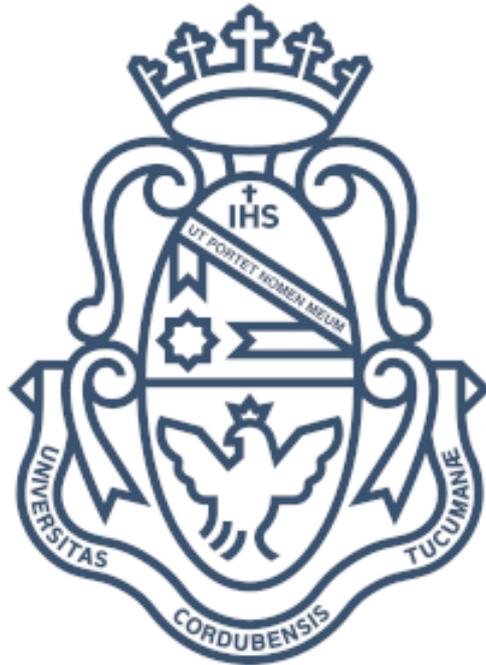


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y
NATURALES**



PRACTICA SUPERVISADA

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Autor: Frangie, Maria Victoria

Tutor: Mgter. Ing. Rico, Miguel

Supervisor externo: Ing. De La Rubia, Daniel

Córdoba, Mayo 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a toda mi familia, que también es parte de este logro, por creer en mí.

Especialmente a mi mamá por ser un gran pilar y enseñarme siempre a ir para adelante.

A mi hermano, por haber transitado casi todo este camino conmigo acompañándome incondicionalmente.

A mis abuelos, desde el amor y esa espera impaciente. A mi abuelo, modelo de mi vida, por estar hoy acá.

A mis amigas de siempre, a las del primer día y a las que me dio este camino.

Al Ingeniero Miguel Rico, por ser mi tutor y responder amablemente a todas mis dudas.

Al Ingeniero Daniel De La Rubia, quien fue mi supervisor externo por el interés y la dedicación en mis horas de práctica.

A la empresa Afema S.A. por abrirme sus puertas y darme el espacio para aprender. Y al personal de laboratorio por su paciencia, por hacerme sentir cómoda desde el primer momento y estar siempre dispuestos a ayudarme.

Muchas gracias!

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos en la Práctica Supervisada (PS) realizada entre los meses de Septiembre y Diciembre de 2017 en el laboratorio central de la empresa AFEMA S.A.

Durante esta PS, y con el objetivo de controlar la producción, se ensayaron y tomaron datos de todas las mezclas asfálticas en caliente elaboradas durante ese periodo. Luego, mediante herramientas estadísticas, se observó si la mezcla estaba o no dentro de un proceso “controlado”. Cuando no fue así, se detectaron los parámetros fuera de control, analizando las causas y las posibles soluciones.

Este análisis fue realizado, dada su representatividad, en mezclas elaboradas con cemento asfáltico (CA) convencional tipo CA-30 y cemento asfáltico modificado con polímeros tipo AM-3, con un contenido en peso de CA, en ambos casos, de 5,4%.

A medida que avanza el desarrollo de este trabajo se encontrarán datos y resultados de ensayos principalmente dado que el enfoque está orientado en el control estadístico de procesos referido a la calidad de la mezcla y sus componentes. Esto se realizó de esta manera para darle un valor agregado a demás informes que concentran su desarrollo en Control de Calidad.

Cabe aclarar que los ensayos que se describirán durante el informe son los que la alumna realizó diariamente en el laboratorio para la obtención de los datos requeridos mientras que los ensayos que se encuentran en los anexos son los que realiza la empresa como parte del Plan General de Autocontrol.

INDICE

<u>1. GENERALIDADES</u>	9
1.1. OBJETIVO.....	9
1.2. INTRODUCCION.....	9
1.3. LA EMPRESA.....	10
1.3.1. ZONA DE ACOPIOS.....	12
1.3.2. PLANTA ASFALTICA DISCONTINUA.....	12
1.3.3. EL LABORATORIO.....	16
<u>2. CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS</u>	18
2.1. DESCRIPCION.....	18
2.2. SELECCIÓN DE VARIABLES.....	19
<u>3. PRODUCTOS PRIMARIOS: ASFALTOS</u>	22
3.1. PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS.....	22
3.2. TIPOS DE ASFALTO.....	22
3.2.1. ASFALTOS CONVENCIONALES.....	22
3.2.2. ASFALTOS MODIFICADOS.....	28
<u>4. PRODUCTOS PRIMARIOS: AGREGADOS</u>	33
4.1. AGREGADOS TRITURADOS.....	33
4.1.1. TRITURADO 0-6.....	34
4.1.2. TRITURADO 6-19.....	35
4.1.3. TRITURADO 6-25.....	40
4.2. AGREGADOS NATURALES.....	41
4.2.1. ARENA SILICEA.....	41
<u>5. MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES</u>	44
5.1. METODO DE MARSHALL.....	46
5.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA.....	49
5.3. MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES ELABORADAS CON ASFALTO CONVENCIONAL.....	58
5.4. MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES ELABORADAS CON ASFALTO MODIFICADO.....	62
<u>6. CONCLUSIONES</u>	66

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

7. BIBLIOGRAFIA.....67
8. ANEXOS.....68

INDICE DE FIGURAS

1.1: Ubicación de la empresa Afema S.A.....	10
1.2: Ubicación del nuevo predio de la empresa Afema S.A.....	11
1.3: Sectorización de las zonas de producción.....	11
1.4: Planta de asfalto discontinua de la empresa Afema S.A.....	12
1.5: Esquema representativo de las partes componentes de una planta asfáltica discontinua.....	14
1.6: Esquema representativo del funcionamiento de una planta asfáltica discontinua.....	15
1.7: Laboratorio de la empresa Afema S.A.....	16
2.1: Esquema básico de un gráfico de control estadístico de procesos.....	18
2.2: Intervalo de confianza para una distribución normal.....	19
2.3: Cuadro comparativo Causas Comunes vs. Causas Especiales.....	20
2.4: Esquema representativo de la manifestación de las distintas causas en un diagrama.....	20
3.1: Planilla de ensayo de Viscosidad Brookfield a 60°C realizado a asfalto Asfasol 30.....	24
3.2: Gráfico de dispersión de los valores de viscosidad presentados anteriormente.....	26
3.3: Gráfico de dispersión de los valores de viscosidad presentados anteriormente.....	28
3.4: Planilla de ensayo de recuperación elástica torsional realizado con asfalto modificado AM3 en el mes de Septiembre.....	30
3.5: Ensayo correspondiente a la planilla anterior.....	30
3.6: Gráfico de dispersión de los valores de recuperación torsional presentados anteriormente.....	32
4.1: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 0-6 realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017.....	35
4.2: Planilla de Ensayos de Desgaste Los Ángeles de Triturado 6-19.....	38
4.3: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 6-19 realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017.....	38
4.4: Ensayo de Polvo Adherido en Triturado 6-19 realizado en Diciembre de 201.....	39
4.5: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 6-25 realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017.....	40
4.6: Resultado de un Ensayo de Equivalente de Arena realizados en el mes de Octubre de 2017.....	42

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

4.7: Planilla de Ensayos de Granulometría de Arena Silíceas realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017.....	43
5.1: Esquema representativo de los contenidos volumétricos de asfalto, agregado y vacíos en una mezcla asfáltica.....	43
5.2: Gráficas de parámetros en función del contenido de asfalto por el Método de Marshall.....	46
5.3: Muestra representativa de mezcla obtenida por cuarteo	50
5.4: Probetas para ser ensayadas por el Método de Marshall.....	51
5.5: Ensayo de Estabilidad y Fluencia perteneciente al Laboratorio de la empresa Afema S.A.....	52
5.6: Ensayo Marshall realizado en el Laboratorio de la Empresa Afema S.A.....	53
5.7: Planilla de mezclas asfálticas por el Método de Marshall con un asfalto de tipo modificado AM3.....	55
5.8: Gráfico de control de Densidad Marshall de mezclas elaboradas con asfalto convencional CA-30.....	56
5.9: Gráfico de control de Vacíos de la mezcla de mezclas elaboradas con asfalto convencional CA-30.....	57
5.10: Gráfico de control de Vacíos del Agregado Mineral de mezclas elaboradas con asfalto convencional CA-30.....	57
5.11: Gráfico de control de Relación Betún Vacíos de mezclas elaboradas con asfalto convencional CA-30.....	58
5.12: Gráfico de control de Estabilidad de mezclas elaboradas con asfalto convencional CA-30.....	58
5.13: Gráfico de control de Relación Estabilidad Fluencia de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30.....	59
5.14: Gráfico de control de Densidad Marshall de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	60
5.15: Gráfico de control de Vacíos de la mezcla de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	60
5.16: Gráfico de control de Vacíos del Agregado Mineral de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	61
5.17: Gráfico de control de Relación Betún Vacíos de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	61
5.18: Gráfico de control de Estabilidad de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	62
5.19: Gráfico de control de Relación Estabilidad Fluencia de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3.....	62

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

INDICE DE TABLAS

3.1: Valores de viscosidad de asfalto Asfasol 30 proveedor SHELL.....	25
3.2: Valores de viscosidad de asfalto Asfasol 30 proveedor YPF.....	27
3.3: Valores de recuperación elástica torsional de asfalto modificado AM3 proveedor YPF.....	31
5.1: Tabla informativa de destino de obra y tipo de asfalto.....	49

1. GENERALIDADES

Se presentan a continuación los objetivos que llevaron al desarrollo de este trabajo.

1.1. OBJETIVOS

Con el objetivo personal de poder trasladar al ámbito cotidiano y a este trabajo en particular los conceptos adquiridos en el desarrollo de la carrera de Ingeniería Civil surgieron los siguientes objetivos:

OBJETIVOS GENERALES

Implementar mediante herramientas estadísticas un control de calidad para mezclas asfálticas calientes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proveer un sistema de control de calidad para contribuir a la mejora del producto
- Definir los parámetros de control en el proceso
- Determinar la situación actual de la empresa con respecto a la calidad del producto
- Determinar cuáles son las principales variables que influyen en la calidad
- Proponer soluciones para la mejora en los problemas de calidad

Planteados éstos, se hace una breve introducción a lo que fue la preparación y selección de probetas a ensayar.

1.2. INTRODUCCION

Durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017 en el Laboratorio de la Empresa Afema S.A. se prepararon diariamente probetas, las cuales fueron aleatoriamente ensayadas y sus resultados registrados para estudiar el comportamiento de cada uno de los parámetros intervinientes en la mezcla y su influencia en el resultado final de ésta.

Para asfalto de tipo convencional CA30, se utilizaron siete porcentajes de asfalto:

- 4,7
- 5,0
- 5,2
- 5,3
- 5,4
- 5,5
- 5,6

Para asfalto de tipo modificado AM3 se utilizaron cuatro porcentajes:

- 5,2
- 5,3
- 5,4
- 5,5

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Al haberse llevado a cabo todas las tareas dentro del predio de la misma empresa se presenta una breve descripción de ésta y su zonificación.

1.3. LA EMPRESA

La empresa se encuentra ubicada al norte del anillo de circunvalación la cual, actualmente cuenta con dos predios con sectores bien diferenciados:

Un predio ubicado en la Ruta Provincial N° 111 Km. 7,5 donde agrupa principalmente el sector administrativo, taller y de cartelería.

A continuación (Figura 1.1) se puede observar una imagen del predio y su ubicación.



Figura 1.1: Ubicación de la empresa Afema S.A.

El nuevo predio, ubicado a unos cuantos metros del anterior agrupa el sector de producción conformado por las plantas productoras de mezcla asfáltica y hormigón, el laboratorio y las zonas de acopio.

En la siguiente imagen (Figura 1.2) se puede observar la ubicación de éste.



Figura 1.2: Ubicación del nuevo predio de la empresa Afema S.A.

Como se mencionó, la totalidad de las tareas fueron realizadas dentro del predio de la empresa, específicamente donde se encuentra el sector de producción, el cual puede observarse en la siguiente imagen (Figura 1.3) del cual se hace una breve descripción a continuación.

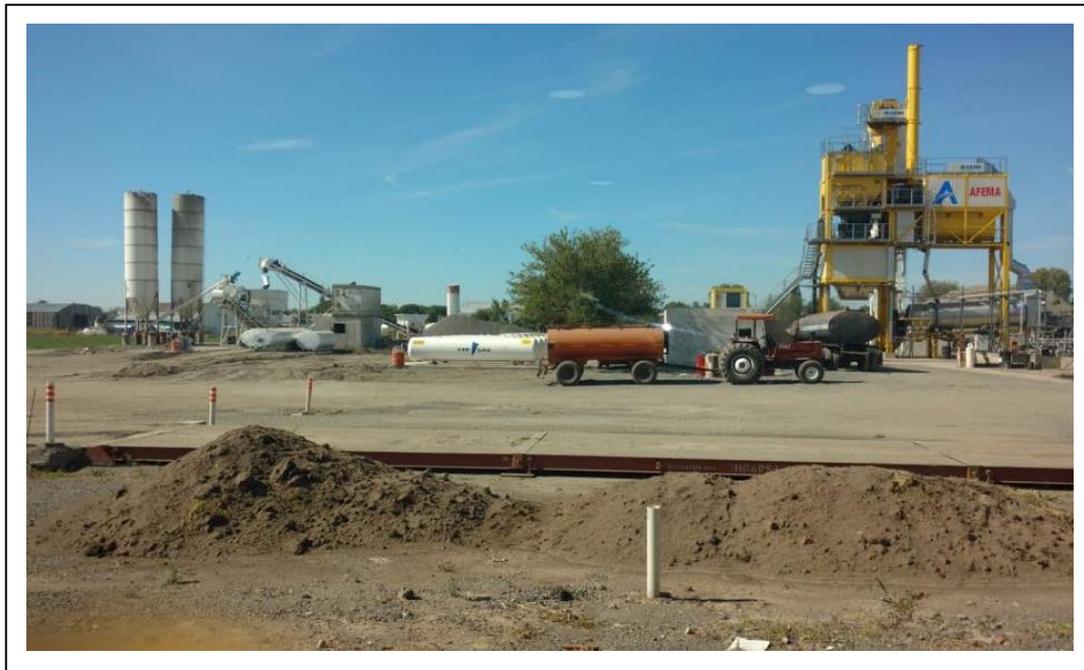


Figura 1.3: Sectorización de las zonas de producción

1.3.1. ZONA DE ACOPIOS

La zona designada para acopio se compone principalmente de piedras trituradas de varios tamaños, agregado grueso y agregado fino. La Cantera Diquecito es la encargada de proveer los triturados y la Arenera Saqui es la proveedora de agregado fino.

El personal a cargo de esta zona, quien realiza los acopios cuando llega el material de las canteras, y quien, al momento de requerirlo la planta productora, abre los acopios para abastecer a las mismas con el material necesario posee un papel importante al momento de la determinación de la calidad de los materiales primarios.

1.3.2. PLANTA DE ASFALTO DISCONTINUA

Actualmente, la empresa cuenta con una planta Marini de asfalto de tipo discontinua, la cual puede observarse en la siguiente imagen (Figura 1.4).

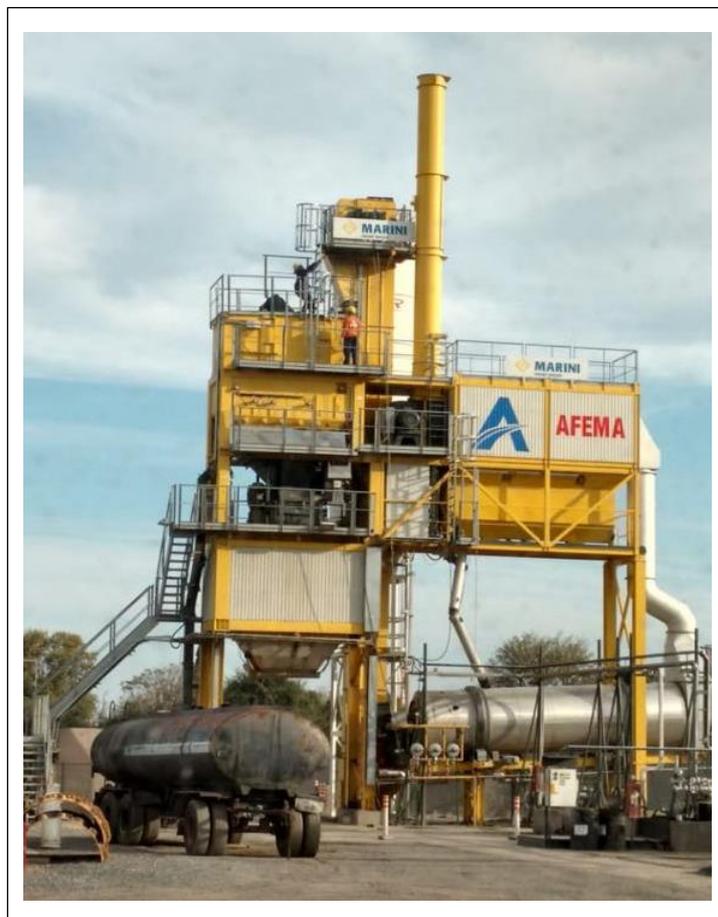


Figura 1.4: Planta de asfalto discontinua de la empresa Afema S.A.

