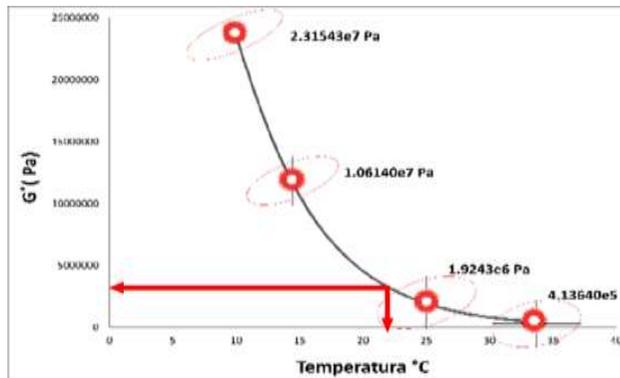
FIGURA 3. 117 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el sexto tramo realizado el día 28 de octubre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.118.

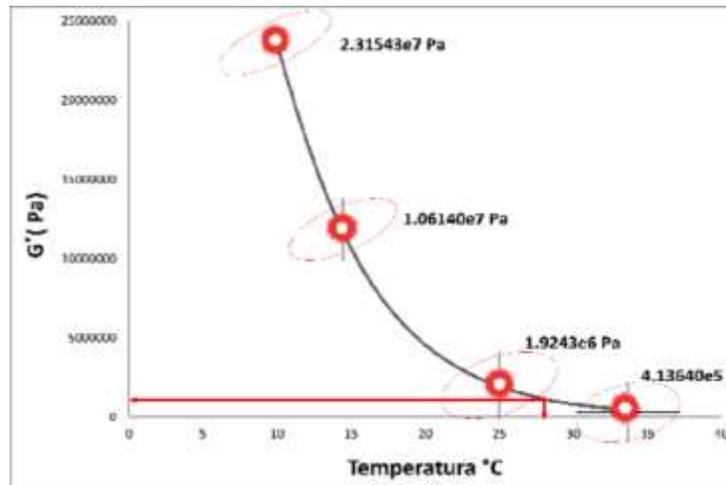
FIGURA 3. 118 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

En el séptimo tramo realizado el día 29 de octubre de 2016 con una temperatura de 28 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.119

FIGURA 3. 119 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 96 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

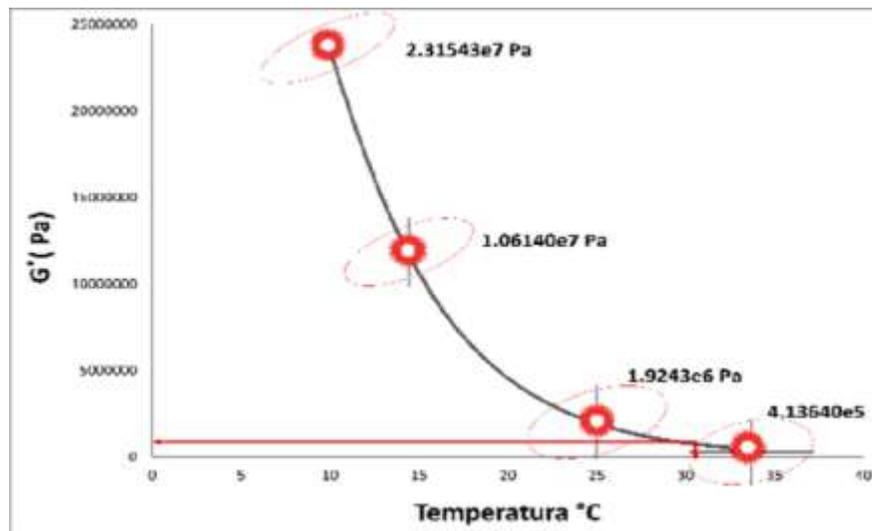
16	24	30	575000
	25	30	575000
	26	16	6400000
	27	24	1600000
	28	23	1900000
	29	23	1900000
	30	28	810000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 17.- A partir de este estudio las se tomara en cuenta la variación que tengan las curvas de Lissajous con estas temperaturas puesto que el diseño asfáltico fue elaborado con un tipo de asfalto diferente al convencional.

En el tramo realizado el día 12 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.120.

FIGURA 3. 120 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 97 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

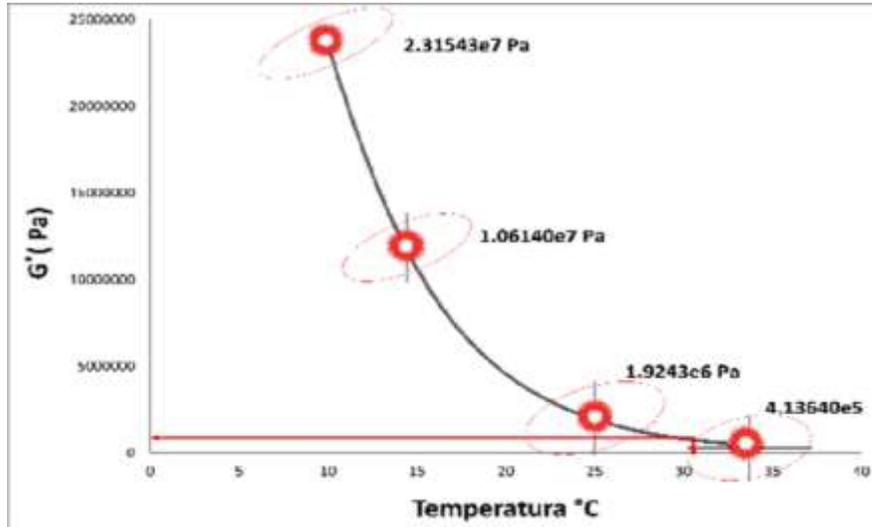
17	31	31	480000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 18.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 13 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.121.

FIGURA 3. 121 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 98 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

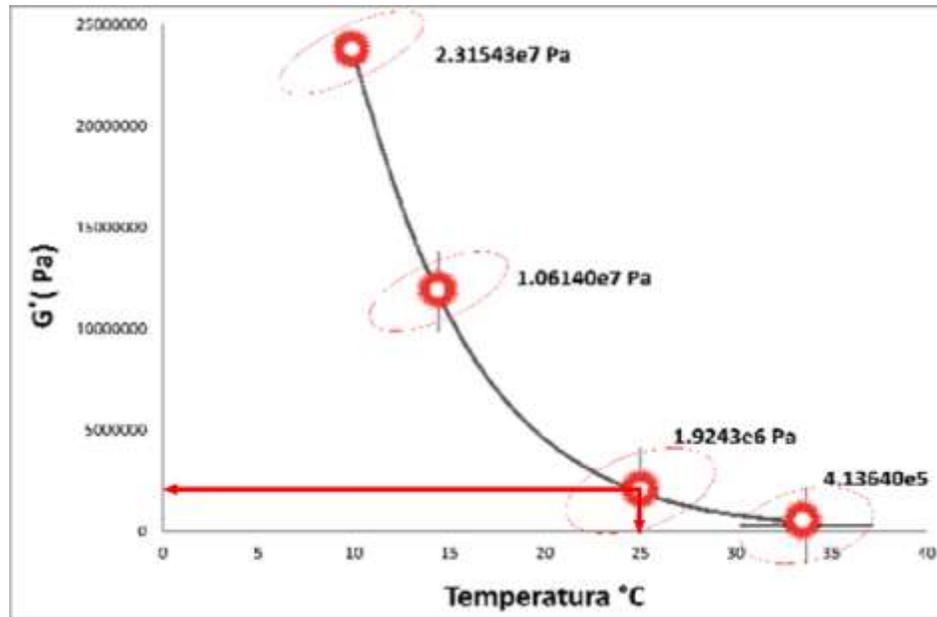
18	32	32	407000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 19.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 14 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.122.

FIGURA 3. 122 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 99 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

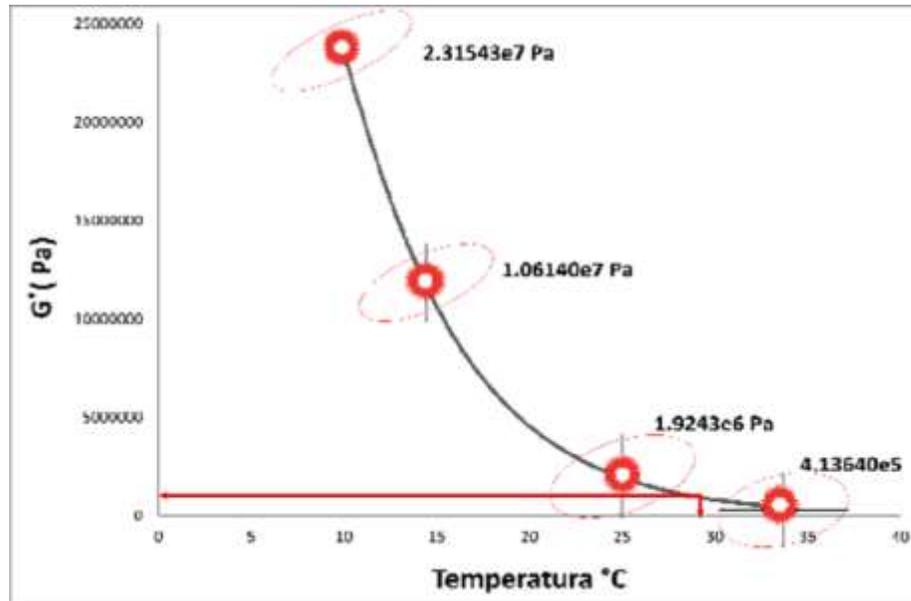
19	33	25	1350000
----	----	----	---------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 20.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 15 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 29 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.123.

FIGURA 3. 123 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 100 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

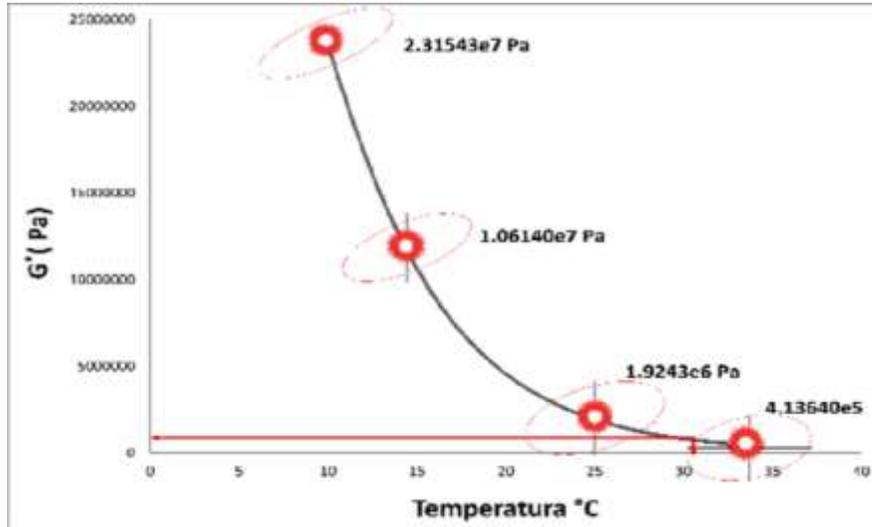
20	34	29	680000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 21.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 16 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.124.

FIGURA 3. 124 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 101 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

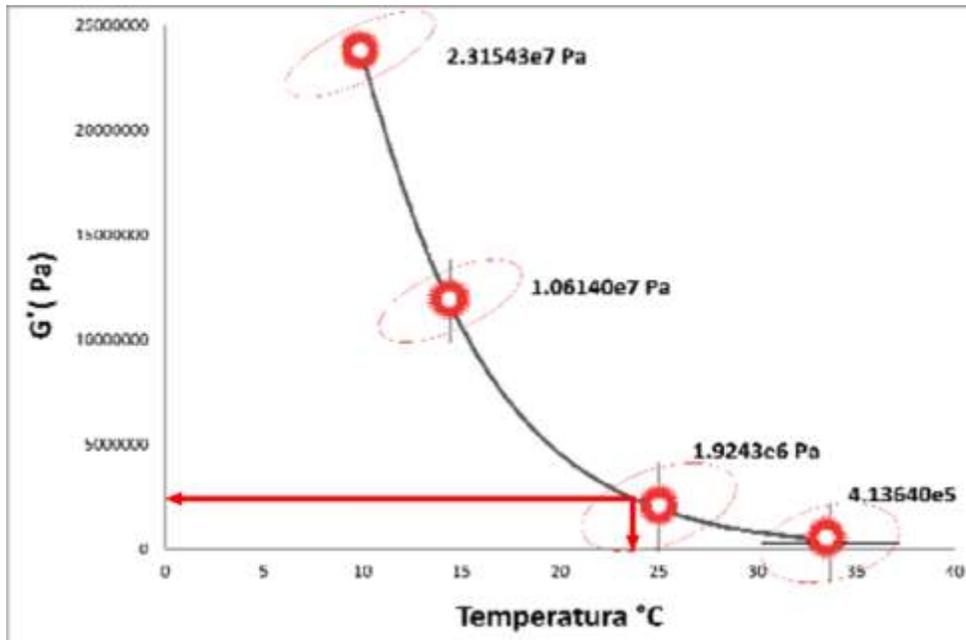
21	35	31	480000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 22.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 19 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 24 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.125.

FIGURA 3. 125 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 102 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

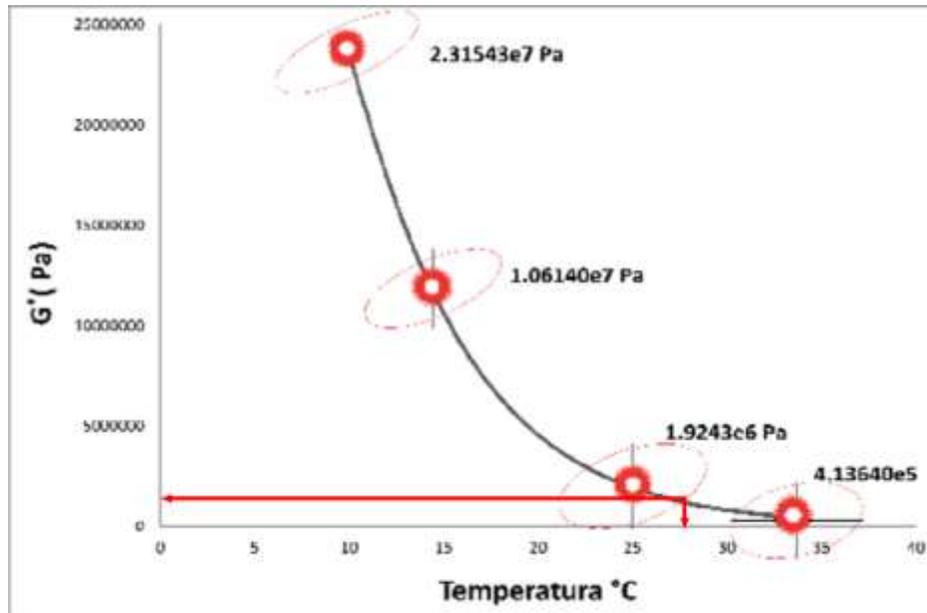
22	36	24	1600000
----	----	----	---------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 23.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 20 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.126.

FIGURA 3. 126 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 103 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

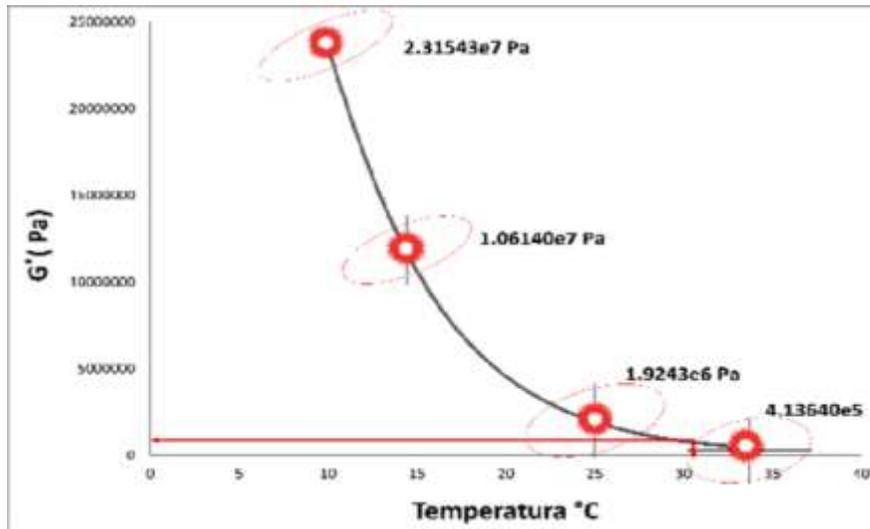
23	37	27	960000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 24.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 21 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.127.

FIGURA 3. 127 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 104 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

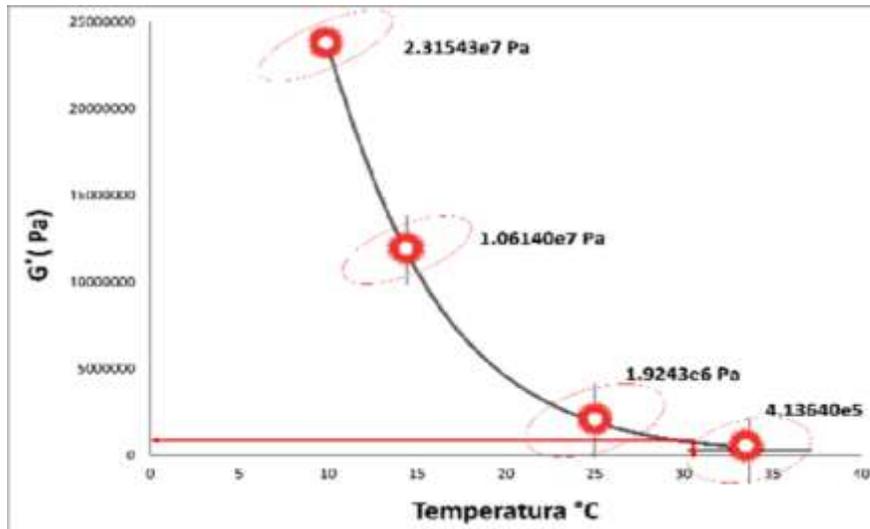
24	38	31	480000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 25.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 22 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.128.

FIGURA 3. 128 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 105 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

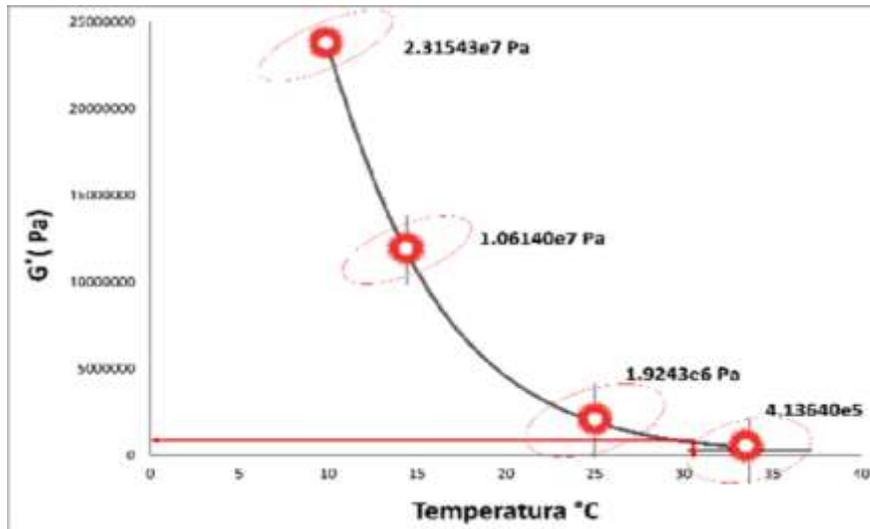
25	39	32	407000
----	----	----	--------

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 26.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 23 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.129.

FIGURA 3. 129 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

El modulo del asfalto es:

Tabla 106 Modulo del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

26	40	32	407000
----	----	----	--------

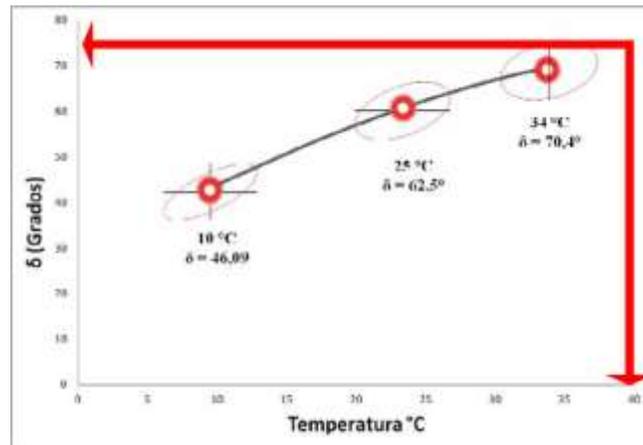
Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.1.- Comparación de las Curvas de Lissajous y el ángulo de fase de los asfaltos.-

Estudio 1.- en este estudio se realizó tres tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 12 de septiembre de 2016 con una temperatura de 40 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el ángulo de fase del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.130.

FIGURA 3. 130 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

El ángulo de asfalto del asfalto es:

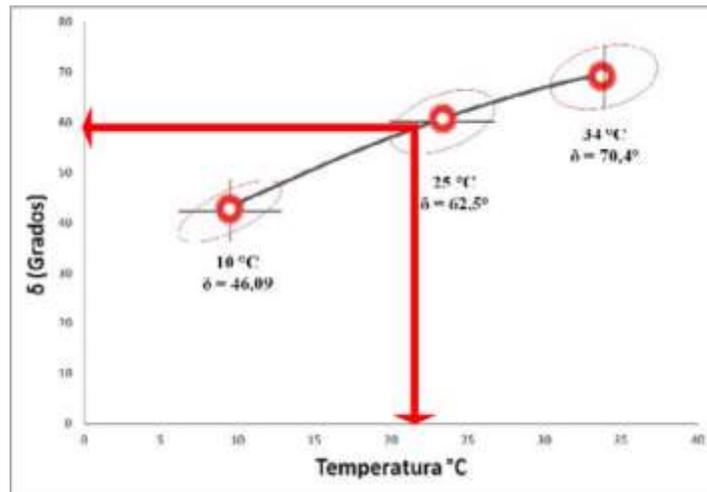
Tabla 107 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
1	1,00	40,00	77

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 13 de septiembre de 2016 con una temperatura de 22 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el ángulo de fase del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.131.

FIGURA 3. 120 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

El ángulo de fase del asfalto es:

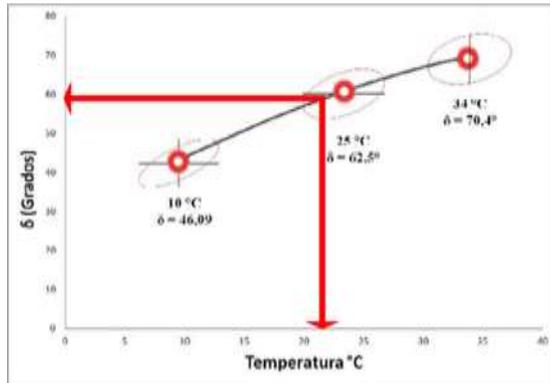
Tabla 108 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
1	2,00	22,00	59

Fuente: Elaboración propia.

En el tercer tramo realizado el día 13 de septiembre de 2016 con una temperatura de 22 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.132.

FIGURA 3. 121 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 109 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

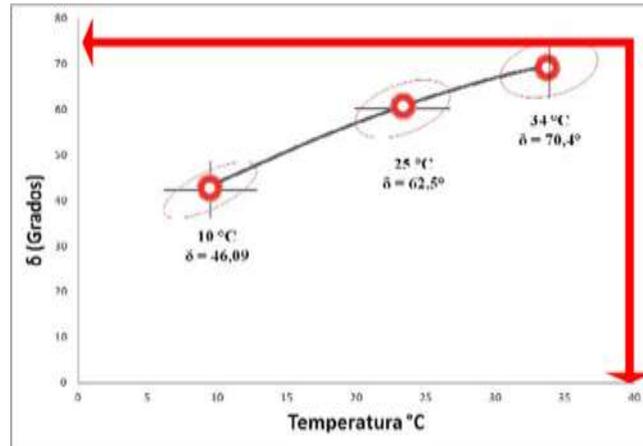
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
1	3	22	2270000

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 2.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 12 de septiembre de 2016 con una temperatura de 40 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.133.

FIGURA 3. 122 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

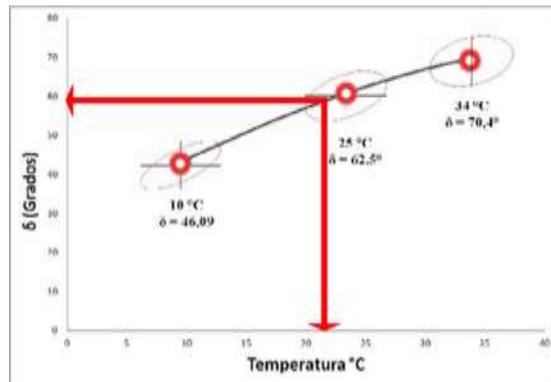
Tabla 110 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	δ (Grados)
2	4,00	40,00	77

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 14 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.134.

FIGURA 3. 123 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 111 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

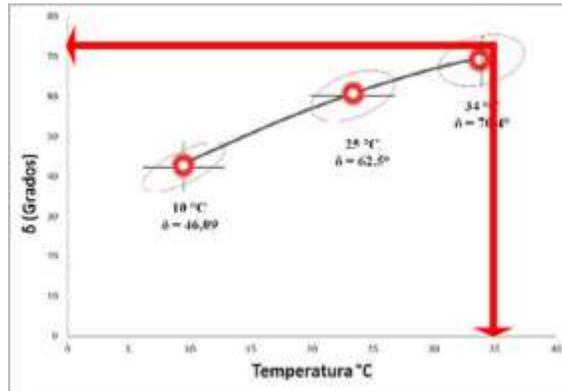
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
2	5,00	23,00	60

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 3.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 17 de septiembre de 2016 con una temperatura de 35 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.135.