Este tipo de plantas posee un software encargado de clasificar por zaranda y cargar por pesada los pastones (aproximadamente 1500 kg). En la pantalla se carga la formula a producir, el tiempo de mezcla y se visualizan las balanzas (por celda de carga) que tiene cada tolva. Como funciona por pesaje, prácticamente no tiene error ya que al generarse un sobrante o faltante de material este software se encarga de informar un error.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Además, un operario, designada como Plantista, es el encargado de controlar cada uno de los procesos de la planta, así como su correcto funcionamiento o cualquier otro tipo de problemática que pudiera surgir no contemplada por el software.

Para una mayor comprensión del proceso de obtención de la mezcla que se analizó se describen las partes componentes de la planta y su funcionamiento.

❖ PARTES COMPONENTES DE UNA PLANTA ASFÁLTICA DISCONTINUA

Para producirlas, se combinan, secan y calientan los agregados para ser mezclados con el cemento asfáltico produciendo una mezcla homogénea.

A) TOLVAS EN FRIO O PRE DOSIFICADORAS

Son las encargadas de almacenar los áridos y dosificar exactamente la cantidad de cada tamaño para luego transportar al horno de secado. Se ubican en la parte exterior de la planta.

B) TOLVAS EN CALIENTE

Son las encargadas de almacenar las fracciones de los distintos tamaños de agregado, previamente seleccionados y clasificados en las pre dosificadoras.

Cabe remarcar la importancia de contar con material suficiente para completar un pastón previo a comenzar la descarga para asegurar el movimiento continuo de material.

Si una tolva se está vaciando o está demasiado llena debe ajustarse porque se ocasionará faltante de ese material específico.

C) TOLVAS PARA ASFALTO

Los tanques de reserva de asfalto están graduados de forma tal que sea posible determinar la cantidad de material en el interior del mismo en cualquier momento.

A su vez, el asfalto debe estar lo suficientemente caliente para circular a lo largo de las tuberías en forma fluida. Para mantener la temperatura necesaria en el asfalto todos los tanques y tuberías se encuentran encamisados o con serpentinas de calentamiento.

D) HORNO DE SECADO

Se compone básicamente por un tambor cilíndrico giratorio. Su unidad de calentamiento es una llama directa que puede trabajar con fuel oil o gas.

El tambor posee unas aletas de acero montadas en su interior por lo que, cuando el tambor gira, levanta el agregado y lo deja caer formando una cortina a través de los gases calientes y la llama. De esta manera, el agregado avanza por el cilindro y al final del horno se encuentra completamente seco.

E) COLECTOR DE POLVO

Su operación es en combinación con el secador lo cual resulta necesario para el funcionamiento eficiente de la planta.

El objetivo principal es reducir el efecto perjudicial que causa el polvo cuando sale junto con el aire del secador, por lo que, mediante aspiración se lo eleva y almacena en otra tolva separada de los áridos para luego incorporar nuevamente a la mezcla.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

F) UNIDADES DE ZARANDEO

El elevador en caliente transporta el agregado seco desde el horno secador hasta una unidad que cuenta con mallas vibratorias para establecer las proporciones de agregado. Todo el material pasa por estas mallas las cuales separan el agregado y lo almacenan, según distintos tamaños normalizados, en una tolva diferente para cada uno.

G) MEDIDOR

Su función principal es la de mezclar el material por pastones y descargar. El mezclado comienza cuando ingresan los agregados combinados y el asfalto y finaliza con la abertura de la compuerta de descarga. Para el correcto funcionamiento, todas las partes del mezclador deben estar en buenas condiciones y reguladas correctamente.

El tiempo de mezclado debe ser el más corto compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los agregados y del asfalto en la mezcla ya que el asfalto se endurece con el efecto del calor y la exposición al aire.

En la siguiente imagen (Figura 1.5) se presenta un esquema representativo de las partes componentes indicadas anteriormente.

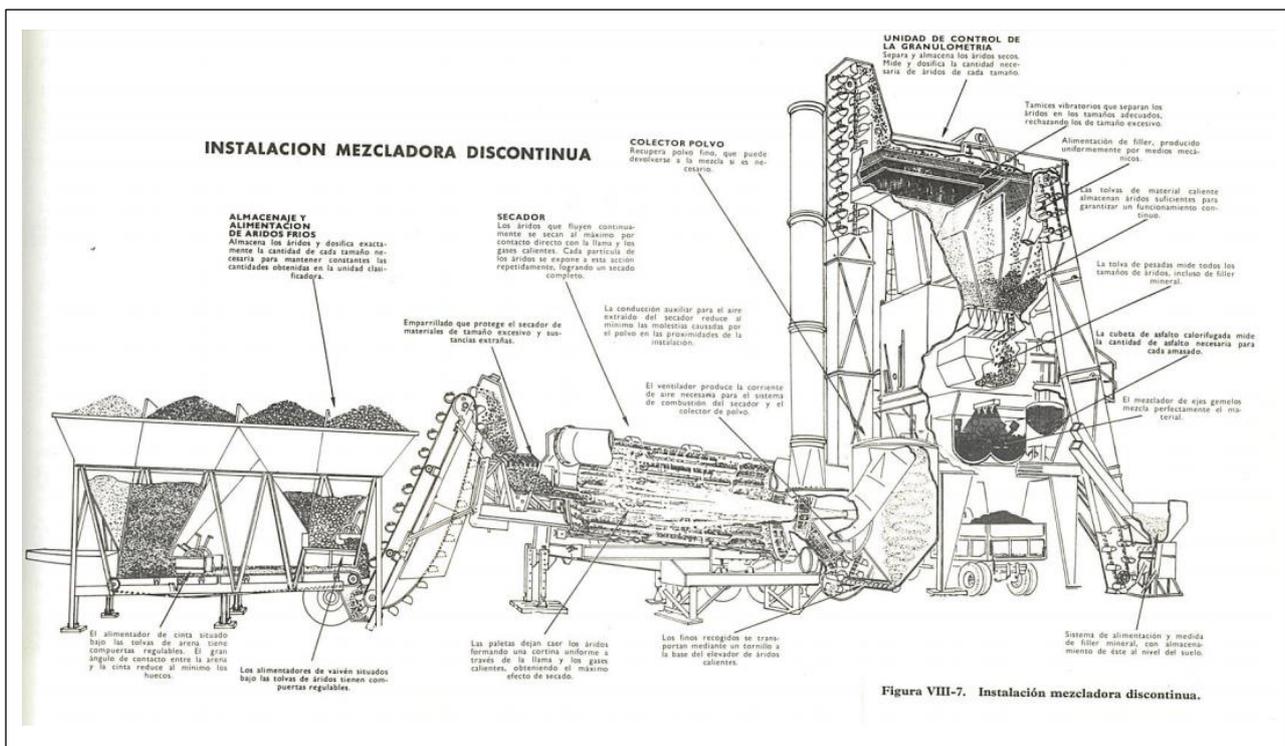


Figura 1.5: Esquema representativo de las partes componentes de una planta asfáltica discontinua (Fuente: Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción)

❖ **FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA ASFALTICA DISCONTINUA**

En el esquema siguiente (Figura 1.6) se puede observar un funcionamiento representativo de una planta de asfalto discontinua.

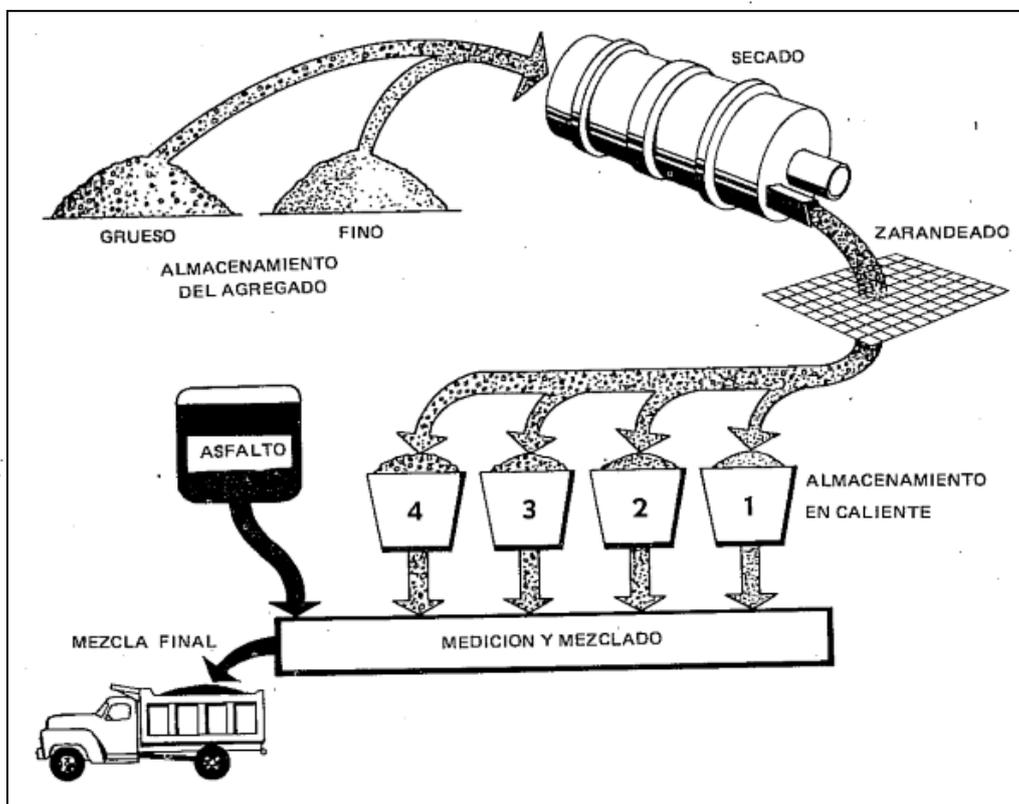


Figura 1.6: Esquema representativo del funcionamiento de una planta asfáltica discontinua
(Fuente: Tecnología del asfalto y Prácticas de Construcción)

El material se carga mediante palas cargadoras en 4 tolvas según sea agregado grueso o fino. Posteriormente, se vierte en una cinta colectora ubicada debajo de cada una de las tolvas para luego, ser transportado al horno de secado mediante una cinta transportadora.

A medida que el material ingresa al horno se va mezclando y secando con fuego directo para que la mezcla trabaje en seco y con temperatura. La temperatura es regulada por el plantista desde la cabina según especificaciones de cada fórmula de mezcla.

Una vez seco todo el material se descarga en un elevador que lo transporta hasta las cribas donde se hace la separación para realizar el dosaje, la cual se realizará mediante tamizado, esto implica el paso de material por distintos tamaños de malla para luego almacenarlos en las tolvas calientes.

Previo al ingreso a las tolvas, se aspira por un conducto, funcionando mediante una turbina, el material fino y se lo almacena en una tolva separada de los áridos. Este material se utiliza luego como filler.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Una vez que todos los materiales se han separado se los pesa para habilitar el ingreso al mezclador. El tiempo de mezclado es de 20-25 seg para asegurar la adherencia del asfalto a los agregados.

Cuando finaliza el tiempo de mezclado se abre la compuerta de descarga al camión y se reinicia el ciclo. Con cada ciclo se completa un pastón, que equivale a 1500 Kg.

Es importante remarcar que los agregados y el asfalto se encuentran a diferentes temperaturas en todo el proceso hasta su ingreso al mezclador, donde toda la mezcla se lleva a la misma temperatura para descargarse de forma homogénea.

1.3.3. EL LABORATORIO

El laboratorio (Figura 1.7) se encarga de realizar el control de calidad tanto de las mezclas como de los materiales primarios componentes. Para ello, cuenta con un equipo de trabajo a cargo del Ingeniero Daniel De La Rubia.



Figura 1.7: Laboratorio de la empresa Afema S.A.

Para realizar este control cuenta con un Plan General de Autocontrol que permite conectar el avance y control de todas las obras en proceso, de manera de llevar un control interno de la propia empresa y así poder informar ordenada y detalladamente a sus clientes.

En el Plan General de Autocontrol, se presentan de forma ordenada las actividades de control realizadas con el fin de servir de guía en la presentación de informes al comitente y para aseguramiento de la realización de los controles de calidad requeridos.

El Plan General de Autocontrol se encuentra dividido en dos partes básicas:

- **Productos:** Clasificación entre productos primarios (agregados y asfaltos) para verificación de sus características según norma

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- **Procesados:** en las plantas de la empresa o productos que se compran. En procesos se establecen los controles a realizar sobre las distintas etapas constructivas, controles sobre ejecución, avances de obra, etc.

Todos los ensayos que se realizan a diario son cargados al sistema por el laboratorista dejando así constancia de la actividad que se realiza en el laboratorio.

2. CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS

2.1. DESCRIPCION

Se realizó el control de la mezcla producida para asfalto de tipo convencional y de tipo modificado con porcentaje 5,4%. Este control, realizado a las probetas elaboradas y ensayadas elegidas aleatoriamente, se realizó mediante un control estadístico de procesos.

El control estadístico de procesos es una herramienta estadística que se utiliza para llevar a cabo el seguimiento de un proceso (en este caso, la mezcla asfáltica caliente) desde el inicio hasta la puesta en obra y lleva implícitas dos hipótesis:

- Una vez que el proceso está funcionando bajo condiciones establecidas se acepta una variabilidad natural para cada característica a analizar bajo un sistema de causas que es inherente al proceso en particular

-Este sistema de causas que actúa sobre el proceso supone que las observaciones tienen una distribución normal.

La función del control estadístico de procesos es comprobar en forma permanente si los resultados que van surgiendo de las mediciones se dan conforme a estas hipótesis. Si esto no ocurre es necesario detener el proceso, encontrar las causas y corregirlas.

Se utilizan los gráficos de control por variables. Éstos representan una característica de calidad a partir de una muestra repitiendo este muestreo en el tiempo.

Se construyen a partir de tres líneas observables en el esquema siguiente (Figura 2.1):

- una línea central LC que representa el valor medio de todas las observaciones de la variable en estudio
- dos líneas horizontales paralelas que corresponden a los límites superior LCS e inferior LCI.

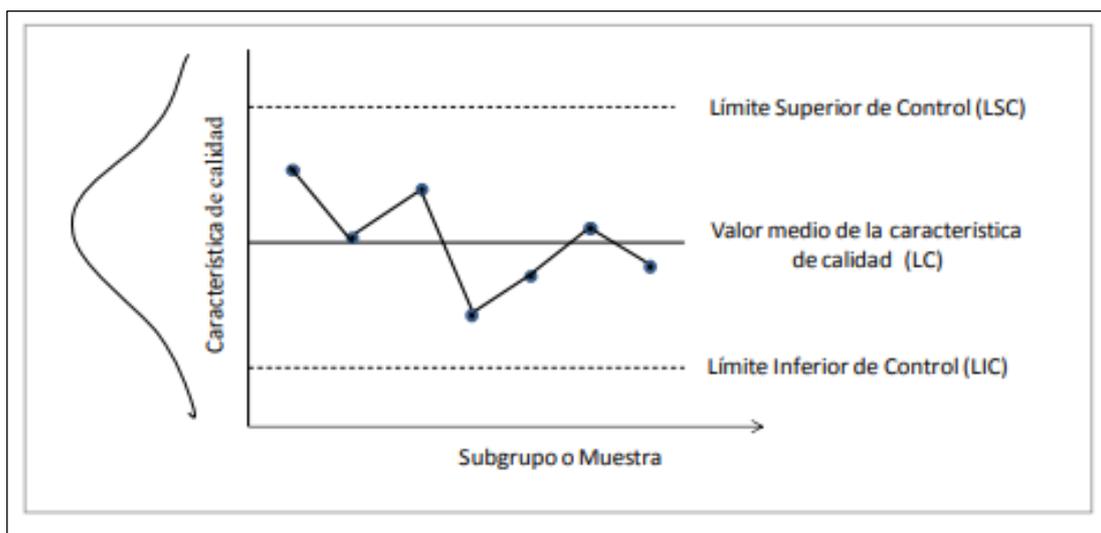


Figura 2.1: Esquema básico de un gráfico de control estadístico de procesos (Fuente: <https://es.slideshare.net/LauraM3011>)

Si todos los valores muestrales se encuentran ubicados dentro de estos límites se dice que el proceso se encuentra bajo control. Si por el contrario, algún valor no está dentro de este rango se dice que el proceso se encuentra fuera de control y es necesario corregirlo.

La utilización de estos límites responde a una distribución normal de probabilidad donde su forma depende de dos parámetros: la media y la desviación estándar.

La elección de los límites de control fue una de las tareas más críticas al momento de iniciar el control de procesos ya que si se eligen límites demasiado alejados de la línea central se corre el riesgo de tomar la decisión de que el proceso se encuentra bajo control cuando en realidad no lo está y si se eligen límites demasiado cercanos podría suponerse que el proceso se encuentra fuera de control cuando en realidad no lo está.

En este caso, se buscó una estimación precisa de valores por lo que se trabajará con un intervalo de confianza de 95% con un valor de $Z=2$ (Figura 2.2, representativa del intervalo de confianza elegido)

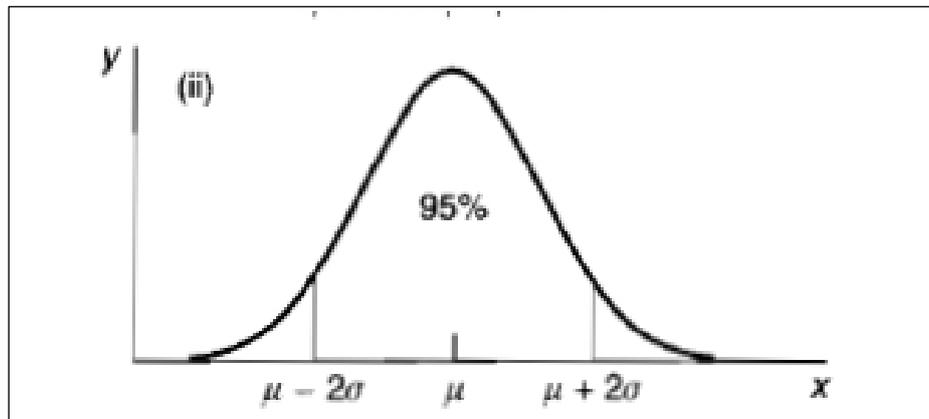


Figura 2.2: Intervalo de confianza para una distribución normal (Fuente: <https://es.slideshare.net/LauraM3011>)

Y se utilizaron para esto los límites:

$$LCS = \mu + 2 x \sigma$$

$$LCI = \mu - 2 x \sigma$$

Con: μ = media las observaciones; σ = desvío

2.2. SELECCIÓN DE VARIABLES

El control estadístico de procesos considera a un proceso bajo control aun cuando exista una cierta variabilidad natural. Para considerar a esta variabilidad como natural, ésta debe estar dada bajo un sistema de causas específicas. Estas causas que pueden ser comunes o especiales poseen características que las diferencian entre ellas. A continuación, en la Figura 2.3 se observan estas diferencias:

Causas Comunes	Causas Especiales
El proceso operando como siempre	El proceso ha cambiado
Lo común es parte del sistema	Inusuales. No parte del sistema
Muchas. Cosas triviales	Pocas en número. Importantes
Causas difíciles de detectar	Fáciles de detectar
Predecible en el tiempo	Impredecible
Inherentes al proceso	Evento específico
Permanecen hasta que el sistema cambia	Vienen y van erráticamente
También llamadas causas al azar	También llamadas causas asignables

Figura 2.3: Cuadro comparativo Causas Comunes vs. Causas Especiales (Fuente: <https://es.slideshare.net/LauraM3011>)

La variación por causas especiales advierte que el sistema está fuera de control y por esto es importante identificar y tratar de eliminar la variación por causas especiales.

Los puntos fuera de control y los patrones no aleatorios en una gráfica de control, representada en la imagen siguiente (Figura 2.4) indican la presencia de una variación por causas especiales.

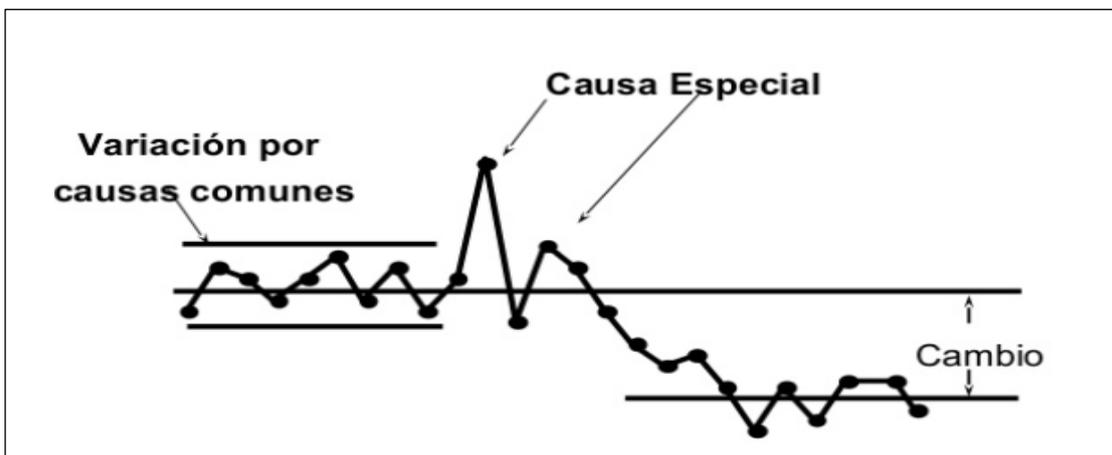


Figura 2.4: Esquema representativo de la manifestación de las distintas causas en un diagrama (Fuente: <https://es.slideshare.net/LauraM3011>)

Por lo tanto, como lo que se quiere conocer es la calidad de la mezcla se realizó un análisis en dos etapas:

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

En primer lugar se estudiaron los parámetros a considerar y condiciones a cumplir por los productos primarios (asfaltos y agregados) componentes de la mezcla para descartar causas especiales.

En segundo lugar, se estudió la mezcla propiamente dicha.

3. PRODUCTOS PRIMARIOS: ASFALTO

La ASTM define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes, los cuales pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos; se obtiene de la destilación del petróleo; en primera instancia se hace una destilación atmosférica, en la cual se bombea el crudo virgen a un tanque donde se lo calienta a una temperatura de alrededor de 300°C, luego entra a una torre de destilación (o torre fraccionadora) donde se vaporizan los componentes más volátiles y se los separa para posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene, gasoil y otros. Este producto se lleva a un proceso de destilación con vacío (en una torre de vacío), en el cual se le aplica presión para bajar el punto de ebullición y se obtienen otros productos más pesados; debido a que el asfalto es la base o constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado, en consecuencia, es obtenido como un residuo o producto residual.

Posee propiedades aglomerantes e hidrófugas, también tiene la propiedad de ablandarse gradualmente al ser calentado (propiedad reológica). En las mezclas asfálticas el asfalto constituye del 5 al 10% en peso de la mezcla total.

3.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Tres son las características más importantes para determinar las propiedades del asfalto:

- CONSISTENCIA

Dado que los asfaltos son materiales termoplásticos, es decir que se licuan gradualmente al calentarlos, es necesario conocer su consistencia, grado de fluidez o plasticidad, para lo cual se fija una temperatura de referencia igual a 60°C.

Ésta se obtiene mediante un ensayo de viscosidad o penetración.

- PUREZA

El cemento asfáltico se compone casi enteramente por betunes, los cuales son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, en general, más del 99,5%

- SEGURIDAD

Normalmente el asfalto se encuentra libre de agua o humedad pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida puede causar espumas al asfalto cuando se calienta por encima de los 100°C lo cual es peligroso. Para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad resulta necesario conocer el punto de inflamación del asfalto.

3.2. TIPOS DE ASFALTO

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comúnmente llamado asfalto de pavimentación o cemento asfáltico

Se utilizaron dos tipos de asfaltos: asfaltos convencionales (CA-30) y asfaltos modificados con polímeros (AM3).

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Sus dos proveedores principales son YPF y SHELL los cuales brindan una muestra para realizar control de calidad, acompañado con un protocolo de calidad que establece una serie de recomendaciones en cuanto a elaboración y compactación.

3.2.1. ASFALTOS CONVENCIONALES CA-30

Esta denominación viene establecida según la clasificación de los asfaltos en función de la viscosidad, que equivale a un asfalto 50-60 clasificado por penetración.

Es un cemento asfáltico convencional obtenido por proceso de destilación directa del petróleo. Se utiliza en construcción de bases y carpetas asfálticas. Es apto para zonas cálidas o con tránsitos de carga.

Los asfaltos convencionales que se utilizan en Afema S.A. se clasifican por viscosidad y no por penetración. Por esto, fueron sometidos a un único ensayo que mide su viscosidad a diferentes temperaturas para poder verificar si su comportamiento cumple con las características del producto.

❖ **CONDICIONES A CUMPLIR**

El cemento asfáltico debe cumplir:

- Viscosidad entre 2400 y 3600 dPa.seg a una temperatura de 60°C según Norma IRAM 6837
- Viscosidad a 135°C > 350 cSt según Norma IRAM 6837
- Punto de Inflamación > 230 °C según Norma IRAM 6555
- Índice de Penetración entre -1,5 y 0,5
- Además, el asfalto deberá ser homogéneo, libre de agua y no presentar espuma cuando se lo caliente a 175°C.

❖ **PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS**

- Índice de Penetración

Esta norma establece el procedimiento para determinar la penetración de asfaltos semisólidos y sólidos con un penetrómetro de aguja. El ensayo de penetración da una medida de la consistencia de los asfaltos. Si se comparan distintos valores de penetración, los valores mayores indican una consistencia más blanda.

- Ensayo de Punto de Inflamación

Este ensayo permite identificar la temperatura máxima a la cual puede ser manejado y almacenado sin peligro de inflamación.

Consiste en calentar, gradualmente, una muestra de asfalto en una copa mientras se está aplicando una pequeña llama sobre la superficie de la muestra. La temperatura a la cual se presentan destellos de vapores se denomina punto de inflamación.

- Ensayo de Viscosidad

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Este procedimiento se emplea para la determinación de la viscosidad aparente de asfaltos a una temperatura especificada. El procedimiento consiste en medir la resistencia que opone el fluido al movimiento del rotor. Para determinar la viscosidad del asfalto (en milipascales segundos) se multiplica un factor a la lectura del indicador.

El procedimiento de rutina por parte de la empresa es realizar un ensayo de viscosidad rotacional con el Viscosímetro de Brookfield a cada camión que ingresa al predio con la provisión de asfalto. El personal de laboratorio obtiene una muestra que extrae del camión cuando éste se encuentra a la temperatura deseada. Luego de realizado el ensayo y verificadas las condiciones se le permite al camión hacer la descarga.

A continuación es posible observar una planilla de un ensayo de viscosidad Brookfield realizado para un asfalto Asfasol 30 en el mes de Noviembre de 2017:

Rheocalc V3.1-0		Brookfield Engineering Labs						
Arch: X:\LABORATORIO\VISCOSIDAD\2017\REG.L.001.14443.DB								
Fecha:	09/11/2017	Hora:	01:33:42 p.m.	Tipo:	RV	Husillo:	SC4-29	
Muestra:	14158							
#	Viscosidad (cP)	Veloc. (RPM)	% Par Esf. Cortante (%)	D/cm ²	G. Velocidad (1/seg)	Temperatura (°C)	Bath (°C)	Intervalo (mm:ss.t)
1	285000,00	1,00	28,5	712,50	0,25	60,0	EEEE	00:34:58,4
2	286000,00	1,00	28,6	715,00	0,25	60,0	EEEE	00:01:00,0
3	287000,00	1,00	28,7	717,50	0,25	60,0	EEEE	00:01:00,1
Notas: * CONTROL DE CALIDAD - LABORATORIO CENTRAL DE AFEMA S.A. *								

Figura 3.1: Planilla de ensayo de Viscosidad Brookfield a 60°C realizado a asfalto de tipo Asfasol 30

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

❖ CONTROL DE PROCESOS

A continuación se exponen los valores de viscosidad obtenidos en los ensayos realizados para ambos proveedores durante la Práctica Supervisada por la alumna y los gráficos elaborados a partir de estos resultados:

PROVEEDOR SHELL

Tabla 3.1: Valores de viscosidad obtenidos de asfalto de tipo Asfasol 30

VISCOSIDAD ROTACIONAL A 60°C			
N° de registro	% Par motor	Fecha	Viscosidad rotacional (CP)
13972	29,8	sep-17	2980
13982	30,3	sep-17	3030
14025	27,5	sep-17	2750
14051	32,6	sep-17	3250
14158	29,6	oct-17	2963
14279	32,8	oct-17	3280
14321	32,3	oct-17	3220
14504	29,7	nov-17	2970
14507	26,9	nov-17	2690
14524	33,4	nov-17	3340
14541	33,3	nov-17	3330
14545	29,6	nov-17	3330
14601	32,2	nov-17	3330
14617	31,3	nov-17	3330
14647	27	dic-17	2700
14738	32,7	dic-17	3270
14745	32,3	dic-17	3230
14756	32,7	dic-17	3270
14856	33,3	dic-17	3330
14868	34,7	dic-17	3470

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

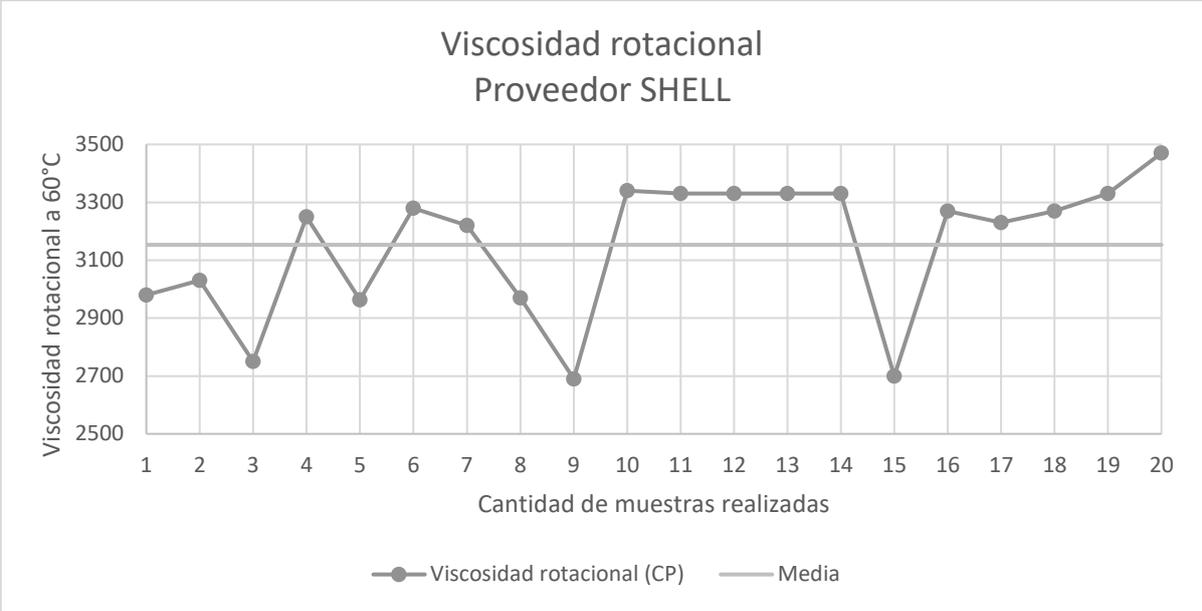


Figura 3.2: Gráfico de dispersión de los valores de viscosidad presentados anteriormente

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

PROVEEDOR YPF

Tabla 3.2: Valores de viscosidad obtenidos de asfalto de tipo Asfasol 30

VISCOSIDAD ROTACIONAL A 60°C			
N° de registro	% Par motor	Fecha	Viscosidad rotacional (CP)
13977	30,6	sep-17	3060
14026	27,9	sep-17	2790
14077	28,6	sep-17	2860
14166	27,8	oct-17	2770
13969	26,6	oct-17	2660
14167	26,6	oct-17	2660
14272	30,4	oct-17	3040
14280	32,8	oct-17	3280
14291	31,2	oct-17	3120
14423	32,6	nov-17	3260
14444	31,1	nov-17	3110
14159	27,8	nov-17	2770
14474	32,3	nov-17	3230
14536	25,8	nov-17	2580
14552	30,3	nov-17	3030
14572	29,5	nov-17	2950
14623	32,2	nov-17	3200
14643	27,3	dic-17	3330
14655	27	dic-17	2700
14739	30,9	dic-17	3090
14760	29,8	dic-17	2980
14857	30,4	dic-17	3040