FIGURA 3. 124 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

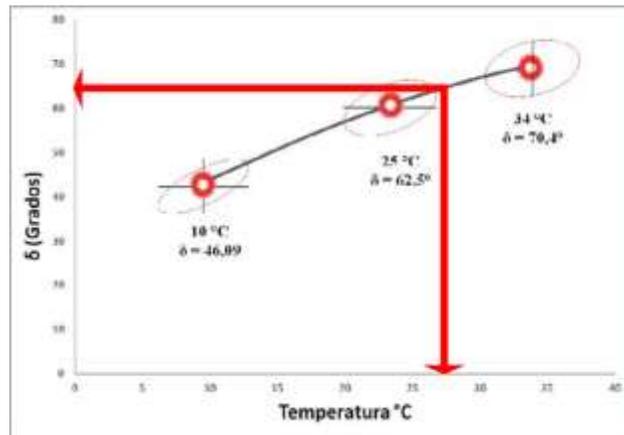
Tabla 112 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	δ (Grados)
3	6,00	35,00	72

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 18 de septiembre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.136.

FIGURA 3. 125 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 113 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

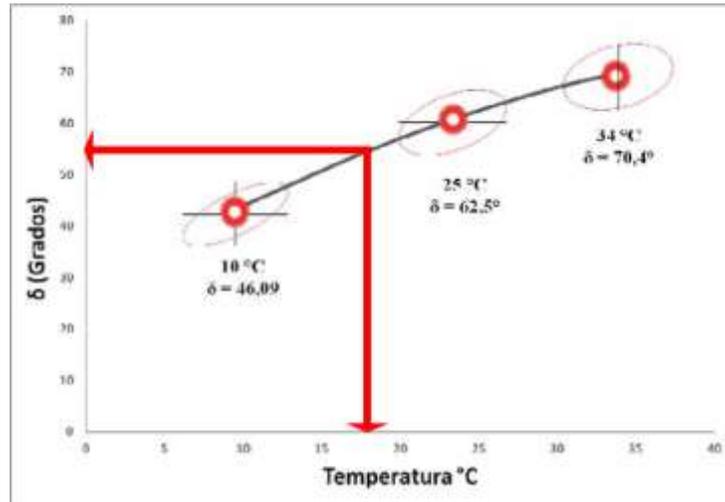
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
3	7,00	27,00	64

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 4.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 3 de Octubre de 2016 con una temperatura de 18 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.137.

FIGURA 3. 126 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 114 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

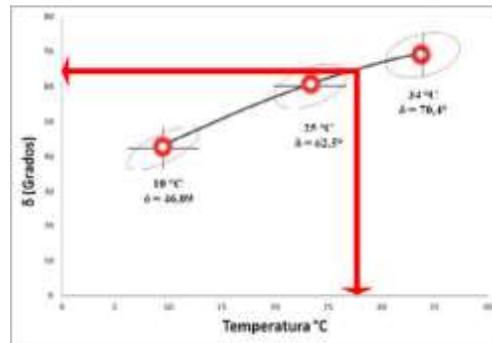
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del dia de asfalto	δ (Grados)
4	8,00	18,00	55

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 5.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 4 de Octubre de 2016 con una temperatura de 28 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.138.

FIGURA 3. 127 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 115 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

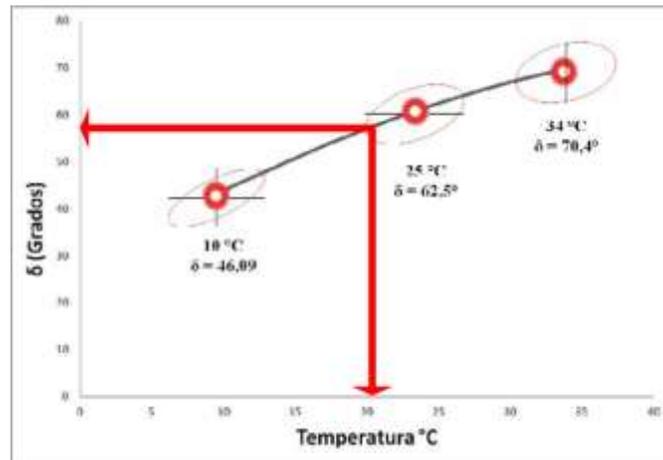
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
5	9,00	28,00	65

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 6.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 5 de Octubre de 2016 con una temperatura de 21 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.139.

FIGURA 3. 128 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 116. Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

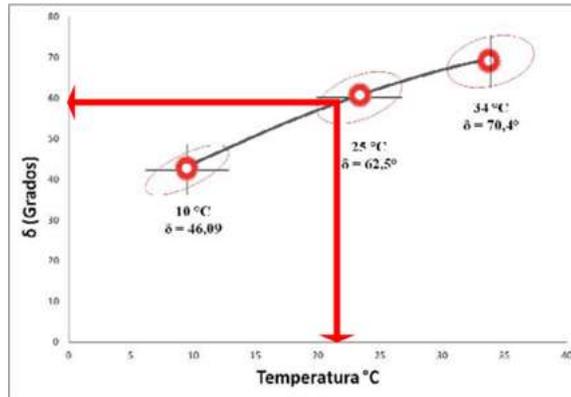
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
6	9,00	28,00	65

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 7.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 6 de Octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.140.

FIGURA 3. 129 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 117 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

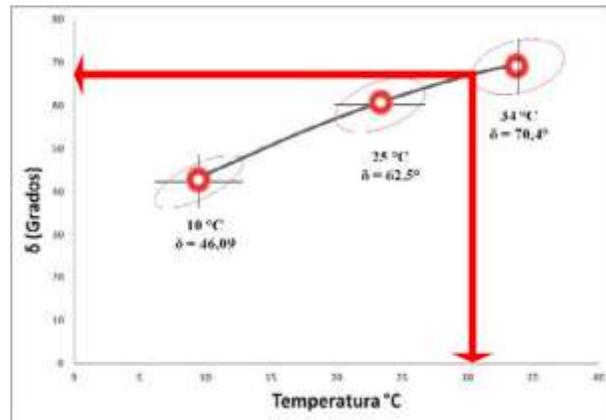
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
7	11,00	25,00	62

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 8.- en este estudio se realizó tres tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 7 de septiembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.141

FIGURA 3. 130 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

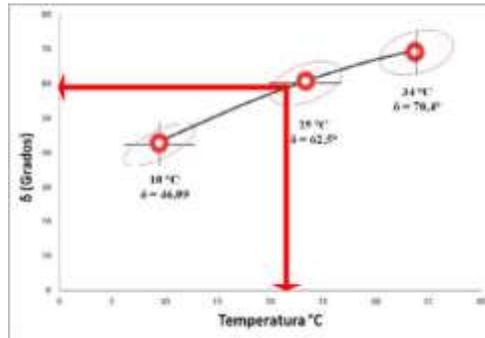
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
8	12,00	31,00	68

Tabla 3.118. Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 8 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.142.

FIGURA 3. 131 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

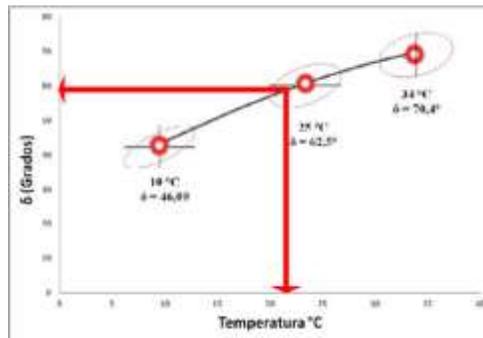
Tabla 119 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
8	13,00	23,00	60

Fuente: Elaboración propia.

En el tercer tramo realizado el día 8 de septiembre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.143.

FIGURA 3. 132 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 120 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

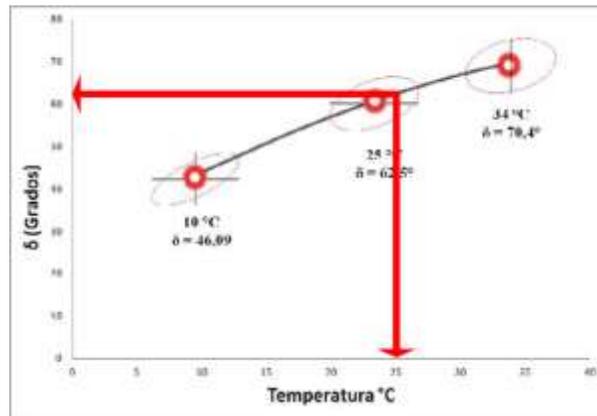
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
8	14,00	23,00	60

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 9.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 9 de Octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.144.

FIGURA 3. 133.- Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 121 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

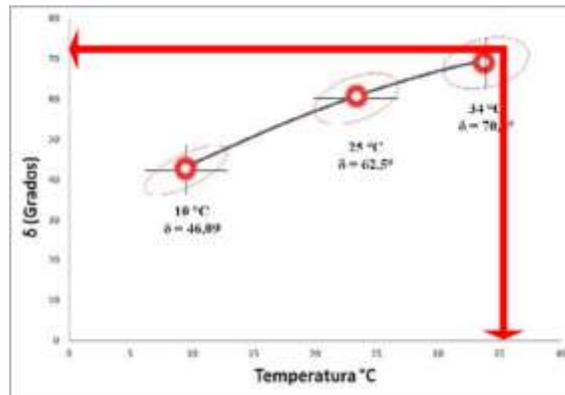
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
9	15,00	25,00	62

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 10.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 18 de Octubre de 2016 con una temperatura de 36 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.145.

FIGURA 3. 134.- Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

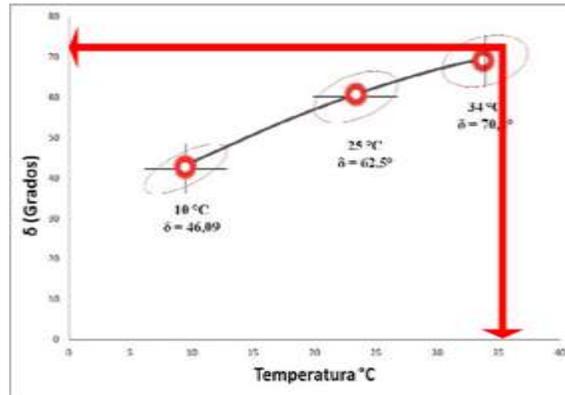
Tabla 122 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
10	16	36	205000

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 18 de octubre de 2016 con una temperatura de 36 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.146.

FIGURA 3. 135 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 123 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

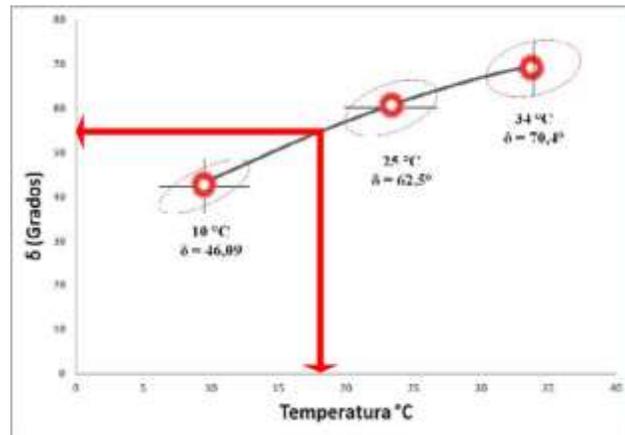
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
10	17,00	36,00	73

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 11.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 20 de Octubre de 2016 con una temperatura de 18 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.147

FIGURA 3. 136 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 124 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

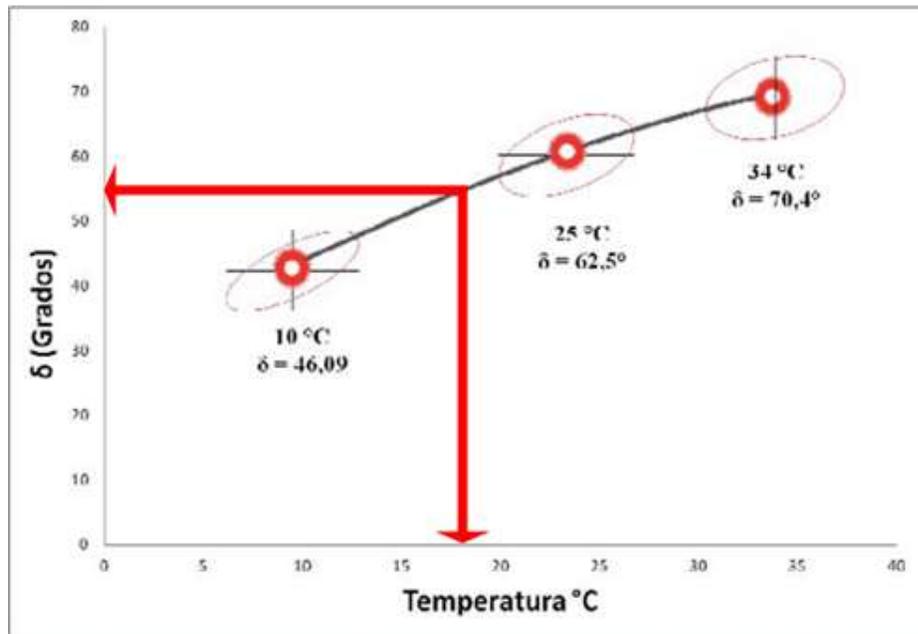
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
11	18,00	18,00	55

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 12.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 21 de Octubre de 2016 con una temperatura de 17 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.148.