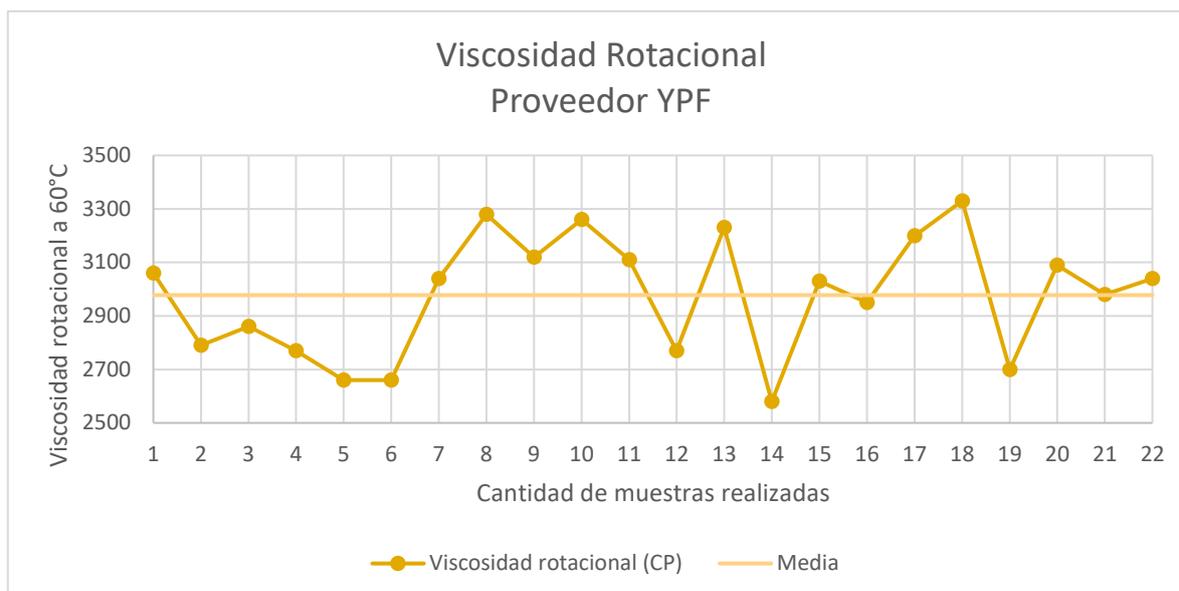


Figura 3.3: Gráfico de dispersión de los valores de viscosidad presentados anteriormente

❖ ANÁLISIS DE DATOS

Los valores para ambos proveedores se encontraron dentro de los límites establecidos por la norma.

Por su parte, el proveedor YPF posee un mayor rango de variación en cuanto a valores muestrales pero ambos proveedores presentan valores estadísticos de media (observable en gráfico) y desviación estándar (235,3 y 223,52 para SHELL e YPF respectivamente) muy similares por lo que se descarta como causa asignable la variación entre uno u otro proveedor.

3.2.2. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS AM3

El asfalto modificado con polímeros es un ligante asfáltico modificado que permite producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas inferiores que las convencionales. Se lo utiliza en construcción de carpetas en zonas exigidas o de altas sollicitaciones de tránsito, como autopistas, peajes, intersecciones de calles y paradas de ómnibus. Se caracteriza por su reducida susceptibilidad térmica, la cual le otorga simultáneamente rigidez a elevadas temperaturas (resistencia al ahuellamiento) y flexibilidad en el rango de las bajas temperaturas (fisuración térmica).

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

El cemento asfáltico debe cumplir:

- Penetración entre 50 y 80 1/10 mm a 25°C según Norma IRAM 6576
- Punto de ablandamiento > 65°C según Norma IRAM 6841
- Recuperación elástica torsional > 70% según Norma IRAM 6830

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

- Ensayo de Penetración

Se procede de la misma manera que para un asfalto convencional.

- Ensayo de Punto de Ablandamiento

Se define al Punto de Ablandamiento como la temperatura a la que una probeta del material en forma de disco, mantenida horizontalmente dentro de un anillo, se deforma por el peso de una bola de acero y toca una superficie situada a una cierta distancia cuando se calienta a una velocidad determinada en un baño de agua o glicerina. El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio.

- Ensayo de Recuperación elástica torsional

El ensayo consiste en medir la habilidad del material para recuperarse después de una elongación. Se aplica sobre una muestra de asfalto (a 25°C) un esfuerzo de torsión con un cilindro en un eje haciendo un giro de 180° y después de 30 minutos se mide el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado

La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

El resultado del ensayo se expresa, como recuperación elástica por torsión, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180°.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

A continuación es posible observar una planilla con su ensayo correspondiente realizado en el mes de Septiembre de 2017:

	SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (SAC) Registro 24 del procedimiento 001 del área de Laboratorio Actualizar Muestra Reg.L.001.20.AF.00009																																							
	VISCOSIDAD PENETRACION Y PUNTO DE ABLANDAMIENTO																																							
AFEMA S.A	AF #	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO																																					
MATERIAL	ASFALTO AM3	21/09/17	20/09/17																																					
A - TAREA PREVIA																																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIEMPO (minutos)</th> <th>TEMP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> </tbody> </table>	TIEMPO (minutos)	TEMP	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Viscosidad a</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 10%;">Poise</td> <td style="width: 30%;"><small>SEGÚN PROTOCOLO DE YPF</small></td> </tr> <tr> <td>Recuperación Torsión</td> <td>Lectura inicial</td> <td>180 °C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>30 minutos</td> <td>Lectura final</td> <td>152 °C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recuperación</td> <td></td> <td>84%</td> <td></td> </tr> </table>	Viscosidad a		Poise	<small>SEGÚN PROTOCOLO DE YPF</small>	Recuperación Torsión	Lectura inicial	180 °C		30 minutos	Lectura final	152 °C		Recuperación		84%	
TIEMPO (minutos)	TEMP																																							
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
7																																								
8																																								
9																																								
10																																								
Viscosidad a		Poise	<small>SEGÚN PROTOCOLO DE YPF</small>																																					
Recuperación Torsión	Lectura inicial	180 °C																																						
30 minutos	Lectura final	152 °C																																						
Recuperación		84%																																						
UBICACIÓN																																								
Extraído de: VILLA RETIRO - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0		PUNTO DE ABLANDAMIENTO																																						
*A DEFINIR - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0		PENETRACION (100grs-5seg) =/10 mm																																						
		Indice de Penetración =																																						
PROVEEDOR YPF COMITENTE DIRECCION PRO LABORATORIO VILLA RETIRO ENCARGADO ENSAYO HERRERA LUCIA	OBSERVACIONE - -																																							

Figura 3.4: Ensayo de recuperación elástica torsional realizado con asfalto de tipo modificado AM3 en el mes de Septiembre de 2017



Figura 3.5: Ensayo correspondiente a la planilla anterior

❖ CONTROL DE PROCESOS

A continuación se exponen los valores de recuperación torsional obtenidos en los ensayos realizados durante la Práctica Supervisada por la alumna y los gráficos elaborados a partir de estos resultados:

PROVEEDOR YPF

Tabla 3.3: Valores de recuperación elástica torsional obtenidos de asfalto de tipo modificado AM3

RECUPERACIÓN ELÁSTICA TORSIONAL	
Fecha de ensayo	% Recuperación
sep-17	84,0
sep-17	82,0
oct-17	82,0
oct-17	83,9
oct-17	82,2
oct-17	78,9
oct-17	82,0
oct-17	83,3
oct-17	78,9
oct-17	83,3
nov-17	81,1
nov-17	85,0
nov-17	78,3
dic-17	88,9

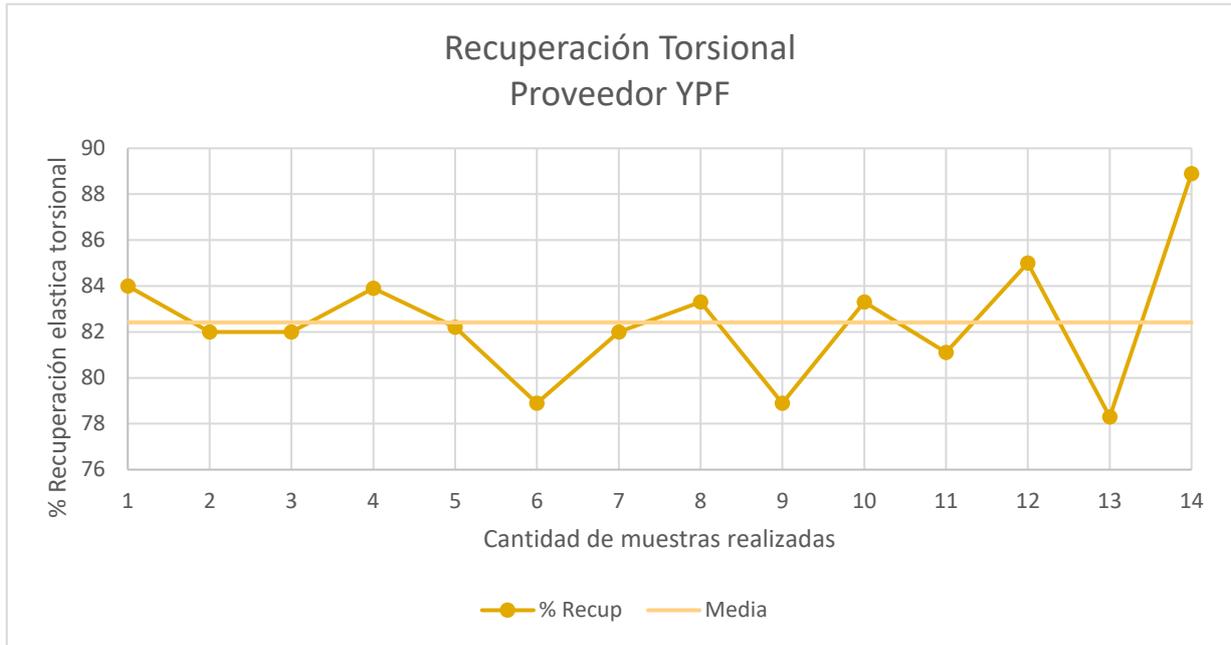


Figura 3.6: Gráfico de dispersión de los valores de recuperación torsional presentados anteriormente

❖ ANÁLISIS DE DATOS

Con respecto a la tabla, todos los valores presentaron con la normativa exigida de porcentaje de recuperación mayor a 70%.

En el gráfico se puede observar que todos los valores rondan la media con excepción del último que es marcadamente mayor pero como no existen consideraciones con respecto a valores límites se consideró que el proceso se encuentra bajo control.

4. PRODUCTOS PRIMARIOS: AGREGADOS

Agregado es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente.

En función de porcentajes pasantes y retenidos se define:

- Agregado Grueso o triturado: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (Nº 4)
- Agregado Fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (Nº 4) y queda retenido en el tamiz de 75 µm (Nº 200)
- Polvo Mineral: Porción de agregado fino que pasa el tamiz Nº 200
- Relleno Mineral: Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200)

4.1. AGREGADOS TRITURADOS

El agregado triturado se obtiene de cantera, en la cual mediante voladuras y sistemas mecanizados de rotura, se reducen los grandes bloques en agregados de distintos tamaños, que luego son clasificados mediante cribas para las distintas secciones. El proveedor habitual de Afema S.A. es Cantera Diquecito, ubicada en Ruta E 55, Km 4, Ciudad de La Calera, Córdoba.

De la calidad de las rocas que se explotan en las canteras depende la calidad de los agregados procesados y dispuestos para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

La roca es triturada por tres razones:

- Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa
- Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular
- Para reducir y mejorar la distribución y graduación de los tamaños de las partículas.

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

Los ensayos que se realizan para estos materiales son:

- Granulometría según VN-E7-65
- Desgaste Los Ángeles según Norma IRAM 1532
- Cubicidad según VN-E16-67
- Lajosidad según VN-E38-86
- Peso específico según VN-E13-67

Normalmente se trabaja con los intervalos de 0-6,6-19,6-25 y en forma compensatoria así como para cubrir faltantes se usará 6-12.

La alumna realizó los siguientes ensayos como ensayos de rutina:

- Granulometría: 1 vez por semana
- Polvo adherido: 1 por cada dos granulometrías (2 veces por mes)
- Desgaste Los Ángeles: 1 por cada dos granulometrías (2 veces por mes).

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Los demás ensayos no son considerados de rutina ya que se realizan cuando es necesario determinar la calidad del material de un proveedor específico o cuando se da un cambio de éste.

4.1.1. TRITURADO 0-6

Constituye la parte fina de los agregados. Como los demás triturados, este tiene su origen en la roca madre, es de ahí que tiene aristas marcadas. Esta propiedad le da resistencia y genera fricción entre las partículas, siendo el principal responsable de la resistencia a la deformación en mezclas asfálticas. Es usualmente denominado como arena de trituración.

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

El entorno granulométrico se encuentra entre los diámetros de 0 mm a 6 mm, y además debe cumplir con lo siguiente:

- Procedencia: Rocas sanas
- Desgaste igual o menor a 30% según IRAM 1532
- Granulometría tal que combinada con los demás elementos de la mezcla se cumpla el entorno granulométrico de cada capa.
- Índice de plasticidad menor a 10 según VN-E3-65
- La plasticidad de la fracción pasante tamiz 200 y por vía húmeda no debe superar el 10% y la fracción pasante tamiz 40 no debe superar el 40%

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

Los procedimientos y ensayos que se realizan son los mismos que se describen a continuación para Triturado 6-19.

❖ ANÁLISIS DE DATOS

En la planilla siguiente es posible observar que se cumplen los entornos granulométricos para el Triturado 0-6.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES



Sistema de Aseguramiento de la Calidad (S.A.C.)

AFEMA S.A. Villa Retiro

RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO

Ensayos de Granulometria

Prog.	Muestra	Reg.	Ensayo	Material	Proveed	% Pasantes													
						2	1½	1	¾	½	3/8	4	8	10	16	30	40	100	200
*A DEFINIR***																			
Material: TRITURADO 0-6																			
0000000	AF13990	AF.05313	13/09/2017	T 0-6 CDI							100	95	73		54		35	21	13,5
0000000	AF14070	AF.05330	27/09/2017	T 0-6 CDI							100	98	75		57		36	21	12,8
0000000	AF14168	AF.05363	11/10/2017	T 0-6 CDI							100	95	66		45		26	17	11,5
0000000	AF14175	AF.05365	13/10/2017	T 0-6 CDI							100	97	76		56		32	17	10,1
0000000	AF14267	AF.05391	21/10/2017	T 0-6 CDI							100	68	44		30		18	11	7,1
0000000	AF14284	AF.05395	24/10/2017	T 0-6 CDI							100	98	82		65		43	27	16,0
0000000	AF14314	AF.05403	25/10/2017	T 0-6 CDI							100	95	68		49		29	17	10,8
0000000	AF14330	AF.05407	30/10/2017	T 0-6 CDI							100	92	65		45		21	9	4,6
0000000	AF14352	AF.05417	31/10/2017	T 0-6 CDI							100	95	51		26		12	8	5,3
0000000	AF14353	AF.05418	31/10/2017	T 0-6 CDI							100	96	66		44		23	13	9,1
0000000	AF14432	AF.05431	06/11/2017	T 0-6 CDI							100	94	71		49		25	12	7,0
0000000	AF14454	AF.05436	09/11/2017	T 0-6 CDI							100	92	69		51		30	18	10,4
0000000	AF14505	AF.05446	16/11/2017	T 0-6 CDI							100	98	64		32		13	7	4,4
0000000	AF14609	AF.05479	28/11/2017	T 0-6 CDI							100	97	72		51		28	16	10,3
0000000	AF14734	AF.05496	05/12/2017	T 0-6 CDI							100	92	59		40		22	13	8,8
0000000	AF14831	AF.05521	18/12/2017	T 0-6 CDI							100	97	71		51		29	15	9,2

Figura 4.1: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 0-6

4.1.2. TRITURADO 6-19

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

- Procedencia: Rocas sanas
- Desgaste igual o menor a 30% según IRAM 1532
- Cubicidad mayor de 0.50 según VN-E16-67
- Absorción, Durabilidad y Lajosidad adecuados para verificar la calidad de la piedra
- Polvo adherido < 2ml. según VN-E68-75
- Granulometría tal que combinada con los demás elementos de la mezcla haga cumplir el entorno granulométrico de cada capa.