FIGURA 3. 137 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 125 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

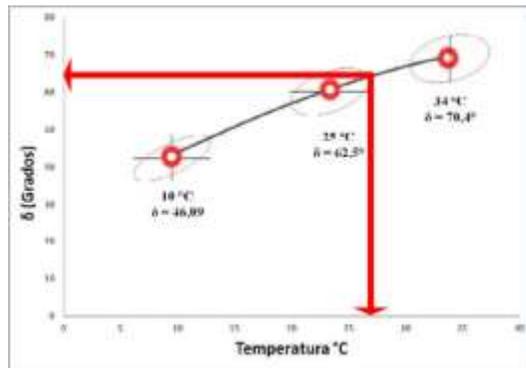
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
12	19,00	17,00	54

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 13.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 22 de Octubre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.149.

FIGURA 3. 138 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 126 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

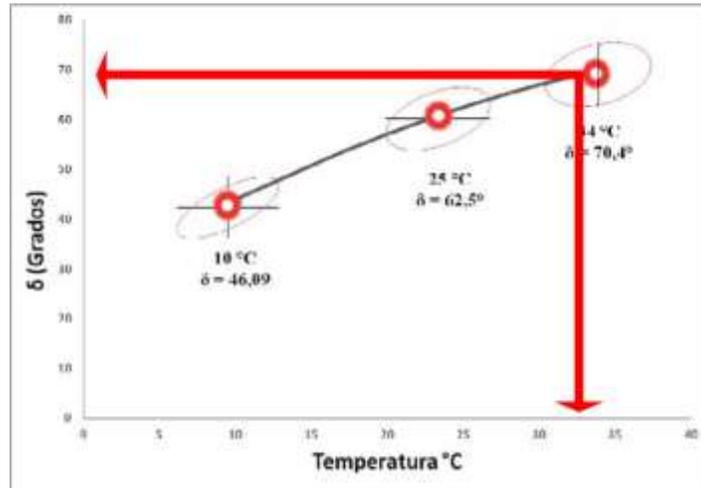
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
13	20,00	27,00	64

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 14.- en este estudio se realizó 2 tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 23 de Octubre de 2016 con una temperatura de 33 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.150.

FIGURA 3. 139 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

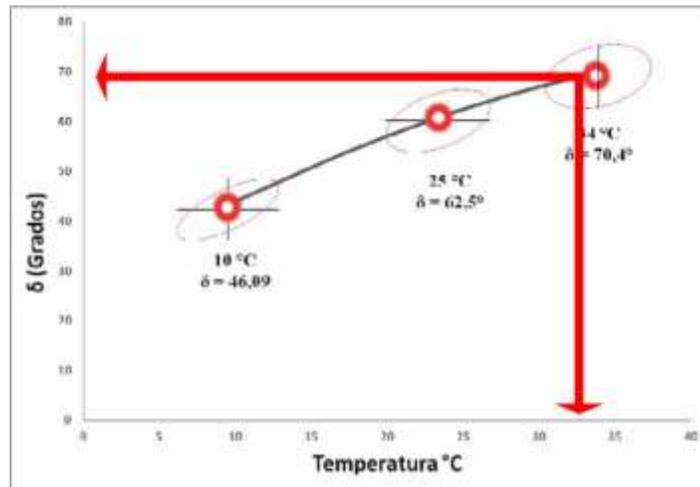
Tabla 127 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
14	21,00	33,00	70

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo tramo realizado el día 23 de octubre de 2016 con una temperatura de 33 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.151.

FIGURA 3. 140 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase del asfalto es:

Tabla 128 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

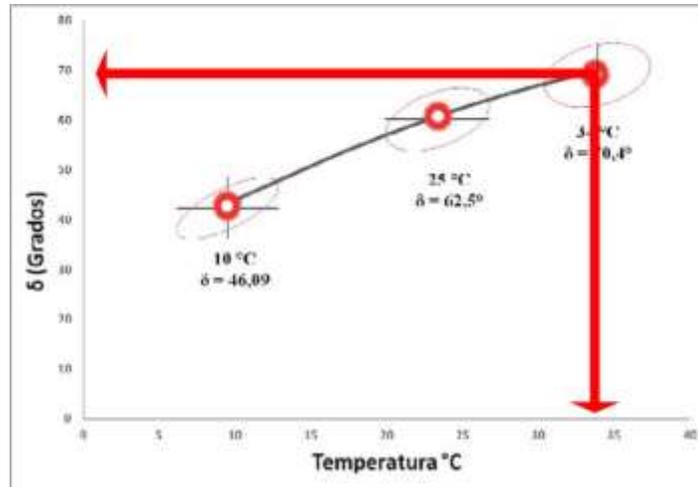
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
14	21,00	33,00	70

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 15.- en este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 24 de Octubre de 2016 con una temperatura de 34 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.152.

FIGURA 3. 141 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 1296 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

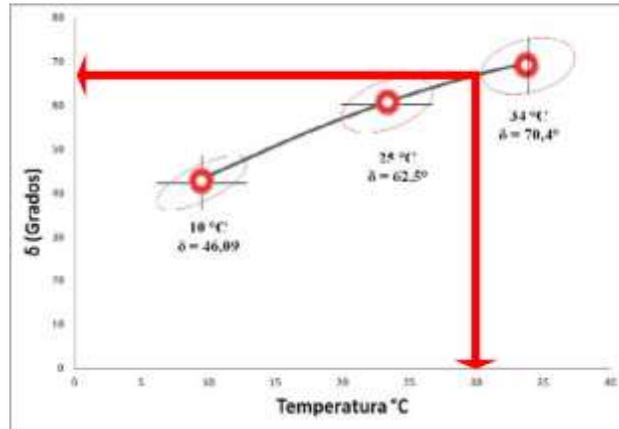
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
15	23,00	34,00	71

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 16.- en este estudio se realizó siete tramos característicos para el diseño de asfalto.

En el primer tramo realizado el día 25 de octubre de 2016 con una temperatura de 30 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.153.

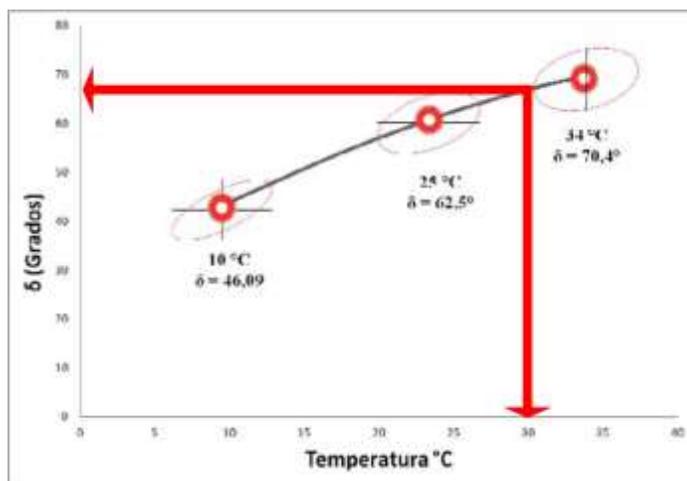
FIGURA 3. 142 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el segundo tramo realizado el día 25 de octubre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.154.

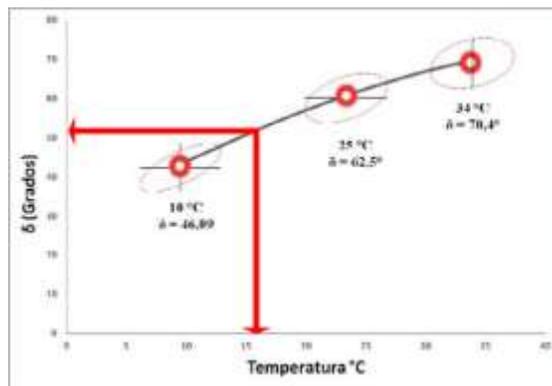
FIGURA 3. 143 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el tercer tramo realizado el día 26 de octubre de 2016 con una temperatura de 16 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.155.

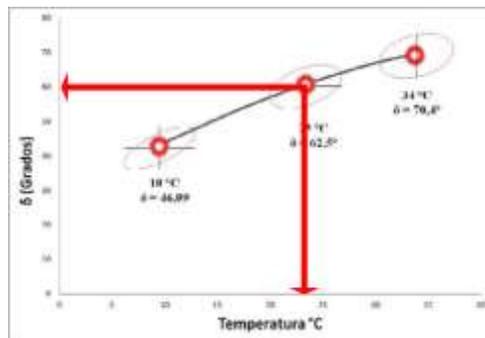
FIGURA 3. 144 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el cuarto tramo realizado el día 27 de octubre de 2016 con una temperatura de 24 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.156.

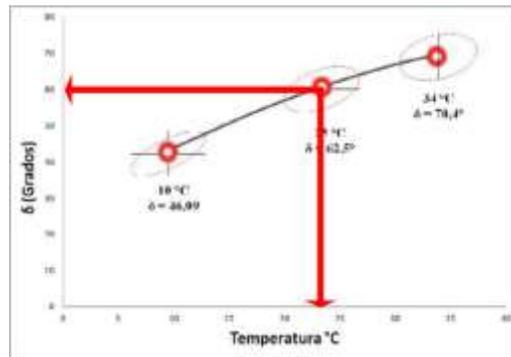
FIGURA 3. 145 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el quinto tramo realizado el día 28 de Octubre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.157.

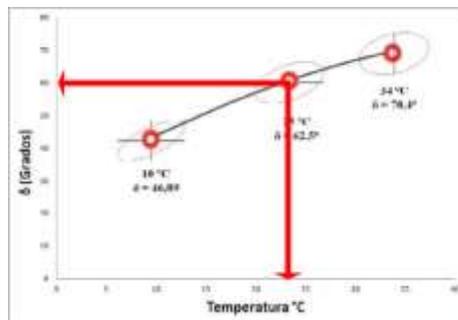
FIGURA 3. 146 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el sexto tramo realizado el día 28 de octubre de 2016 con una temperatura de 23 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.158.

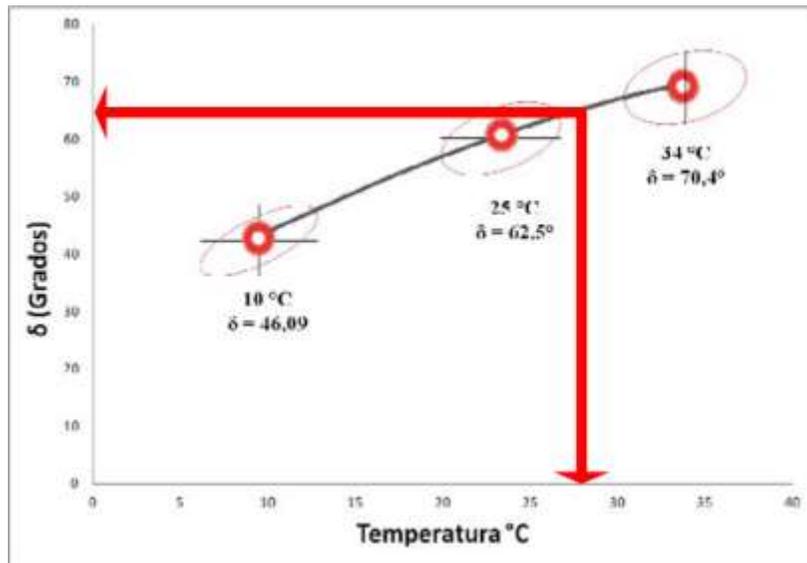
FIGURA 3. 147 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

En el séptimo tramo realizado el día 29 de octubre de 2016 con una temperatura de 28 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.159.