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

- Ensayo de Cubicidad

Este ensayo se utiliza para determinar las características de forma de las partículas que constituyen el agregado, mediante operaciones de zarandeo a través de cribas reductoras y definiendo la misma por el valor que resulta para su "factor de cubicidad". Este valor de cubicidad toma el valor de uno para agregados de cubicidad óptima y cero para los de cubicidad mínima (partículas sumamente achatadas o lajosas).

- Ensayo de Peso Específico y Absorción

Peso específico aparente: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material.

Peso específico del agregado seco: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.

Peso específico del agregado saturado: Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada. El volumen incluye los vacíos permeables o impermeables del material.

Absorción: Es el volumen de los vacíos permeables del material expresada en porcentajes del peso en el aire del mismo secado en estufa a 105°-110°C hasta constancia de peso.

- Ensayo de Lajosidad y Elogación

La intención de este ensayo es determinar precisamente qué proporción de elementos lajosos tenemos y, de esta manera, tener un dato con el que calificar al material. Se define como Índice de Lajosidad de una fracción de agregados al porcentaje en peso de las partículas que la forman, en cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción. Se define como Índice de elongación de una fracción de áridos el porcentaje en peso de las partículas que la forman, en cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la reacción.

- Ensayo de Polvo Adherido

El polvo adherido es la cantidad de polvo adherido a la superficie de los agregados pétreos que no se desprende totalmente por simple tamizado, referido a un área superficial total y expresado volumetricamente en ml. de polvo adherido por 100 gr. de agregado. El objeto fundamental es establecer el método de laboratorio para medir una de las características superficiales de los agregados pétreos, en los que la adherencia se ve perjudicada por la presencia del polvo adherido.

Lectura a las 24 hs = ml. %

En base a resultados se han fijado como límite superior de polvo adherido (en la construcción de tratamientos simples, dobles y triples) los siguientes valores:

Máximo admisible en grava = 1,5 ml.

Máximo admisible en agregado triturado = 2,0 ml.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- Ensayo de Desgaste Los Ángeles

Este método permite determinar la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2.5 mm de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³ mediante la máquina de los Ángeles.

Se calcula el porcentaje de pérdida por abrasión mediante la fórmula siguiente:

$$P = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

Donde: P= la pérdida por abrasión en porcentaje, m= masa de la muestra seca en gramos, m₁= masa del material retenido en el tamiz 1,7mm en gramos

- Ensayo de Granulometría

El ensayo de granulometría consiste en pasar la muestra por una serie de tamices normalizados para así determinar las fracciones de los distintos tamaños, y así poder establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular.

❖ ANÁLISIS DE DATOS

A continuación se presentan las planillas de los tres ensayos realizados rutinariamente para demostrar que se cumplen los límites especificados en todos los casos:

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- Desgaste Los Ángeles

					
AFEMA S.A. Villa Retiro RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO					
Sistema de Aseguramiento de la Calidad (S.A.C.) Ensayos Desgaste Los Angeles					
CANTERA DIQUECITO					
*A DEFINIR***					
F.Ensayo	Muestra	Registro	Material	Proveedor	% Degaste
05/10/2017	.AF.14126	.AF.00069	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	18,5%
22/10/2017	.AF.14285	.AF.00073	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	20,2%
14/11/2017	.AF.14484	.AF.00077	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	20,6%
28/11/2017	.AF.14608	.AF.00080	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	20,3%
11/12/2017	.AF.14742	.AF.00081	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	22,6%

Figura 4.2: Planilla de Ensayos de Desgaste Los Ángeles de Triturado 6-19

- Granulometría

																				
AFEMA S.A. Villa Retiro RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO																				
Sistema de Aseguramiento de la Calidad (S.A.C.) Ensayos de Granulometria																				
*A DEFINIR***																				
						% Pasantes														
Prog.	Muestra	Reg.	Ensayo	Material	Proveed	2	1½	1	¾	½	¾	4	8	10	16	30	40	100	200	
*A DEFINIR***																				
Material: TRITURADO 6-19																				
0000000	AF13958	AF.05307	09/09/2017	T 6-19 CDI				100	99	59	36	8								
0000000	AF14063	AF.05327	26/09/2017	T 6-19 CDI				100	91	50	36	11								
0000000	AF14089	AF.05344	28/09/2017	T 6-19 CDI				100	92	44	29	6								
0000000	AF14169	AF.05364	11/10/2017	T 6-19 CDI				100	98	54	36	3								
0000000	AF14188	AF.05372	14/10/2017	T 6-19 CDI				100	85	23	11	1								
0000000	AF14201	AF.05379	19/10/2017	T 6-19 CDI					100	66	58	11								
0000000	AF14433	AF.05432	08/11/2017	T 6-19 CDI				100	92	39	24	5								
0000000	AF14484	AF.05437	14/11/2017	T 6-19 CDI				100	95	55	38	7								
0000000	AF14608	AF.05478	28/11/2017	T 6-19 CDI				100	91	45	29	7								
0000000	AF14742	AF.05500	05/12/2017	T 6-19 CDI				100	98	73	56	19								
0000000	AF14765	AF.05508	12/12/2017	T 6-19 CDI				100	88	47	28	5								
0000000	AF14829	AF.05519	15/12/2017	T 6-19 CDI				100	93	54	33									
0000000	AF14833	AF.05523	18/12/2017	T 6-19 CDI				100	93	57	37	9								

Figura 4.3: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 6-19 realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- Polvo adherido

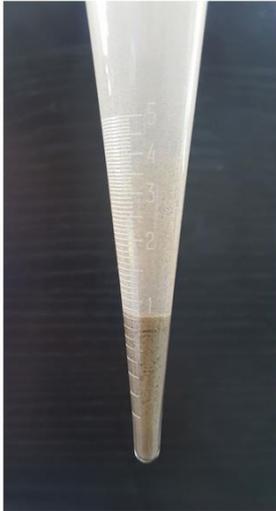
	SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (SAC) Registro 08 del procedimiento 001 del área de Laboratorio Reg.L.001.08.AF.00001					
POLVO ADHERIDO VN-E68-75						
MUESTRA L.001.01.	AF	14765	FECHA ELABORACION	14/12/17	FECHA ENSAYO	13/12/17
MATERIAL TRITURADO 6-19						
LECTURA EN 24 HS <div style="background-color: yellow; text-align: center; padding: 5px; font-weight: bold;">0,82 ml.</div> Máximo Admisible en AGREGADO TRITURADO < 2,0 ml. VN-E68-75 UBICACIÓN Extraído de: VILLA RETIRO - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0 *A DEFINIR - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0						
PROVEEDOR CANTERA DIQUECITO CONCEDEnte LABORATORIO VILLA RETIRO ENCARGADO ENSAYO HERRERA LUCIANO	OBSERVACIONES					

Figura 4.4: Ensayo de Polvo Adherido en Triturado 6-19 realizado en Diciembre de 2017

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

4.1.3. TRITURADO 6-25

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

Las condiciones a cumplir son las mismas que se exigen para el Triturado 6-19 mm.

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

Los procedimientos y ensayos son los mismos que se realizan para el Triturado 6-19 pero el único ensayo que se realiza de manera rutinaria es el Ensayo de Granulometría ya que el Ensayo de Polvo Adherido que se realiza para el Triturado 6-19 también resulta representativo del Triturado 6-25.

❖ ANALISIS DE DATOS

A continuación se presentan las planillas de Ensayos de Granulometría realizadas al Triturado 6-25 con sus intervalos y porcentajes de tamices donde se puede observar que cumplen con los entornos especificados.

		Sistema de Aseguramiento de la Calidad (S.A.C.)																		
AFEMA S.A. Villa Retiro		Ensayos de Granulometria																		
RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO																				
Prog.		Muestra	Reg.	Ensayo	Material	Proveed	% Pasantes													
							2	1½	1	¾	½	3/8	4	8	10	16	30	40	100	200
*A DEFINIR***																				
Material:		TRITURADO 6-25																		
0000000	AF14200	AF.05378	19/10/2017	T 6-25	CDI		100	92	46	10	7	4								
0000000	AF14268	AF.05396	23/10/2017	T 6-25	CDI		100	86	48	7	3	1								
0000000	AF14453	AF.05435	09/11/2017	T 6-25	CDI		100	85	45	6	3	1								
0000000	AF14736	AF.05498	05/12/2017	T 6-25	CDI		100	97	57	1	0	0								
0000000	AF14855	AF.05529	18/12/2017	T 6-25	CDI		100	79	24	1	0	0								

Figura 4.5: Planilla de Ensayos de Granulometría de Triturado 6-25 realizados durante los meses de Septiembre a Diciembre de 2017

4.2. AGREGADOS NATURALES

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Se generan mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

La empresa trabaja con arena silícea y relleno mineral como principales agregados naturales para la construcción de pavimentos.

4.2.1. ARENA SILICEA

El proveedor de la empresa es Arenera Saqui. Se envían fletes semanalmente a retirar de la cantera y se depositan en los acopios. Con cada arribo de material se realiza el control de calidad correspondiente.

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

El agregado fino debe estar limpio y libre de restos vegetales, arcilla y otra materia orgánica o sustancias químicamente nocivas. Cumpliendo con lo siguiente:

- Equivalente de Arena mayor a 55% según VN-E10-82
- Sales Totales menor a 1,5% VN-E18-89
- Sulfatos menor a 0,5%
- Granulometría deberá ser tal que compuesta con los demás elementos inertes de la mezcla haga cumplir el entorno granulométrico especificado para la capa
- Peso específico según VN-E15-67

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

- Ensayo de sales totales y sulfatos solubles

Esta norma detalla el procedimiento a seguir en laboratorios de campaña para la determinación del contenido de sales solubles y sulfatos en suelos y estabilizados o suelos granulares.

El porcentaje de sales totales existentes en el suelo ensayado se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$PS \% = 5 \times (P - T)$$

Donde: PS % = Porcentaje de sal en por ciento de suelo seco, T = Tara de la cápsula, P = Peso de la cápsula más sal.

Este ensayo no se realizará de manera rutinaria debido a que la arena es proveniente de yacimientos naturales ubicados en la cuenca del Río Suquía. Se sabe, ya que se han hecho los estudios correspondientes, que estas arenas no tienen cantidades de sales perjudiciales.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- Ensayo de Granulometría

Descrito anteriormente para agregados gruesos.

Ensayo rutinario al igual que el ensayo de Equivalente de Arena. Se realizarán una vez por semana.

- Ensayo de Equivalente de Arena

El ensayo del equivalente de arena suministra un medio rápido para separar las partículas finas o arcillosas de los granos más gruesos y calcular las proporciones relativas, comparándolas en base a sus volúmenes.

El equivalente de arena se define por la siguiente expresión:

$$EA = \frac{\text{Lectura del nivel superior de la arena}}{\text{Lectura del nivel superior de los finos}} \times 100$$

A modo de ejemplo se adjunta el resultado de un Ensayo de Equivalente de Arena realizado a una arena silíceica durante el mes de Octubre de 2017:

AFEMA S.A. Villa Retiro		SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (SAC)	
RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO		Registro 08 del procedimiento 001 del área de Laboratorio	
		Equivalente Arena Registro L.001.01.AF.00085	
Ensayo EQUIVALENTE ARENA			
Muestra Registro	L.001.01.AF.14315	Fecha Elaboracion	25/10/2017
MATERIAL:	ARENA SILICEA	Fecha Ensayo	25/10/2017
Tubo N: 1			
E.A. 1	$\frac{\text{Lectura del nivel superior de Arena}}{\text{Lectura del nivel superior de los Finos}} \times 100 =$	E.A. 1	$\frac{56,7}{63} \times 100 = \text{EquiArena: } 90,00\%$
Tubo N: 2			
E.A. 2	$\frac{\text{Lectura del nivel superior de Arena}}{\text{Lectura del nivel superior de los Finos}} \times 100 =$	E.A. 2	$\frac{57,5}{65} \times 100 = \text{EquiArena: } 88,46\%$
Tubo N: 3			
E.A. 3	$\frac{\text{Lectura del nivel superior de Arena}}{\text{Lectura del nivel superior de los Finos}} \times 100 =$	E.A. 3	$\frac{57}{64} \times 100 = \text{EquiArena: } 89,06\%$
Equivalente Arena: 89,17%			
UBICACION Extraído: VILLA RETIRO - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0 Colocado: *A DEFINIR*** - NINGUNO - NINGUNO - NINGUNO Carril: NINGUNO prog: 0		Observaciones - -	
Concedente: DIRECCION PROVINCIAL DE VIALIDAD Proveedor: SAQUI ARENERA Laboratorio: VILLA RETIRO			

Figura 4.6: Resultado de un Ensayo de Equivalente de Arena

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

❖ ANÁLISIS DE DATOS

A continuación se presenta una planilla con los Ensayos de Granulometría realizados a la arena silícea con sus entornos granulométricos.

Sistema de Aseguramiento de la Calidad (S.A.C.)																			
AFEMA S.A. Villa Retiro						Ensayos de Granulometria													
RUTA 111 KM 7,5 VILLA RETIRO																			
Prog.	Muestra	Reg.	Ensayo	Material	Proveed	% Pasantes													
						2	1½	1	¾	½	3/8	4	8	10	16	30	40	100	200
*A DEFINIR***																			
Material: ARENA SILICEA																			
0000000	AF14023	AF.05325	21/09/2017	ASIL ASQ							100	98	85		54		11	2	1,7
0000000	AF14069	AF.05329	27/09/2017	ASIL ASQ							100	100	95		73		21	4	3,1
0000000	AF14076	AF.05345	27/09/2017	ASIL ASQ							100	100	94		71	37		4	
0000000	AF14189	AF.05373	14/10/2017	ASIL ASQ							100	99	87		59		16	4	2,0
0000000	AF14315	AF.05404	25/10/2017	ASIL ASQ							100	98	87		59		14	3	2,5
0000000	AF14434	AF.05433	07/11/2017	ASIL ASQ							100	98	84		55		12	2	1,4
0000000	AF14500	AF.05444	16/11/2017	ASIL ASQ							100	100	93		69		20	4	3,5
0000000	AF14618	AF.05484	29/11/2017	ASIL ASQ							100	97	84		60		20	6	3,3

Figura 4.7: Planilla de Ensayos de Granulometría de Arena Silícea

5. MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y el desempeño de la misma como pavimento terminado.

El diseño de las mezclas asfálticas se caracteriza por la composición en volumen de sus componentes (concreto asfáltico, agregados y vacíos). Por este motivo, su análisis se enfocó en cuatro características particulares y la influencia que éstas puedan tener en el comportamiento final:

- **DENSIDAD DE LA MEZCLA**

Definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente en kilogramo por metro cúbico (kg/m³) o libras por pie cúbico (lb/ft³). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua. La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación in-situ la obra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

- **VACIOS DE AIRE**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menos sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto (condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie).

- **VACIOS DEL AGREGADO MINERAL**

Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan los valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar en el contenido de asfalto.

• CONTENIDO DE ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido de relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. En el siguiente esquema representativo (Figura 5.1) puede observarse la descripción anterior.

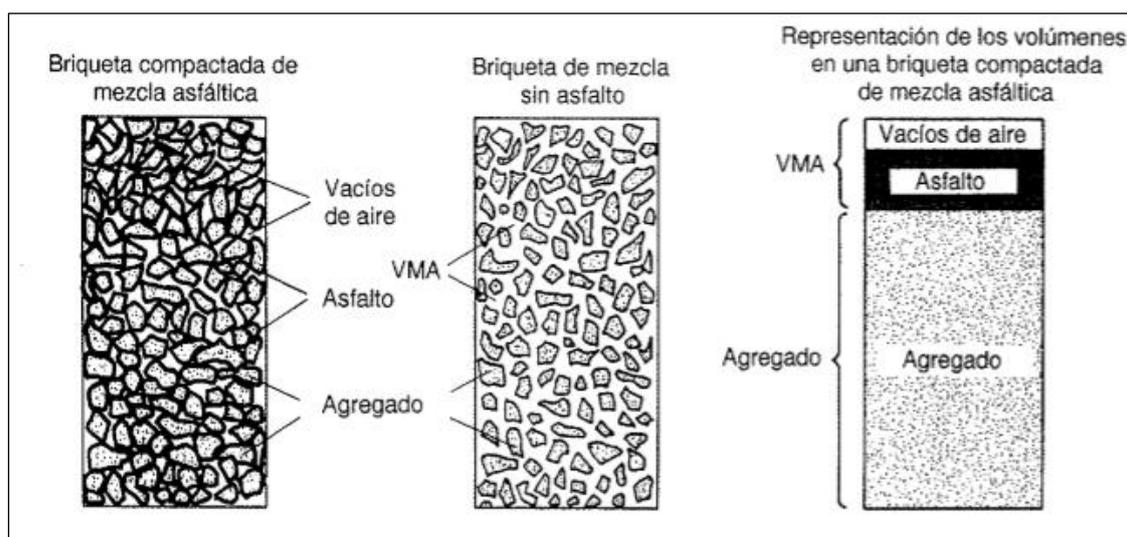


Figura 5.1: Esquema representativo de los contenidos volumétricos de asfalto, agregado y vacíos en una mezcla asfáltica (Fuente: Tecnología de asfalto y Prácticas de Construcción)

5.1. METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. Es aplicable únicamente a mezclas asfálticas calientes con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm.

El método usa muestras normalizadas de probetas de 64 mm de espesor por 102 mm de diámetro. Una serie de probeta, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto es preparada, usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

❖ DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO

• PREPARACION PARA EFECTUAR LOS PROCEDIMIENTOS

El primer paso es determinar las características que debe tener la mezcla y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir las características deseadas.

• SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla final.

Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregados. Esto debe ser así porque los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla final de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

• PREPARACION DEL AGREGADO

Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

El método requiere que los agregados estén libres de humedad. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja por separado y se calienta en un horno a temperatura de 110°C.

Después de un cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y se registra su valor.

La muestra se calienta completamente una segunda vez y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos. Lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

• ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR VIA HÚMEDA

Luego de que cada muestra de agregado es secada y pesada se lava a través del tamiz 200 para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo al agregado.

Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

- DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO

El peso específico de una muestra de agregado se determina al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse.

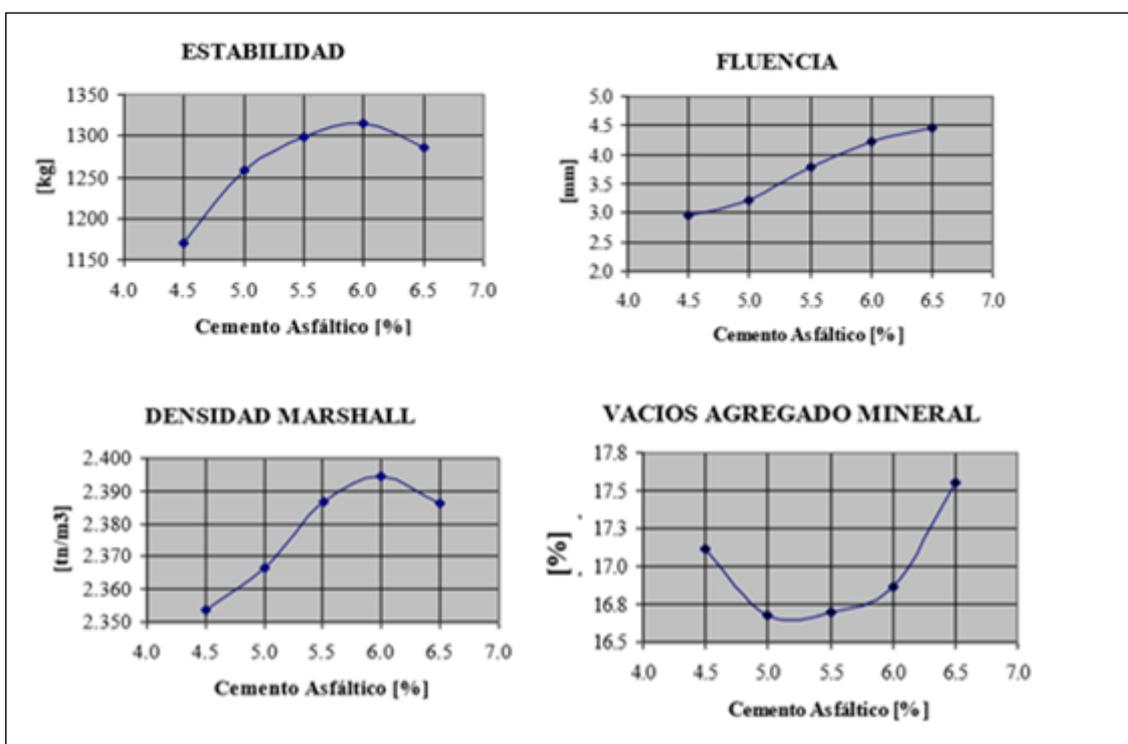
- PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas se preparan haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas queda formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Finalmente, este procedimiento permite la elaboración de siete gráficas en función del porcentaje de cemento asfáltico:

- Estabilidad vs %CA
- Fluencia vs %CA
- Densidad vs %CA
- Vacíos vs %CA
- VAM vs %CA
- RBV vs %CA
- REF vs %VA



CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

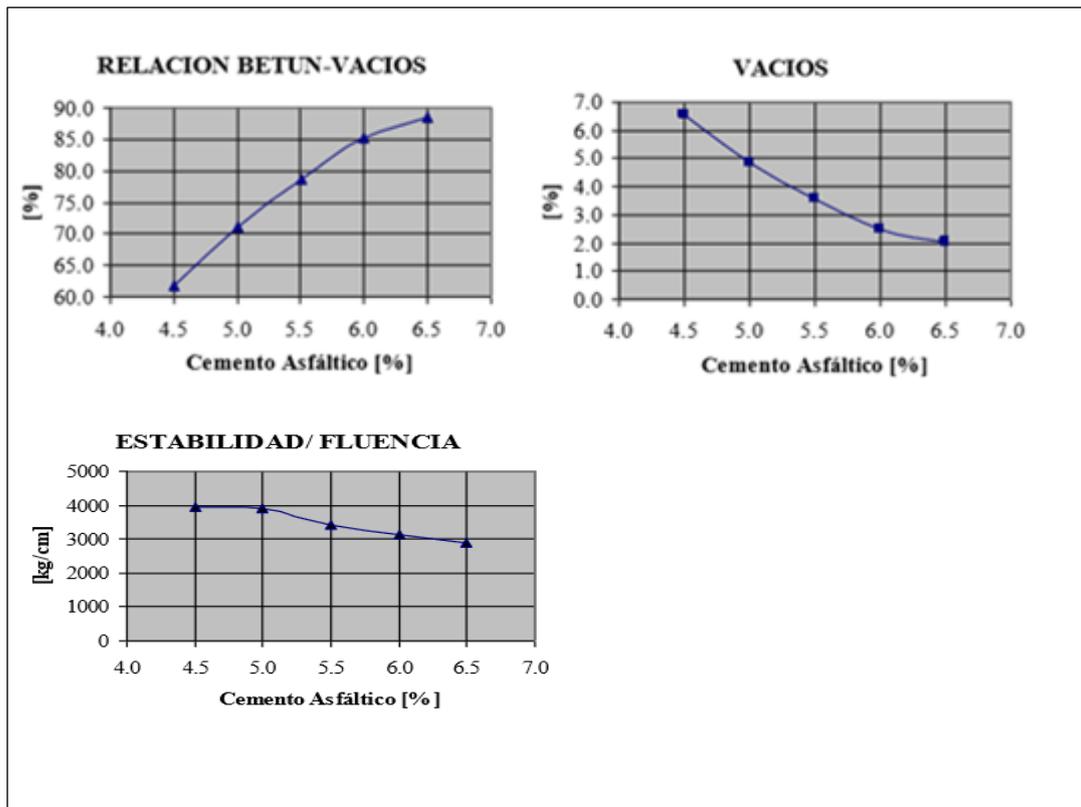


Figura 5.2: Gráficas de parámetros en función del contenido de asfalto por el Método de Marshall (Fuente: Cátedra de Transporte III)

Como la empresa trabaja con mezclas “estándar”, debido a la poca variabilidad de los requerimientos según pliego para las distintas obras, no fue necesaria hacer la determinación del contenido de asfalto óptimo.

Los porcentajes de asfalto que se utilizaron se presentan a continuación con un detalle de la obra a la que se destinan y la función que cumplen en ésta:

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Tabla 5.2: Tabla informativa sobre destino de obra y tipo de asfalto

OBRA	FUNCION	Tipo de asfalto	Porcentaje de asfalto
<i>Municipalidad de Córdoba</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>4,7</i>
	<i>Base negra</i>	<i>AM3</i>	<i>5,4</i>
	<i>Carpeta asfáltica</i>		<i>5,5</i>
<i>Av. San Martin - Colonia Caroya</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>4,7</i>
	<i>Carpeta asfáltica</i>	<i>AM3</i>	<i>5,4</i>
<i>R.P E-66 Ascochinga - Jesús Maria</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>5,4</i>
	<i>Carpeta asfáltica</i>	<i>AM3</i>	<i>5,5</i>
			<i>5,6</i>
<i>RUTA NACIONAL N°9 NORTE - Juarez Celman</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>4,7</i>
	<i>Banquina</i>	<i>AM3</i>	<i>5,2</i>
	<i>Base negra</i>		<i>5,3</i>
	<i>Carpeta asfáltica</i>		
<i>R.P E-53 Salsipuedes</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>4,7</i>
	<i>Base negra</i>	<i>AM3</i>	<i>5,4</i>
	<i>Carpeta asfáltica</i>		<i>5,5</i>
<i>R.P 14 Carlos Paz - Icho Cruz – Copina</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>5,4</i>
<i>R.P E-57 Rio Ceballos - Unquillo - Villa Allende</i>	<i>Bacheo</i>	<i>CA30</i>	<i>5,4</i>
			<i>5,5</i>
<i>Villa Esquiú</i>	<i>Carpeta asfáltica</i>	<i>CA30</i>	<i>5,0</i>

5.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas.

El objetivo principal del procedimiento de diseño de mezclas es garantizar a la mezcla que posea cada una de estas propiedades, por este motivo será de importancia ser consciente de qué significa cada una de éstas, cómo es evaluada y qué representa en términos de rendimiento y calidad en el pavimento:

❖ ESTABILIDAD

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas sin desarrollar ahuellamiento u ondulaciones.

Los requisitos de estabilidad solamente pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito debido a que estos dependen del tránsito esperado. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción en las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a la fuerza ejercida por el tráfico.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga. También aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando este nivel es sobrepasado, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo que se traduce en pérdidas de fricción entre las partículas.

❖ DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y segregación de las partículas de asfalto. Estos pueden ser el resultado de la acción del clima, del tránsito o una combinación de ambos.

La durabilidad de una mezcla se puede mejorar de tres formas:

- Usando la mayor cantidad posible de asfalto: Aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.
- Usando una graduación densa de agregado resistente a la separación: proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Además, resiste a la desintegración bajo las cargas del tránsito las cuales tienden a separar las partículas de agregado de las partículas de asfalto.
- Finalmente, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad

❖ IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad es la resistencia al paso de agua y aire hacia su interior, o a través de él. Está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas usadas en la construcción tienen cierto grado de permeabilidad siempre que se esté dentro de los límites aceptables.

❖ TRABAJABILIDAD

Descrita por la facilidad con que una mezcla puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, como son, el tipo de agregado y/o la granulometría. Es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo, alrededor de tapas de alcantarillado o curvas muy pronunciadas.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tiene algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado alta podría hacer que la mezcla se vuelva tierna.

❖ FLEXIBILIDAD

Es la capacidad de un pavimento para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

❖ RESISTENCIA A LA FATIGA

La resistencia a la fatiga es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

❖ RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es la habilidad de una superficie de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (fenómeno conocido como hidroplaneo). Para ello, la superficie deberá ser áspera y rugosa lo que implica una mezcla de graduación abierta. Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento bajo el tránsito.

❖ CONDICIONES A CUMPLIR

Conocidas las propiedades que se espera que reúna la mezcla asfáltica, la norma IRAM 6845 establece un plan de ensayos sobre el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica que se deberá cumplir para reunir cada una de las propiedades deseadas.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Para analizar la calidad de la mezcla nos centramos en las condiciones a cumplir según VN-E9-86 por el Método de Marshall:

- Fluencia entre 2 y 4,5 mm
- Vacíos entre 3 y 5%
- VAM mayor a 14%
- Relación Betún Vacíos entre 70 y 80%
- Estabilidad Mínima 800 Kg
- Relación estabilidad Fluencia entre 2100 y 4000 Kg/cm
- Estabilidad Residual Mayor a 80% de la estabilidad original

❖ PROCEDIMIENTOS Y ENSAYOS

Para realizar el control de calidad de la mezcla se ensayaron una cierta cantidad de muestras diarias. Estas muestras fueron extraídas de distintos camiones aleatoriamente. En la imagen siguiente (Figura 5.3) se presenta la manera de realizar el fraccionamiento de la muestra para que se considere representativa.

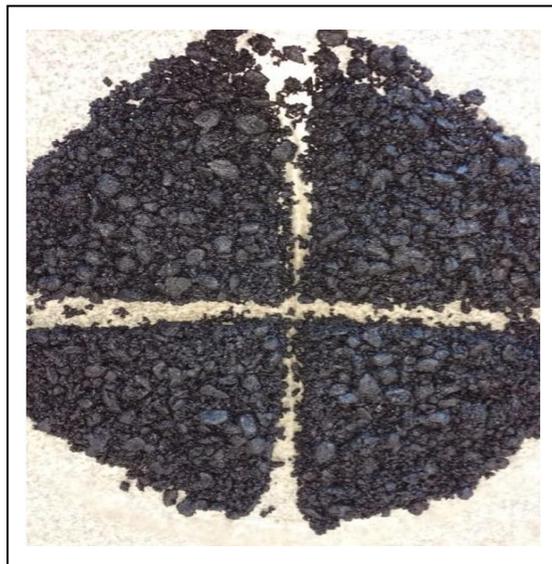


Figura 5.3: Muestra representativa de mezcla obtenida por cuarteo

Por el método de Marshall, una vez elaboradas las probetas y enumeradas (Figura 5.4), se realiza el Ensayo de Estabilidad y Fluencia (Figura 5.5); y a partir de éste se derivarán todas las variables a considerar en el diseño y calidad de la mezcla. (Ver descripción del Método en Anexo)



Figura 5.4: Probetas moldeadas y numeradas para ser ensayadas por el Método de Marshall

Estabilidad de Marshall: Carga máxima en Kg. que soporta una probeta de 6,35 cm. de altura y 10,16 cm. de diámetro cuando se lo ensaya a una temperatura dada, cargándola en sentido diametral a una velocidad de 5,08 cm. / minuto

Fluencia de Marshall: Deformación total expresada en mm. que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.



Figura 5.5: Ensayo de Estabilidad y Fluencia realizado en Laboratorio de la empresa Afema S.A.

Entonces:

$$Estabilidad = L1 \times K1 \times K2$$

Donde:

L1= Lectura en el dial del comparador extensométrico de carga, K1= Factor de equivalencia en Kg. del aro, K2= Factor de corrección de tabla según norma.

Una vez realizado este ensayo es posible calcular:

- **PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS**

Se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$PU = \frac{Ps}{Ph - Pi}$$

Donde: PU = peso unitario de la probeta en gr/cm^3 ; Ps = peso en aire de la probeta seca en gramos; Ph = peso en aire de la probeta saturada con agua en gramos; Pi = peso de la probeta, previamente saturada, sumergida en agua en gramos.

- **DENSIDAD MAXIMA TEORICA (DENSIDAD RICE)**

A continuación se puede observar un frasco kitasato conectado a una bomba de vacío:

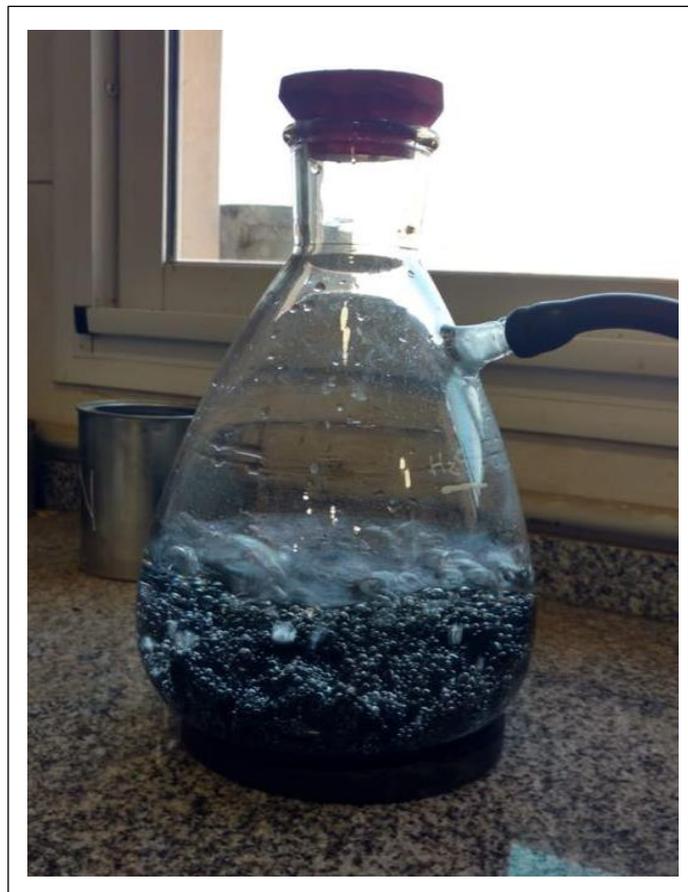


Figura 5.6: Ensayo Marshall realizado en el Laboratorio de la Empresa Afema S.A.