FIGURA 3. 148 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 130 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

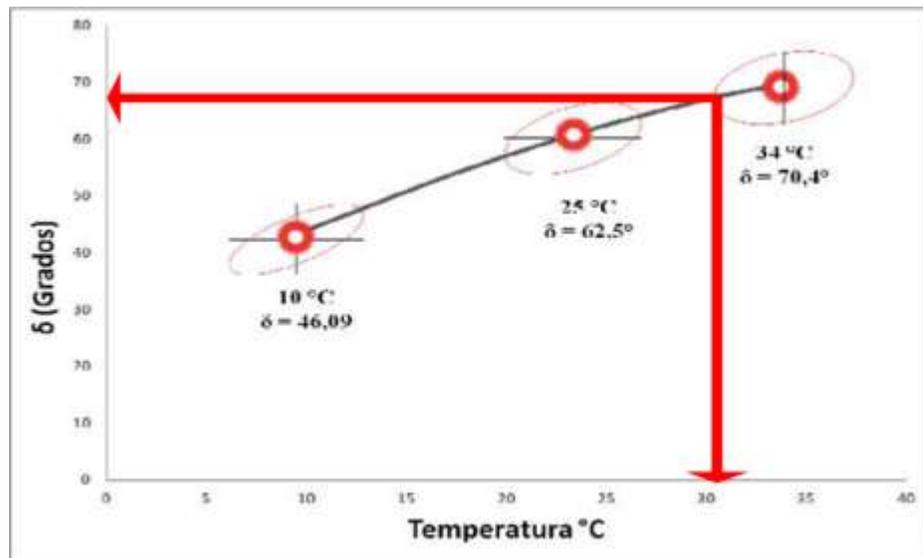
16	24,00	30,00	67
	25,00	30,00	67
	26,00	16,00	53
	27,00	24,00	61
	28,00	23,00	60
	29,00	23,00	60
	30,00	28,00	65

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 17.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 12 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.160.

FIGURA 3. 160Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 131 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

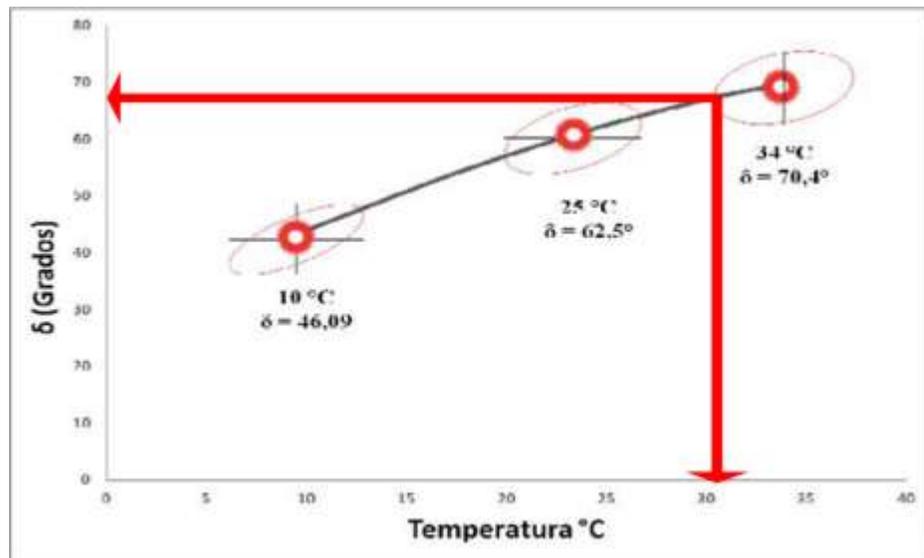
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
17	31	31	68

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 18.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 13 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.161.

FIGURA 3. 161 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 132 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

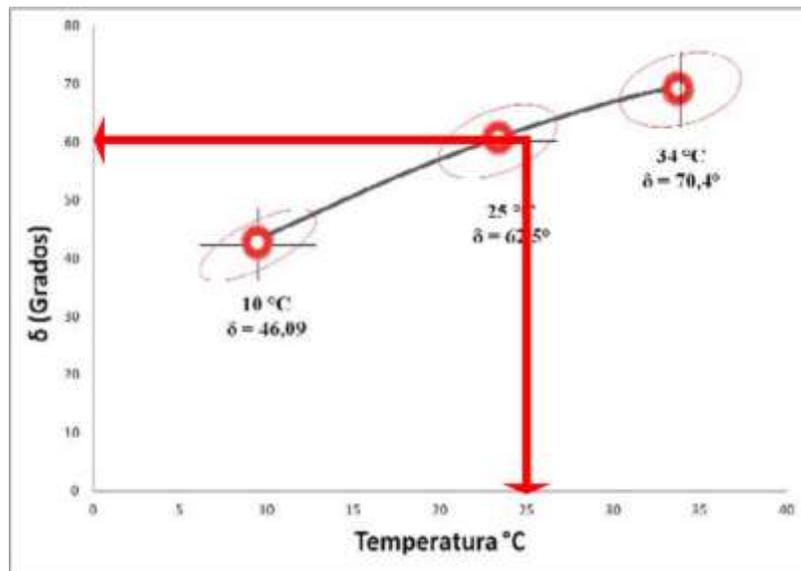
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
18	32	32	69

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 19.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 14 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 25 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.162.

FIGURA 3. 162 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 133 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

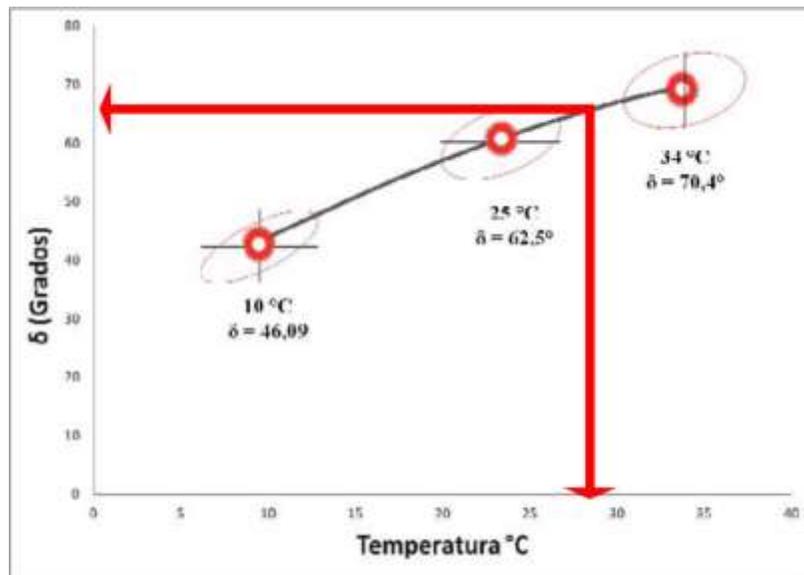
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
19	33	25	62.5

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 20.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 15 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 29 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.163.

FIGURA 3. 163 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 134 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

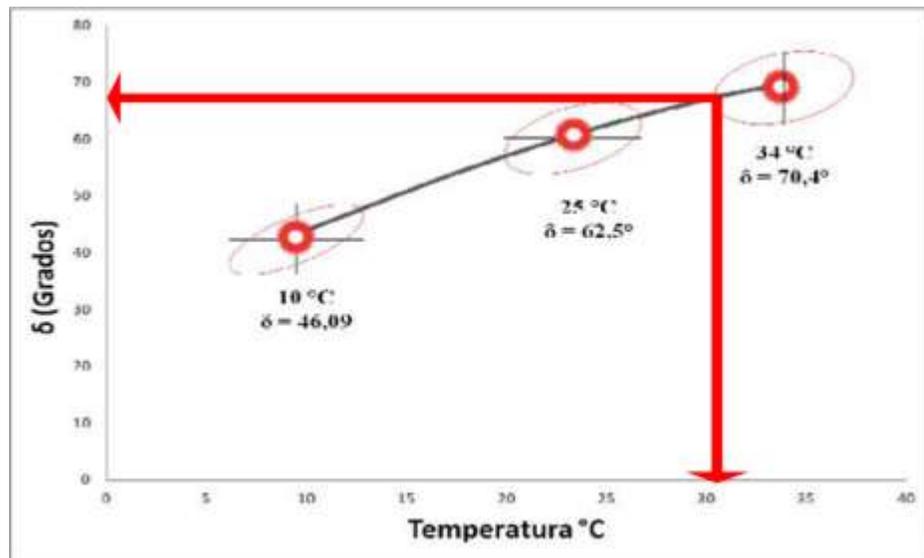
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
20	34	29	66

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 21.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 16 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.164.

FIGURA 3. 164 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 135 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

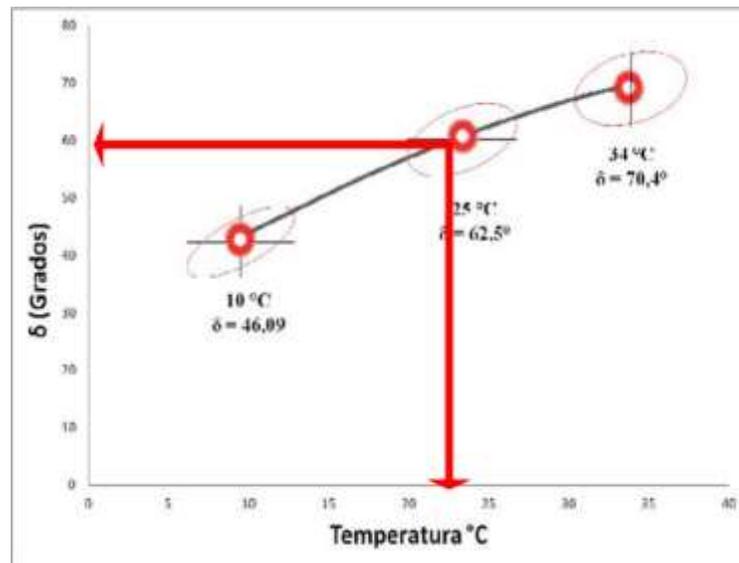
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
21	35	31	68

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 22.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 19 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 24 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.165.

FIGURA 3. 165 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 136 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

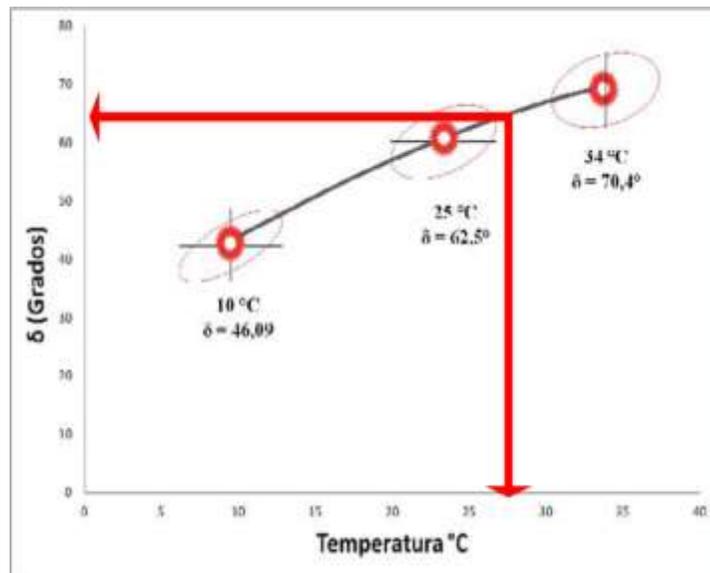
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
22	36	24	61

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 23.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 20 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 27 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.166.

FIGURA 3. 166 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 137 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

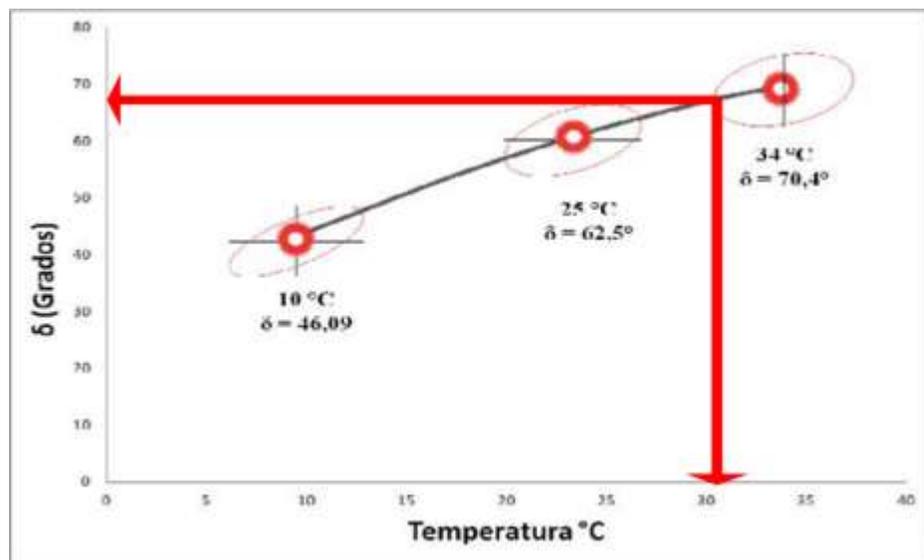
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
23	37	27	64

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 24.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 21 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 31 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.167.

FIGURA 3. 167 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 138 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

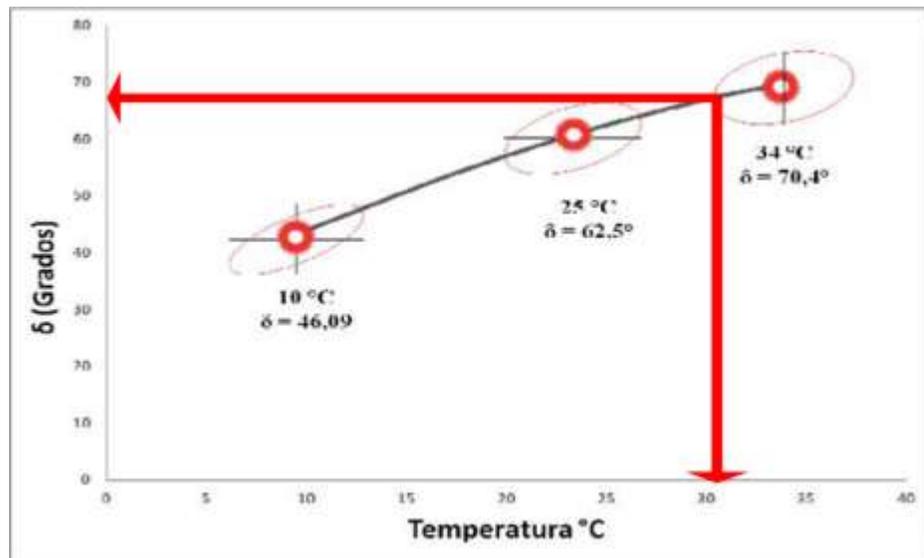
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
24	38	31	68

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 25.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 22 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.168.

FIGURA 3. 168 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 139 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

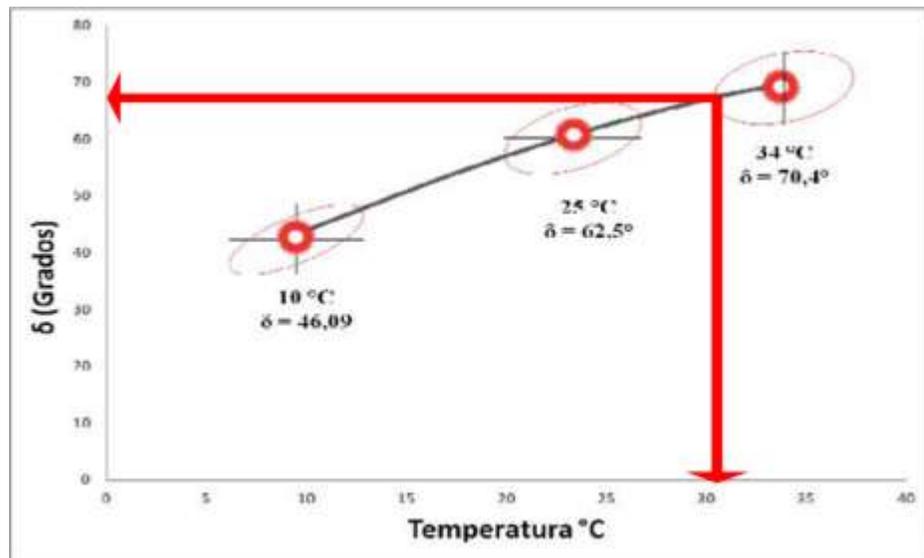
Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
25	39	32	69

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 26.-tramo carretero diseñado con otro tipo de asfalto. En este estudio se realizó 1 tramo característico para el diseño de asfalto.

En el tramo realizado el día 23 de Diciembre de 2016 con una temperatura de 32 °C ambiente a hora del acabado de compactar la mezcla se tiene que el modulo del asfalto determinado en la Curva de Lissajous como se ve en la figura 3.169.

FIGURA 3. 169 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs Angulo de fase de asfalto



Fuente: Elaboración Propia

Angulo de fase de asfalto es:

Tabla 140 Angulo de fase del asfalto respecto a la curva de Lissajous.

Estudio	# DE DATOS	Temperaturas del día de asfalto	δ (Grados)
26	40	32	69

Fuente: Elaboración Propia

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El contenido de parafinas depende de gran manera del crudo de donde fue obtenido el asfalto siendo más comunes las microcristalizadas que las macrocristalizadas.

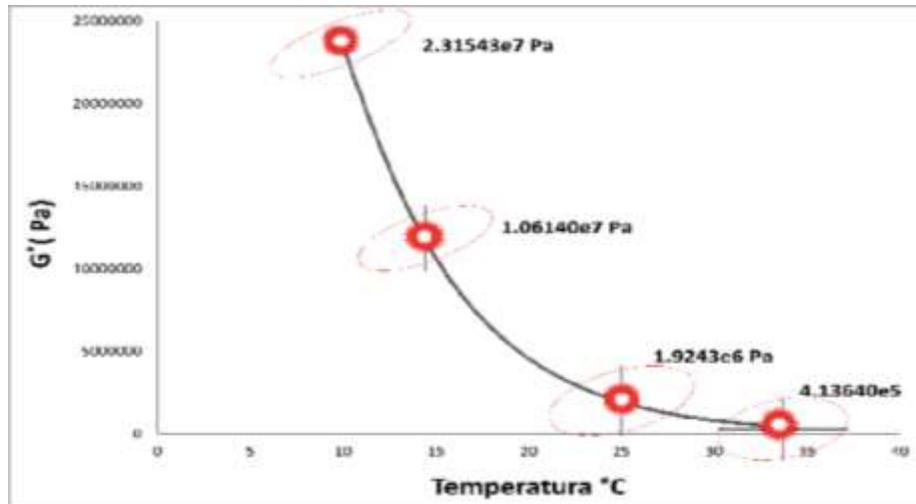
Una variable decisiva en la mezcla asfáltica es la temperatura ya que cuando varía esta propiedad el contenido e influencia de las parafinas no permanecen constantes. Es por eso, que se debe tener en cuenta el cambio de los cristales de acuerdo a la variación de la temperatura en especial en el punto de ablandamiento y cristalización del asfalto.

Esto se pudo apreciar al momento de realizar la compactación, la briqueta que está siendo compactada a 135°C. Una vez realizados los 75 golpes la temperatura disminuya notablemente hasta la temperatura ambiente que en general es 25 ° C. misma que también puede variar hasta los 35 °C. Y entonces esta variación de temperatura provocará la deformación permanente ósea el ahuellamiento.

Entonces para el primer análisis de la investigación se determina el Modulo complejo en relación a las curvas de Lissajous. Primeramente viendo en la figura 3.151 En la comparación de la curva de Lissajous. Relación Modulo complejo del asfalto “G'(Pa) vs Temperatura. Y en la figura 3.151 relación con la gráfica 5 curva “G'(Pa) vs Temperatura ambiente”, curva relación de mi primer grupo de 16 estudios donde la

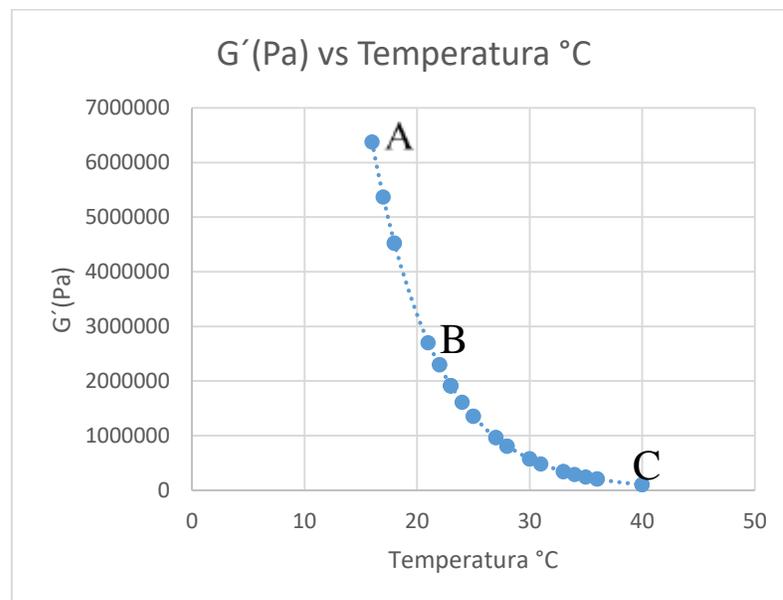
mezcla asfáltica de diseño usa un cemento asfáltico CA 85-100 convencional, mismo que la alcaldía usa en nuestro medio,

FIGURA 3. 170 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G' (Pa)



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 5. CURVA “ G' (Pa) vs Temperatura ambiente”.

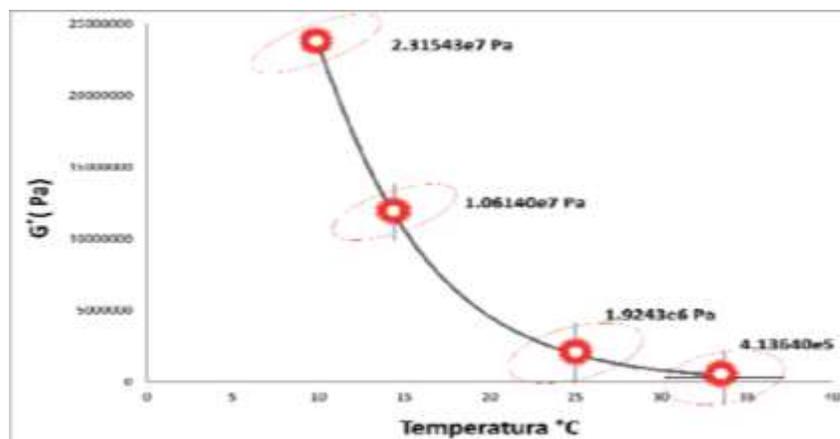


Fuente: Elaboración propia

Se observa como el modulo aumenta conforme disminuye la temperatura y como la forma de la curva inicialmente es un poco lineal desde el punto A hasta el punto B, la curva tiene una decadencia de módulo de asfalto desde una temperatura mínima de 16 °C. Hasta los 21 °C. Y a partir de ahí la el módulo de asfalto disminuye conforme la temperatura aumenta y así la curva tiene una forma de parábola siendo esta curva no lineal, esto provee información sobre la forma que el material disipa energía y como la susceptibilidad del material a está es diferente dependiendo del rango de temperatura a la cual se someta el asfalto, por otro lado las figuras muestran un aumento significativo en los módulos del material y como estos están sujetos a la variación en la composición química del asfalto producto del tratamiento térmico efectuado en ellos.

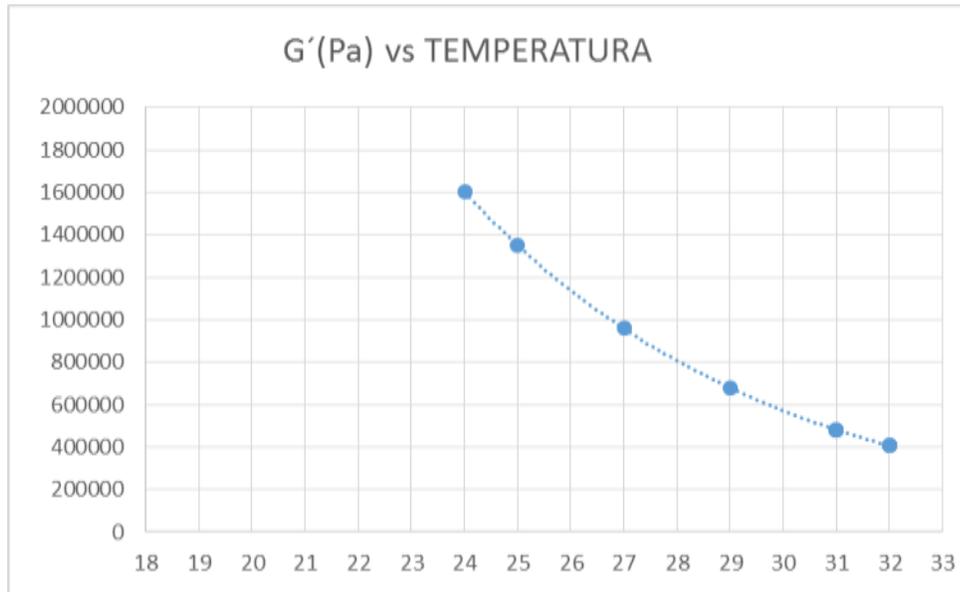
En el segundo análisis de la investigación se determina el Modulo complejo en relación a las curvas de Lissajous. Primeramente viendo en la figura 3.152 En la comparación de la curva de Lissajous. Relación Modulo complejo del asfalto “G'(Pa) vs Temperatura. Y en la gráfica 6 curva “G'(Pa) vs Temperatura ambiente”, curva relación de mi segundo grupo de 10 estudios donde la mezcla asfáltica de diseño usa un cemento asfaltico B. 60-85 E. mismo que es usado en casos especiales por la institución pública SEDECA TARIJA.

FIGURA 3. 171 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs G'(Pa)



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 6. CURVA “G’ (Pa) vs Temperatura ambiente”.