Para la determinación de la Densidad Teórica Máxima de la mezcla, se emplea la siguiente fórmula:

$$DT = \frac{A}{A + D - E}$$

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Donde: DT = Densidad Teórica Máxima expresada en gr/cm ; A = Peso en gramos de la mezcla asfáltica (peso mezcla en frasco – peso frasco vacío); D = Peso en gramos del frasco lleno con agua destilada a $25^{\circ}C$. E = Peso en gramos del frasco conteniendo la mezcla y el agua destilada a $25^{\circ}C$. (enrasado después de hacer vacío).

- **VACÍOS DE LA MEZCLA COMPACTADA**

Expresado en porcentaje del volumen total indica la diferencia entre la densidad teórica y la real para el estado de compactación alcanzado. Se calcula por la fórmula siguiente:

$$\%V = 100 \times \left(1 - \frac{d}{DT}\right)$$

Donde: d = Peso unitario en gramos de probeta de mezcla asfáltica compactada; DT = densidad teórica máxima de la mezcla compactada en gramos.

- **VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VAM)**

Expresado en porcentaje del volumen total, representa el volumen de vacíos existentes en el agregado mineral al estado de densificación alcanzado. Parte de volumen de vacíos está ocupado por el C. A.

Se calcula con la fórmula siguiente:

$$\%VAM = V + (d \times \%CA)$$

Donde: V = Vacíos de la mezcla compactada; d = Peso unitario en gramos de la probeta de mezcla asfáltica compactada; C. A = Porcentaje en peso de CA que interviene en la mezcla considerando el peso específico del CA igual a 1.

- **RELACIÓN BETÚN – VACÍOS (RBV)**

Representa el porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM) ocupado por el ligante asfáltico en la mezcla compactada

Se calcula por la fórmula siguiente:

$$\%RBV = \frac{100 \times d \times CA}{VAM}$$

Los valores de la Estabilidad, Fluencia, Vacíos de la mezcla compactada, Vacíos del agregado mineral y Relación Betún - Vacíos, se expresan como el promedio aritmético de los valores individuales obtenidos para cada probeta de la muestra realizada.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

• DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO

Se realizaron ensayos de tres tipos para determinar el contenido de asfalto en la mezcla: Ensayo por Método Centrifugo, por Método Abson y con Horno de Ignición. En la empresa no se trabaja por el Método Abson ya que libera gases perjudiciales para la salud. De estos dos, horno de ignición y extracción centrífuga, el primero fue el más utilizado dada su economía y rapidez.

Ensayo para determinación del contenido de asfalto

Para el ensayo en horno de ignición se toman como muestra 1000 gramos de mezcla y se los coloca en el horno durante 40 minutos, una vez que éste alcanzó una temperatura de 600°C. Luego, se remueve un poco la mezcla y se lo coloca 10 minutos más para asegurar que se quemó todo el asfalto.

Finalmente, se deja enfriar y se pesa la muestra para obtener el porcentaje de asfalto.

Se presenta, a continuación, una planilla en detalle, perteneciente al Sistema de Aseguramiento de la Calidad para mezclas asfálticas por el Método de Marshall. Mediante esta planilla se puede observar como se registraron diariamente cada uno de los parámetros descritos anteriormente.

A su vez, permite dejar asentadas otras características relacionadas con la obra de destino, la función del asfalto, la fecha de elaboración y fecha de ensayo, etc.

AFEMA S.A. Villa Retiro Ruta 111 Km 7,5 Villa Retiro Cba		SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (SAC) Registro 13 del procedimiento 001 del área de Laboratorio Marshall Registro: L.001.13.AF.04110																																							
MEZCLAS ASFALTICAS - ENSAYOS MARSHALL RICE Y ABSON																																									
Expediente: 0046-017049/2014 OBRA: DIRECCION PROVINCIAL DE VIALIDAD Depto: Conservacion de pavimento-Zona I capital y alrededores-																																									
Muestra Registro L.001.01.AF.14195				Fecha Elaboracion 13/10/2017				Fecha Ensayo 13/10/2017																																	
MATERIAL: CAC D 19 POLIMERO																																									
Residual	Probeta	Peso seco	Volumen	Densidad Marshall	Vacios	Asfalto en Volumen	V.A.M	B/V	Altura Probeta	Factor Correccion	Lectura dial	Estabilidad	Fluencia	Estabilidad-Fluencia																											
	Nº	g	P.Sat. P.Sumerg.	3-1/2	4	5	6-4+5	7-5/8	8	9	10-8x9x13	11	12-10/11																												
<input type="checkbox"/>	1	1271	514	2,473	3,8%	13,3%	17,1%	77,6%	62,9	1,01	132	1502,5	3,7	4061																											
<input type="checkbox"/>	4	1272	514	2,475	3,7%	13,3%	17,0%	78,0%	63,1	1,01	127	1445,6	3,5	4130																											
<input checked="" type="checkbox"/>	2	1276	517	2,468	4,0%	13,2%	17,2%	76,8%	63,7	1,00	110	1239,7																													
<input checked="" type="checkbox"/>	3	1273	514	2,477	3,7%	13,3%	17,0%	78,4%	63,1	1,01	116	1320,4																													
Promedio				2,473	3,8%	13,3%	17,1%	77,7%				1474,1	3,6	4096																											
Especificacion					3 - 5		>14	70-80				>800	3 - 6	>2500 <4000																											
UBICACION Extraido: Av. San Martín - COLONIA CAROYA - NINGUNO - CALZADA - CARPETA Carril: NINGUNO prog: 0 Colocado: Av. San Martín - COLONIA CAROYA - NINGUNO - CALZADA - CARPETA Carril: NINGUNO prog: 0		% de ASFALTO 5,4% Registro L.001.14.AF.04145 ASFALTO AM3 MEJORADOR DE ADHERENCIA 0,4% RICE: 2,571 Registro L.001.05.AF.04088		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Material</th> <th>Proveedor</th> <th>Aridos</th> <th>Mezcla</th> </tr> <tr> <td>TRITURADO 6-19</td> <td>CANTERA DIQUECITO</td> <td>45,0</td> <td>42,6</td> </tr> <tr> <td>TRITURADO 0-6</td> <td>CANTERA DIQUECITO</td> <td>40,0</td> <td>37,9</td> </tr> <tr> <td>ARENA SILICEA</td> <td>SAQUI ARENERA</td> <td>15,0</td> <td>14,2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Asfalto:</td> <td colspan="2">5,4</td> </tr> </table>		Material	Proveedor	Aridos	Mezcla	TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	45,0	42,6	TRITURADO 0-6	CANTERA DIQUECITO	40,0	37,9	ARENA SILICEA	SAQUI ARENERA	15,0	14,2	Asfalto:		5,4		Comitente: DIRECCION PROVINCIAL DE VIALIDAD Proveedor: AFEMA Laboratorio: VILLA RETIRO		Factor de Aro: 11,27 Kg/div Temperatura de Elaboracion: 170 °C Temperatura de Moldeo: 160 °C		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center;">RESIDUAL</td> <td>Prom Normal</td> <td>1474</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">86,8%</td> </tr> <tr> <td>Prom Residual</td> <td>1280</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Especificacion > 75</td> </tr> </table>		RESIDUAL	Prom Normal	1474	86,8%	Prom Residual	1280	Especificacion > 75			
Material	Proveedor	Aridos	Mezcla																																						
TRITURADO 6-19	CANTERA DIQUECITO	45,0	42,6																																						
TRITURADO 0-6	CANTERA DIQUECITO	40,0	37,9																																						
ARENA SILICEA	SAQUI ARENERA	15,0	14,2																																						
Asfalto:		5,4																																							
RESIDUAL	Prom Normal	1474	86,8%																																						
	Prom Residual	1280																																							
Especificacion > 75																																									

Figura 5.7: Planilla de mezclas asfálticas por el Método de Marshall con un asfalto de tipo modificado AM3

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Habiéndose realizado un estudio para cada una de las variables y su contribución en el resultado final de la mezcla se realizó el análisis de los gráficos de control. Teniendo en cuenta que cada variable contribuye por separado pero para lograr un producto final el análisis se realizó en forma global.

Se hicieron dos análisis correspondientes al tipo de asfalto utilizado en cada mezcla.

5.3. MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES ELABORADAS CON ASFALTO CONVENCIONAL

Se presentan a continuación los gráficos de control de variables. Éstos han sido elaborados en función de los parámetros previamente mencionados y la cantidad de muestras realizadas durante el período de duración de la Práctica Supervisada (3 meses). En función de los gráficos presentados por separado se realiza, posteriormente, un análisis conjunto de la mezcla para elaborar una conclusión global acerca del comportamiento de la mezcla.

❖ GRAFICOS DE CONTROL DE VARIABLES

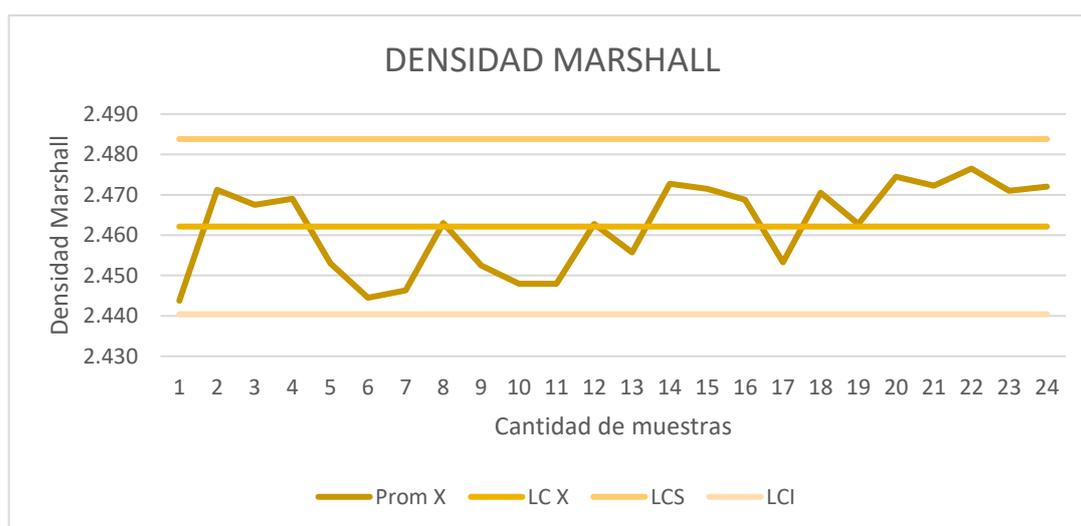


Figura 5.8: Gráfico de control de Densidad Marshall de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

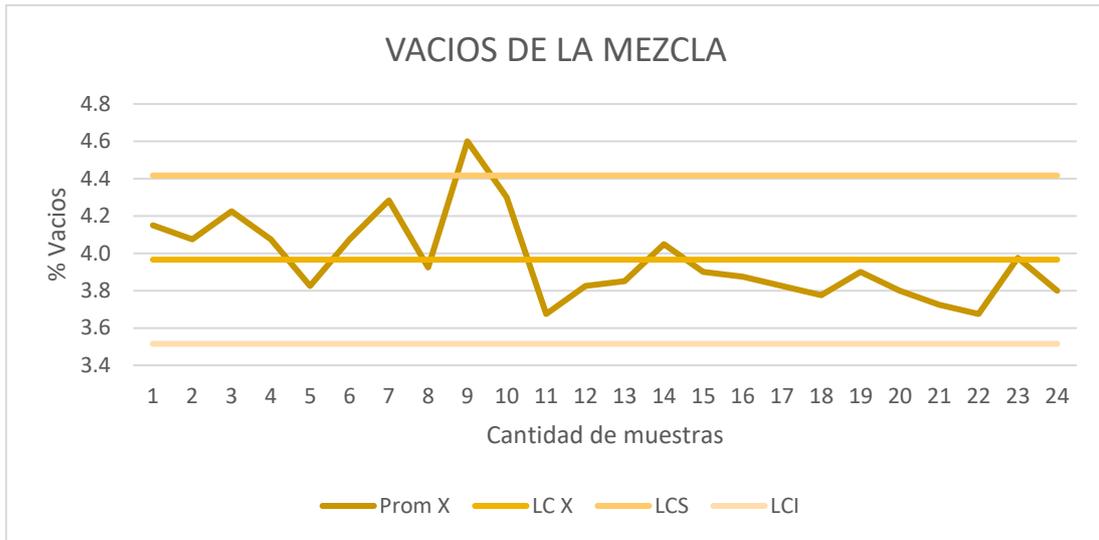


Figura 5.9: Gráfico de control de Vacíos de la mezcla de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

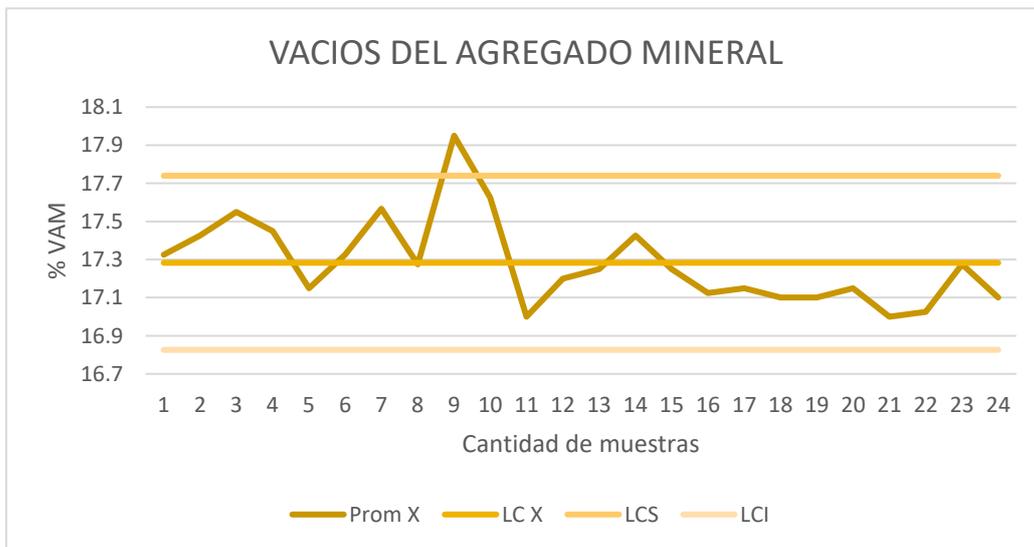


Figura 5.10: Gráfico de control de Vacíos del Agregado Mineral de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

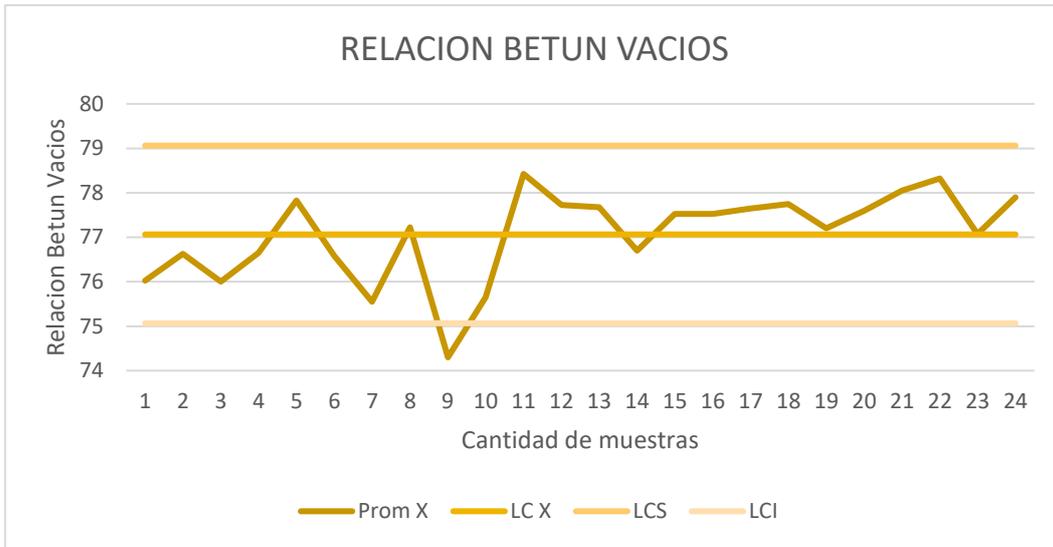


Figura 5.11: Gráfico de control de Relación Betún Vacíos de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