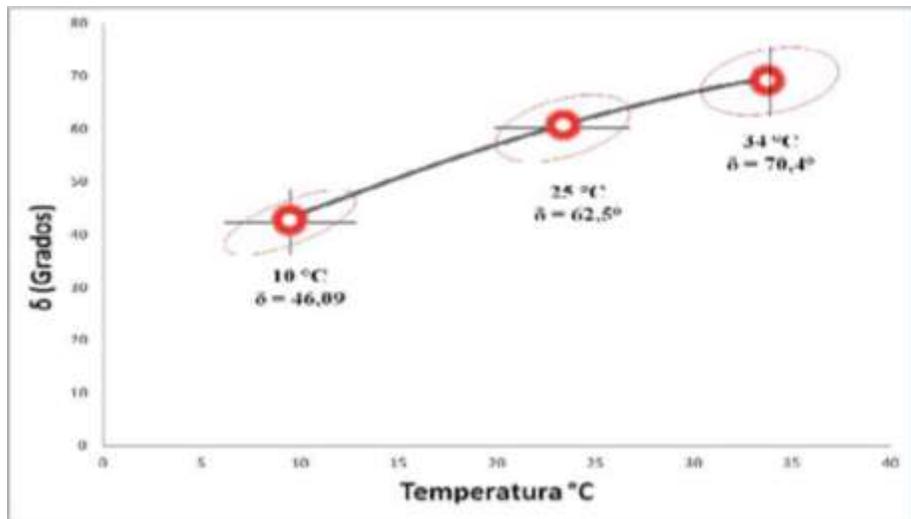


Fuente: Elaboración propia

Se observa como el modulo aumenta conforme disminuye la temperatura y como la forma de la curva no es lineal, esto facilita gestionar sobre la forma que el material disipa energía y como la susceptibilidad del material a esta es diferente dependiendo del rango de temperatura a la cual se someta el asfalto.

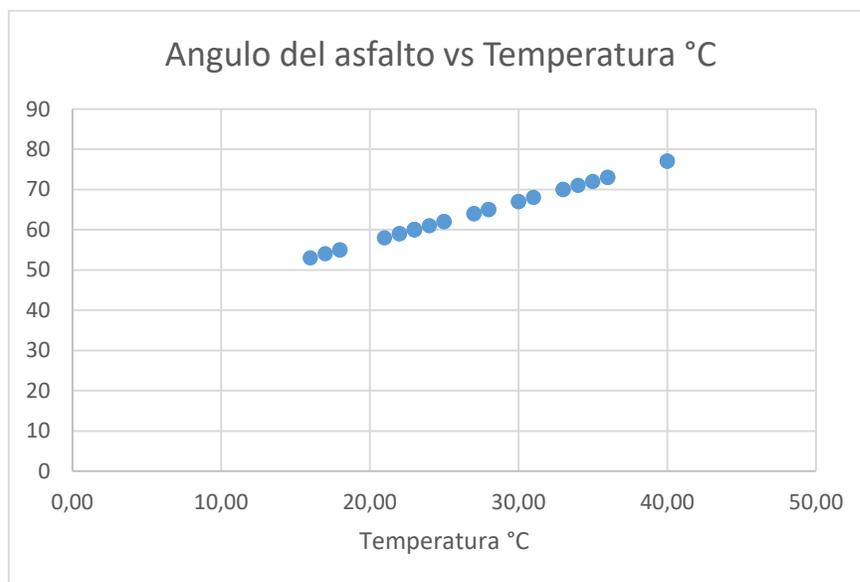
El esfuerzo y la deformación varían armónicamente con el tiempo, por tanto cuando el material se somete a esfuerzo su respuesta se traduce en deformación. El ángulo de fase y la amplitud del radio de esfuerzo en relación a la deformación dependen de las propiedades de los materiales y aunque varíen con la frecuencia. Aportan información sobre las características del material.

FIGURA 3. 172 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs δ (Grados) Angulo de fase del asfalto original.



Fuente: Elaboración Propia

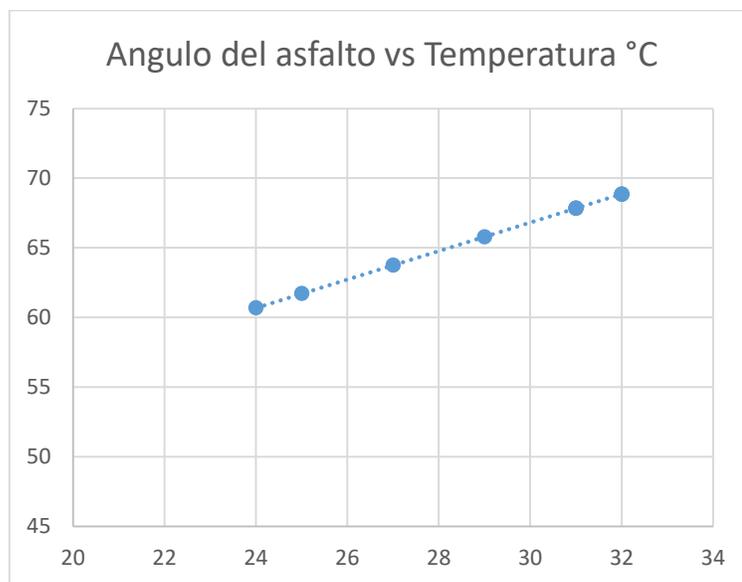
GRAFICA 7. CURVA “ δ (Grados) vs Temperatura ambiente”. CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia

Para el siguiente análisis de la comparación entre la figura 153 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs δ (Grados) Angulo de fase del asfalto original. Y la gráfica 7 CURVA “ δ (Grados) vs Temperatura ambiente”. CA 85-100. La curva de la gráfica es lineal, entonces el ángulo de fase δ (Grados) según las Curvas de Lissajous tendrá valores más altos ante elevadas temperaturas, si a 16 °C ángulo de fase es 53 δ (Grados) y a 40 °C. Su ángulo de fase es 70 δ (Grados). definiendo así a la susceptibilidad de fatiga mayor en altas temperaturas.

GRAFICA 8. CURVA “ δ (Grados) vs Temperatura ambiente”. B 60-85 E



Fuente: Elaboración propia

Para el siguiente análisis de la comparación entre la figura 153 Curvas de Lissajous. Relación Temperatura vs δ (Grados) Angulo de fase del asfalto original. Y la gráfica 8 CURVA “ δ (Grados) vs Temperatura ambiente”. CA B 60-85 E. La curva de la gráfica es lineal, entonces el ángulo de fase δ (Grados) según las Curvas de Lissajous tendrá valores más altos ante elevadas temperaturas, si a 24 °C ángulo de fase es

61 δ (Grados) y a 32 °C. Su ángulo de fase es 69 δ (Grados). definiendo así a la susceptibilidad de fatiga mayor en altas temperaturas.

En relación al asfalto es notable la elasticidad en el que el material mantiene en su estructura, esta elasticidad es evidente en todo el intervalo de medición y la temperatura en donde $G'' > G'$ supera los 27,8° c con lo que el material se fatiga a altas temperaturas, a su vez se puede notar que usando un material asfáltico con polímero, se garantiza un mayor rendimiento y mejor durabilidad en los servicios de pavimentación y tras los barridos de temperaturas a la que el asfalto empieza su etapa de secado una vez colocado las mezclas en las calles y compactado respectivamente a sus especificaciones características por norma, al tener elevadas temperaturas en nuestro medio y así también bajas temperatura, tras el complejo del material (G') y el ángulo de fase (δ), estas propiedades fueron comparadas usando la temperatura de dial de pavimento usando las curvas de Lissajous se obtuvo la situación a la que el asfalto absorbe o disipa la energía con lo cual se explica la capacidad del asfalto a la deformación a la fatiga, tomando en cuenta los dos tipos de diseños asfálticos q se realizó en el proyecto.

Para poder obtener una temperatura se referencia para las relaciones $G'' > G'$ es necesario tener un historial importante de mediciones realizadas, en esta investigación, se desarrolló un aporte para los 16 estudios realizados en los últimos 3 meses por la entidad encargada al desarrollo vial de nuestra ciudad, que en nuestro caso es la Alcaldía municipal.

Los datos característicos de las calles o avenidas pavimentadas realizadas por la alcaldía en nuestra ciudad son.

Tabla 141 Características de los 16 estudios realizados por la alcaldía en Tarija.

N° ESTUDIO	NOMBRE	BARRIO	DISTRITO	FECHA DE REALIZACION	AREA DE ASFALTADO	TEMPERATURA °C.
1	C/ MARIO ESTENSORO VASQUEZ	B/ MORROS BLANCOS	10	DE SEPTIEMBRE DE	2637 m ²	40, 22 y 22
2	C/ MARIA LAURA JUSTINIANO	B/ AEROPUERTO Y MORROS BLANCOS	10	y 14 DE SEPTIEMBRE	2702 m ²	40 y 23
3	Av/ CAÑADA	B/ PANAMERICANO Y LA UNION	6	Y 18 DE SEPTIEMBRE	2584 m ²	35 y 27
4	C/ HEROES DEL CHACO	B/ MORROS BLANCOS	10	3 DE OCTUBRE	1600 m ²	18
5	C/ MARIA ROMERO DEL CARPIO	B/ MORROS BLANCOS	10	4 DE OCTUBRE	2280 m ²	28
6	C/ 25 DE JULIO	B/ MORROS BLANCOS	10	5 DE OCTUBRE	1008 m ²	21
7	Av/ OCTAVIO CAMPERO ECHAZU	B/ MORROS BLANCOS	10	6 DE OCTUBRE	889 m ²	25
8	Av/ TOMAS O'CONNOR DARLACH	B/ MORROS BLANCOS	10	7 Y 8 DE OCTUBRE	4171 m ²	31, 23 y 23
9	Av/ 6 DE AGOSTOS	B/ TABLADITA I	13	9 DE OCTUBRE	2280 m ²	25
10	C/ CENTRO AMERICA	B/ LIBERTAD Y PANAMERICANO	6	8 Y 19 DE OCTUBRE	1680 m ²	36 y 36
11	C/ JAZMIN	B/ LA UNION	6	20 DE OCTUBRE	1209 m ²	18
12	C. LAS PALMERAS	B/ LA UNION	6	21 DE OCTUBRE	990 m ²	17
13	C/ EL PARAISO	B/ LA UNION	6	22 DE OCTUBRE	900 m ²	27
14	Av/ PRINCIPAL	B/ LA UNION	6	23 DE OCTUBRE	2464 m ²	33 y 33
15	C/ OSCAR MONTES B.	B/ PANAMERICANO	6	24 DE OCTUBRE	770 m ²	34
16	AV/ GRAN CHACO	B/ RO ANTONIO FLORES Y NARCISO CA	9	27, 28 Y 29 DE OCTUBRE	10150 m ²	30, 30, 16, 24, 23, 23 y 28

Como se puede ver en la caracterización de estos 16 estudios se pudo investigar el nombre de las calles, el barrio, distrito y ubicación, también de cuantos tramos creados se diseñó las carpetas asfálticas, elaborándose en diferentes fechas, como también a diferentes temperaturas.

También Se desarrolló un aporte de 10 estudios realizados en el Laboratorio de sedeca para la mejora de la investigación en estos diez estudios se diseñó las mezclas asfálticas con cemento asfaltico Betuflex 60-85 E, un cemento asfaltico con polímero SBS de industria Brasileira y utilizada por la entidad ejecutora de obras viales SEDECA-TARIJA.

Tabla 142 Características de los 10 estudios realizados por la alcaldía en Tarija.

Nº ESTUDIO	PROYECTO	UTILIZACION	ELABORACION	FECHA DE REALIZACION	TEMPERATURA °C.
17	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	12 DE DICIEMBRE DE 2016	31
18	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	13 DE DICIEMBRE DE 2016	32
19	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	14 DE DICIEMBRE DE 2016	25
20	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	15 DE DICIEMBRE DE 2016	29
21	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	16 DE DICIEMBRE DE 2016	31
22	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	19 DE DICIEMBRE DE 2016	24
23	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	20 DE DICIEMBRE DE 2016	27
24	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	21 DE DICIEMBRE DE 2016	31
25	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	22 DE DICIEMBRE DE 2016	32
26	CONSTRUCCIÓN DE LA CARRTERA UYUNI-TUPIZA	CARPETA ASFALTICA	LABORATORIO DE SEDECA	23 DE DICIEMBRE DE 2016	32

En este aporte para la realización de diez estudios solo se pudo diferenciar su elaboración de mezclas asfálticas con el diferente tipo de asfáltico en diferentes fechas, obteniendo así también la temperatura a la que la mezcla está sometida en su diseño.

Para la realización de la investigación diseñada con material granular usado en el diseño de la Alcaldía para sus calles, se pudo extraer el mismo de la fábrica la Pintada y a la vez se evidenció que el material en su totalidad es extraído en diferentes zonas de Tarija por una empresa, contratada anualmente para la provisión del material granular siendo estos agregados grueso 3/4, agregado fino 3/8 y arena.

Una vez extraído el material desde la fábrica la Pintada, se realizó la caracterización del agregado pétreo que se usará en las mezclas asfálticas en el laboratorio del Sedeca y así se obtuvo la siguiente tabla de caracterización del agregado.

Tabla 143 Características del agregado de la alcaldía en Tarija.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO		
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINAL	2.711	gr
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	2.652	gr
DESGASTE DE LOS ANGELES GRAVA	21,98	%
DESGASTE DE LOS ANGELES GRAVILLA	24,24	%
CARAS FRACTURADAS	95.6	>75
EQUIVALENTE ARENA	52,3	>45
DURABILIDAD AGREGADO GRUESO	1.31	%
DURABILIDAD AGREGADO FINO	0.68	%
LAMINARIDAD	7.68	%
CHATAS Y ALARGADAS	0.76 Y 0.92	%
LIMITES		
Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de
14,3	N.P.	0
CLASIFICACIÓN AASHTO M 145	AASHTO	A - 1a (0)

También se realizó la caracterización del cemento asfáltico usado por la alcaldía para la mezcla asfáltica echada en las carpetas asfálticas en los 16 estudios, objetos de investigación para esta investigación.

Tabla 144 Características del asfalto CA 85-100 Convencional

Caracterización del asfalto CA 85-100 convencional						
TIPO DE ENSAYO	Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Viscosidad Saybolt	Pérdida de masa	Punto de Ablandamiento
Unidad	gr/cm ³	°C	mm.	Seg.	%	°C
1	1,009	263	94	155	0.17	45

También se realizó la caracterización del cemento asfáltico usado por la alcaldía para la mezcla asfáltica echada en las carpetas asfálticas en los 16 estudios, objetos de investigación para esta investigación.

Tabla 145 Características del asfalto B 60-85 E

Caracterización del asfalto BETUFLEX 60-85 E					
TIPO DE ENSAYO	Peso Especifico	Punto Inflamación	Penetración	Recuperación Elástica	Punto de Ablandamiento
Unidad	gr/cm ³	°C	mm.	%	°C
1	1,006	305	53.7	2.7	1.3

En la etapa de inquisición de la dosificación o porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica a realizarse en las calles, se prevaleció que la entidad pública no portaba dicha información, y a su vez se realizó la determinación de esta con los

siguientes valores con una preparación de mezcla 10000 gr, en grava 20%, gravilla 28% y arena 52%, a partir de estos con porcentajes de asfalto variables de 4.3%, 4.8%, 5.3%, 5.8%, 6.3% se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto para realizar las mezclas asfálticas en campo es de 6.13%. Y el porcentaje óptimo usando el cemento asfáltico Betuflex 60-85 e, se pudo obtener un porcentaje óptimo de 5,83%.

3.7 PLANTEAMIENTO DE ACCIONES EN LA MEZCLA EXISTENTE

Tras un estudio peculiar de caracterización de los materiales para la primera mezcla asfáltica, como ser el asfalto CA 85-100, el agregado grueso y el agregado fino, se plantea una mejor relación al momento de la dosificación con un porcentaje óptimo de asfalto de 6,13 %, siendo este el utilizado en laboratorio para una garantizada mezcla asfáltica con la cual se llega a cumplir con las especificaciones técnicas requeridas, y las misma poner a consideración a la entidad pública de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija, al ser esta institución pública la encargada de la realización de pavimentado en todas nuestras calles y avenidas de nuestra ciudad. Se plantea esta diseño debido que al momento de solicitar estos datos, que por normas de diseños dicha institución debería tenerlas, no las tuvo y se indaga si al respecto del tema si realizan estas especificación o no, y a su vez también se pudo evidenciar que en la realización de diferentes calles, al estar ubicadas en distritos, barrios que no son tan transitables, la institución no realiza bien el pavimentado culminando sus trabajos de mala manera y sin prever lo que se tomó en cuenta en esta investigación, la temperatura para el secado del pavimentado y así percatar una disipación de energía o la deformación a la fatiga del asfalto.

tras mejorar la investigación realizando una mezcla asfáltica con el mismo material que usa la alcaldía para la pavimentación de sus calles, pero usando un cemento asfáltico con polímeros denominado Betuflex 60-85 e, se pudo obtener un mejor porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 5,83%, se puede garantizar una mezcla

asfáltica con mejor rendimiento y mayor durabilidad dándonos mejores características para su uso y aplicación, finalizando con su buena recomendación del material.

Una vez realizadas las pruebas y comparaciones con relación al desempeño a partir de las curvas de Lissajous se plantea que la mejor solución ante la clara evidencia de que los asfaltos realizados en los 16 estudios pavimentados por la Alcaldía, sufrirán un obvio y alto nivel de fatiga de estos y como pronta solución ante este problema conceptual se plantea la orden de realizar un pavimentado en una calle a temperaturas menores de 30 grados y mayores a 20 °C. Garantizando un bajo nivel de fatiga del asfalto, y así mismo obteniendo un alto nivel de vida útil para los tramos a realizar.

También se planteó realizar un mejor control del material granular a usar en la mezcla asfáltica puesto que al usar las contrataciones anuales por la alcaldía a empresas privadas para la adquisición del material pétreo, se notó en laboratorios que los mismo no cumplen con las especificaciones técnicas más objetivadas, y así mismo estando al mínimo de los permisible causa en las mezclas más tendencia a la falla por Fatiga y a su vez perjudicando un buen proyecto de asfaltado vial en los barrios o zonas a conferir satisfacción al manejo por sus calles.

CAPÍTULO IV.-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.-CONCLUSIONES

Tras la determinación de las transiciones y porcentajes de cristalización del asfalto de acuerdo a la relación del desempeño a partir de las curvas de Lissajous aplicadas en las nuevas carpetas realizadas por la alcaldía se determinó que la capacidad del material para disipar la energía en estudio 1 Calle Mario Estensoro Vásquez con una temperatura de 40 °C., de secado de pavimentado es $G' = 103000 \text{ Pa}$. Y la susceptibilidad a la fatiga del estudio 5 Calle María Romero del Carpio es de $\delta = 65^\circ$,

Al culminar los ensayos de laboratorio de asfalto; Peso Específico, Punto Inflamación, Penetración, Viscosidad Saybolt, Pérdida de masa y Punto de Ablandamiento se obtuvo las características del tipo de cemento asfáltico CA 85-100 convencional que es utilizado para la pavimentación de calles y avenidas en la ciudad de Tarija, verificando que cumple con las especificaciones técnicas para diseño asfáltico por la norma de la ABC.

Se realizó todas las pruebas de laboratorio para el material granular y se calculó las caracterizaciones de los agregados de la mezcla asfáltica, y así se pudo identificar la calidad de material que se utiliza para la pavimentación de las calles y avenidas en la ciudad de Tarija.

Para poder obtener una temperatura se referencia para las relaciones $G'' > G'$ es necesario tener un historial importante de mediciones realizadas, en esta investigación. Una vez investigado los tramos de calles y avenidas elaborados por la entidad pública Alcaldía municipal de Tarija, se pasó al inicio de la investigación sobre la dosificación tipo para la mezcla asfáltica que utilizan en la elaboración de calles y avenidas, y tras las carencia de los mismo se procedió a la realización de ambos tipo de dosificación ya sea para el cemento asfáltico tipo convencional 85-100, como también para el cemento

asfáltico B 60-85 E. realizando la prueba Marshall, se culminó con la investigación a partir de los mismos datos.

La capacidad de disipar energía se determina a partir del módulo de asfalto en desempeño a la relación de las curvas de Lissajous y la susceptibilidad a la fatiga es a el ángulo de fase del asfalto determinado también con la relación de las curvas de Lissajous, entonces la variación del módulo del asfalto en función de la temperatura no es lineal, como se ve con los valores en el estudio 1 el Modulo de asfalto es $G' = 103000$ Pa., al ser la muestra secada con una temperatura ambiente de 40° C., temperatura que no entra dentro de las caracterización de en contraposición, siendo este valor su capacidad de disipar la energía y a su vez no es recomendable, en cambio en el ángulo de fase del material resulta lineal, lo cual permite proyectar de mejor manera con este parámetro.

La relación entre $G'' > G'$ y su relación con el ángulo de fase muestran de forma eficiente la forma en que el asfalto disipa energía y es un buen parámetro para deducir si es susceptible a la deformación permanente o a la fatiga, como se comprobó en el estudio 5, que al tener una temperatura específica de 28° C. Esta calle tendrá un ángulo de fase. De 65° , cumpliendo entonces con la condición $65^\circ > 28^\circ$. Al ser así se garantiza que la disipación de energía con lo cual se explica la capacidad del asfalto a la deformación o a la fatiga será muy aconsejable para este tramo o calle. En buena hora para el beneficio del barrio e distrito.

El cemento asfáltico Betuflex 60-85 E. de industria brasilera es el otro tipo de asfalto que es utilizado en nuestro medio para diseños de carpetas asfálticas, generalmente en lugares donde ocurren cambios muy bruscos de temperatura ya sean muy altos, como también muy bajos. Una vez caracterizado el tipo de cemento asfáltico en laboratorio se procedió a encontrar el porcentaje óptimo para diseño con este tipo y en base a estos valores se diseñó 10 nuevos estudios para la investigación del proyecto.

En la aplicación del uso de un asfalto con polímeros o en este caso el uso del cemento asfáltico Betuflex 60-85E, se puede notar que se cuenta con ligantes mas viscosos a temperatura elevadas para reducir las deformaciones permanentes, a su vez aumenta notablemente la rigidez y por tanto disminuye el fisuramiento por efecto termino a bajas temperaturas ósea la susceptibilidad a la fatiga aumentando su elasticidad, como se vio que para la mezcla asfáltica el porcentaje optimo del asfalto fue de 5,83%, un valor minoritario en relación al cemento asfáltico convencional que su porcentaje optimo fue de 6,13%, entonces sus propiedades pueden influir de manera significativa a su comportamiento.

En el estudio usando un tipo de asfalto Betuflex 60-85 E, realizado en laboratorio, la disipación de energía y susceptibilidad a la fatiga serán dadas con los siguientes valores, con una temperatura de secado de muestra a 32°C., el $G' = 407000\text{Pa}$. Y la susceptibilidad a la fatiga fue a $\delta = 65^\circ$, usando pero este tipo de cemento asfáltico con polímeros, que brinda a la mezcla mejores características de rendimiento, alta resistencia al envejecimiento.

Las curvas de Lissajous muestran claramente la histéresis del asfalto y son una herramienta eficaz para entender el desempeño del material, a partir de sus valores determinados como son el modulo completo del material asfáltico y el ángulo fase del mismo, características que están en función de la temperatura. Y que nos desplazan hacia un valor loable de Modulo de asfalto es $G' = 103000\text{ Pa}$. La capacidad máxima de este estudio para disipar la energía y si la temperatura es de 28 °C. El ángulo de fase es 65 °C. Temperatura máxima susceptible a la fatiga de la carpeta asfáltica.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la entidad encargada de la realización de las carpetas asfálticas para el crecimiento vial de nuestra ciudad, realizar las previsiones con estudio de caracterización del material granular y fino, el mismo que es entregado por una empresa

contratada “asociación accidental PEDRAFORTE”, encargada de suministrar el material de manera anual mediante contratación por la Alcaldía.

Es de muy suma importancia la recomendación de prever la realización del pavimentado de las calles, avenidas, etc., con un material granular que cumpla con los requerimientos dados por norma, y así poder evitar no solo el alto porcentaje de cemento asfáltico 85-100 en la mezcla si no también evitar la alta degradación del material que sufrirá debido a su propia susceptibilidad a la fatiga y envejecimiento.

A su vez como para la mezcla asfáltica que es realizada con un cemento asfáltico 85-100, de industria brasileña. Se recomienda el cuidado y previsión del asfalto a momento antes de usarlo realizar preventivamente una evaporación de agua en caso de que hubiera este elemento puesto que a veces por descuido sucede la mezcla de estos y a su vez esto llega a ser muy peligroso, el asfalto en contacto con el agua puede conducir a una expansión violenta, peligro de salpicadura y desbordamiento de ebullición. Esto pudo ser evitado en la realización de la caracterización del mismo en el laboratorio del SEDECA, por la inadvertida aparición del agua en la muestra proporcionada por la alcaldía del asfalto 85-100.

Al no poder constatar del porcentaje óptimo de asfalto que usa la alcaldía en sus dosificaciones de prueba para la realización de los pavimentados de calles y avenida u otros, se indaga la carencia de los mismo estudios y la preocupación de la misma situación que a su vez desprestigia la labor social por la entidad pública y nace la retórica pregunta si el trabajo de pavimentación estará bien realizado, ante esto se recomienda la realización de los mismos.

Para el tema de estudio que es el módulo de asfalto y ángulo de fase del asfalto, se recomienda que a través de los análisis e investigaciones realizadas, que la entidad pública realiza más supervisión de sus trabajos y prevención de asfalto en temperatura muy altas y a su vez en temperatura muy bajas, para así poder evitar la susceptibilidad a la deformación o fatiga del asfalto.

ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización de materiales para la mezcla asfáltica con Cemento Asfáltico 85-100 C

ANEXO 2. Dosificación de la mezcla asfáltica con Cemento
Asfáltico 85-100 C

ANEXO 3. Diseño Marshall con Cemento Asfáltico 85-100 C

ANEXO 4. Diseño con porcentaje óptimo de asfalto con
Cemento Asfáltico 85-100 C

**ANEXO 5. Caracterización de materiales para la mezcla
asfáltica con Cemento Asfáltico B 60-85 E**

**ANEXO 6. Dosificación de la mezcla asfáltica con Cemento
Asfáltico B 60-85 E**

ANEXO 7. Diseño Marshall con Cemento Asfáltico B 60-85 E

ANEXO 8. Diseño con porcentaje óptimo de asfalto con
Cemento Asfáltico B 60-85 E