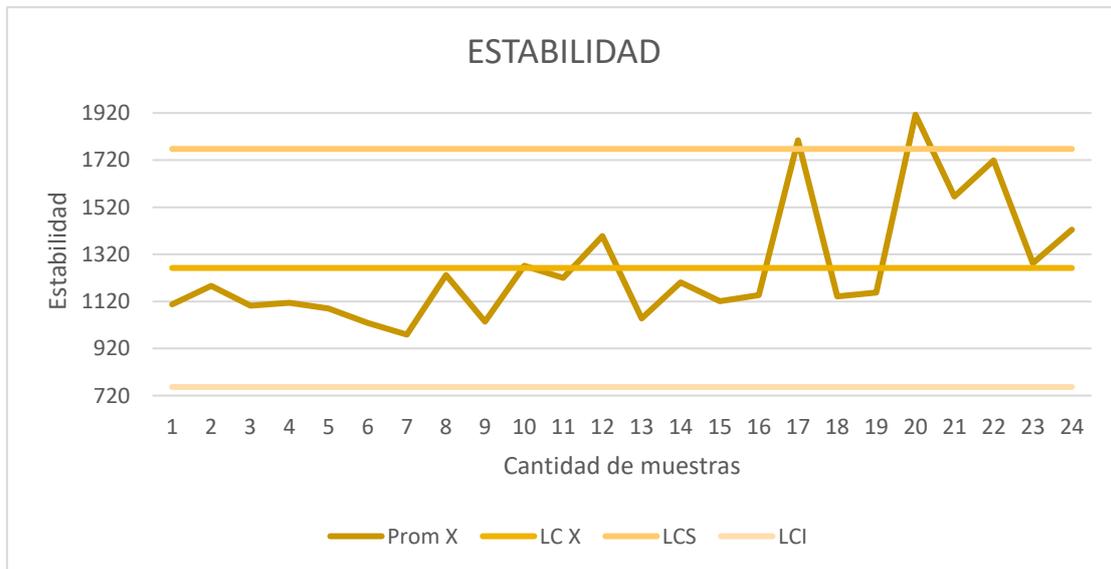


Figura 5.12: Gráfico de control de Estabilidad de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

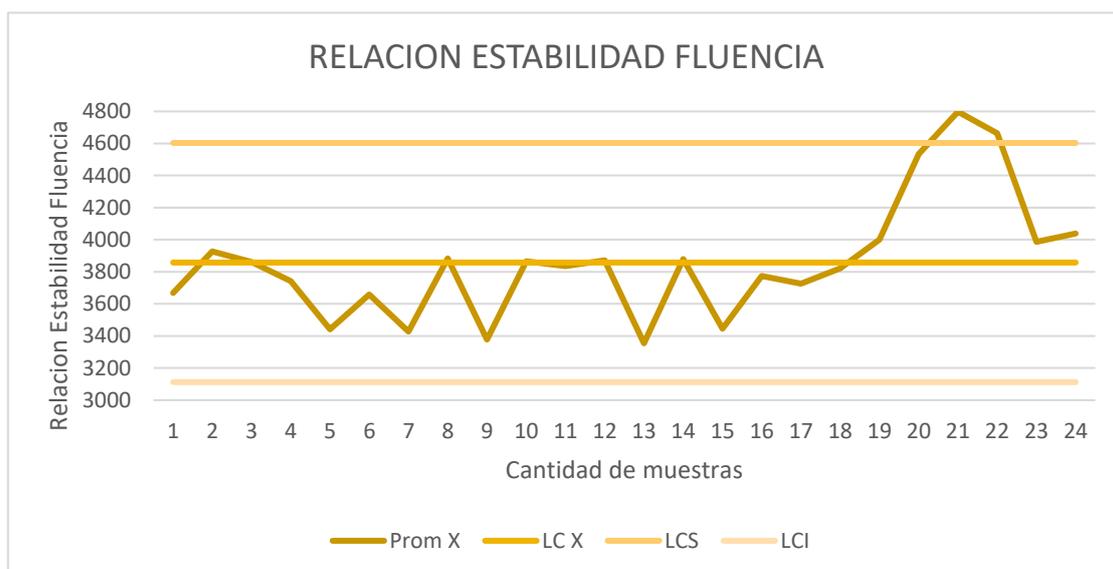


Figura 5.13: Gráfico de control de Relación Estabilidad Fluencia de mezclas elaboradas con asfalto de tipo convencional CA-30

❖ ANÁLISIS DE DATOS

Analizando cada uno de los gráficos se observó que todos los valores se encuentran dentro de los límites establecidos, con excepción de uno u otro valor aislado.

En este caso, se amplió el intervalo establecido anteriormente de $2x\sigma$ a $3x\sigma$, los valores que se encuentran por fuera pasan a formar parte de los esperados y deseados, lo cual resulta válido dado que el nuevo intervalo de confianza propuesto es el comúnmente utilizado.

Dicho esto, se afirma que todas las variables analizadas se encuentran bajo un proceso estable y controlado.

Pasando ya a un análisis más minucioso se observó en los gráficos de Vacíos y Vacíos del agregado mineral un crecimiento ascendente de los últimos valores mientras que en el gráfico obtenido para Densidad Marshall ocurrió lo mismo pero en forma descendente.

Esto podría plantearse como una causa no asignable y creer que se tiene un proceso no controlado pero dado que los valores se encuentran dentro de los límites y de la relación entre estas tres variables podrá deducirse que el cambio puede ser debido a la compactación en las probetas, por cambio en el personal que las realiza o por alguna modificación no detectada en la mezcla a la hora de la elaboración.

Se derivaron de estos gráficos los tres siguientes: Relación Betún Vacíos, Estabilidad y Relación Estabilidad Fluencia: Las mezclas, al tener menor porcentaje de vacíos se volvieron más compactas aumentando así su estabilidad y modificando los otros dos parámetros restantes.

5.4. MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES ELABORADAS CON ASFALTO MODIFICADO

Para las mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado se realizó el mismo proceso que para asfaltos convencionales.

Se confeccionaron los gráficos en función de los parámetros previamente seleccionados y luego se realizó un análisis para obtener una idea del comportamiento final de la mezcla.

❖ GRÁFICOS DE CONTROL DE VARIABLES

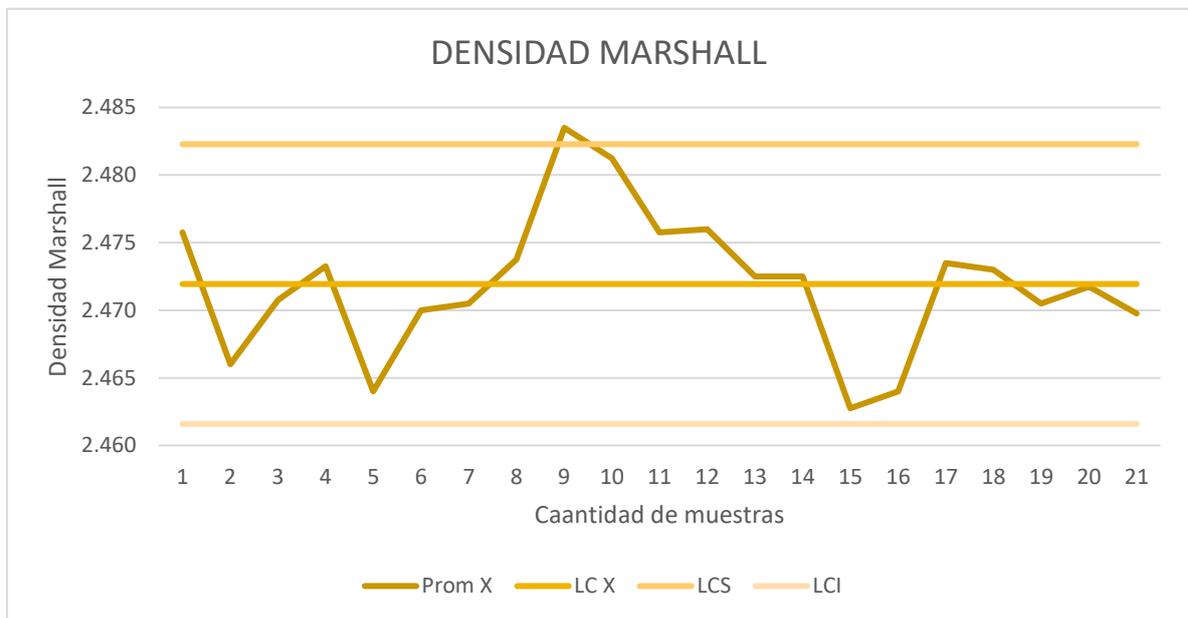


Figura 5.14: Gráfico de control de Densidad Marshall de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

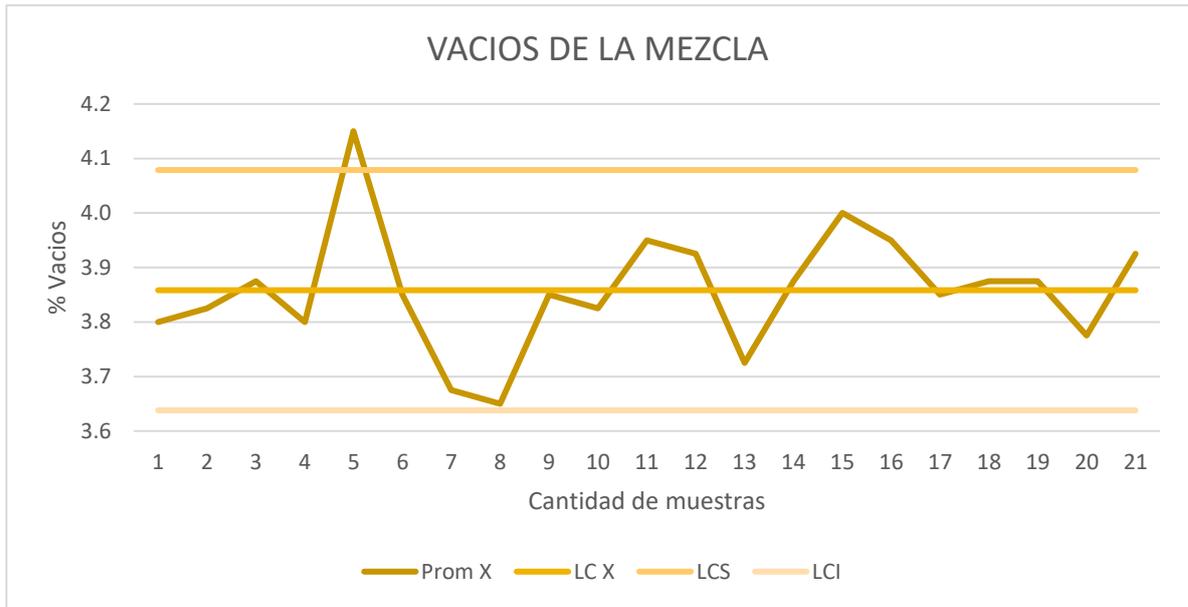


Figura 5.15: Gráfico de control de Vacíos de la mezcla de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3

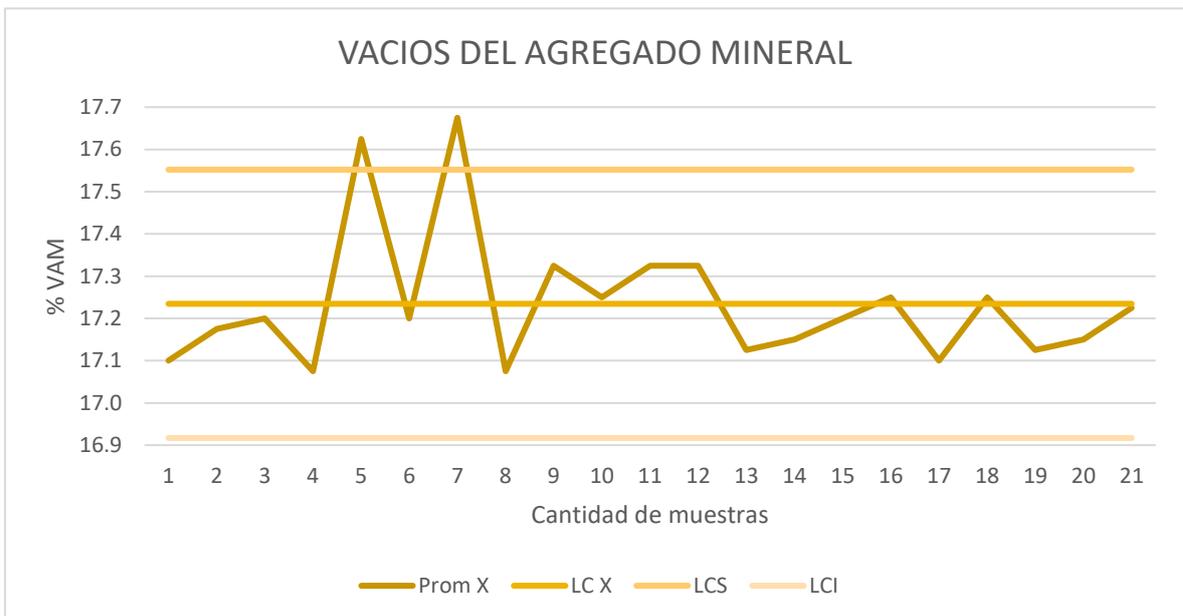


Figura 5.16: Gráfico de control de Vacíos del Agregado Mineral de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

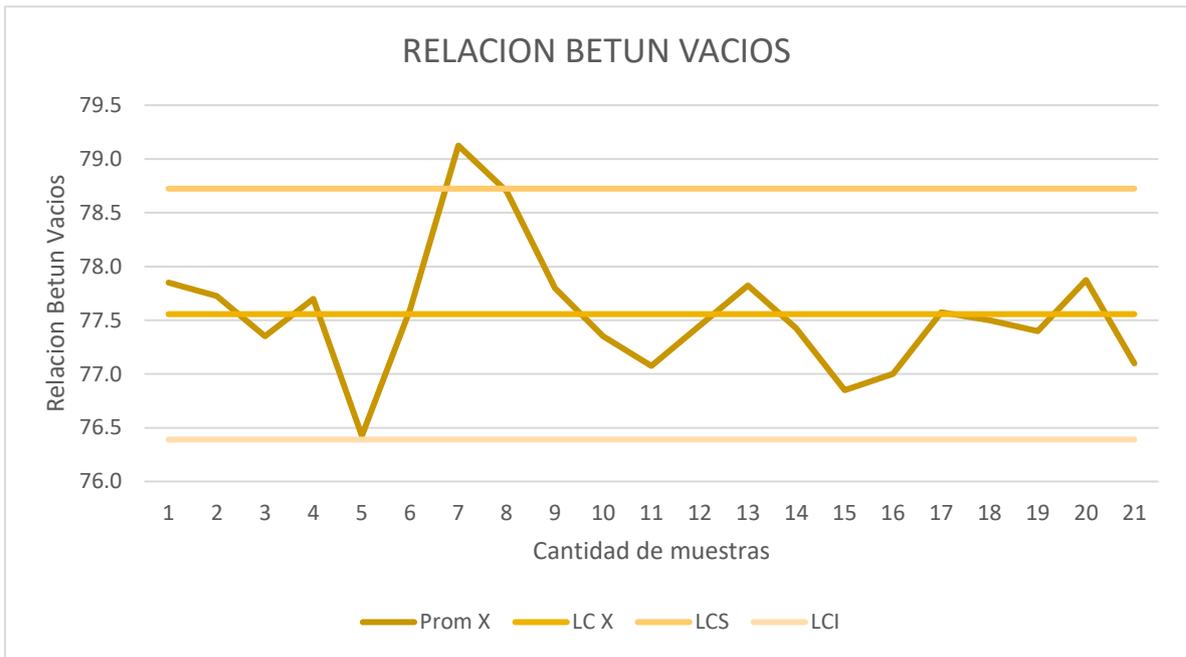


Figura 5.17: Gráfico de control de Relación Betún Vacíos de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3



Figura 5.18: Gráfico de control de Estabilidad de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3

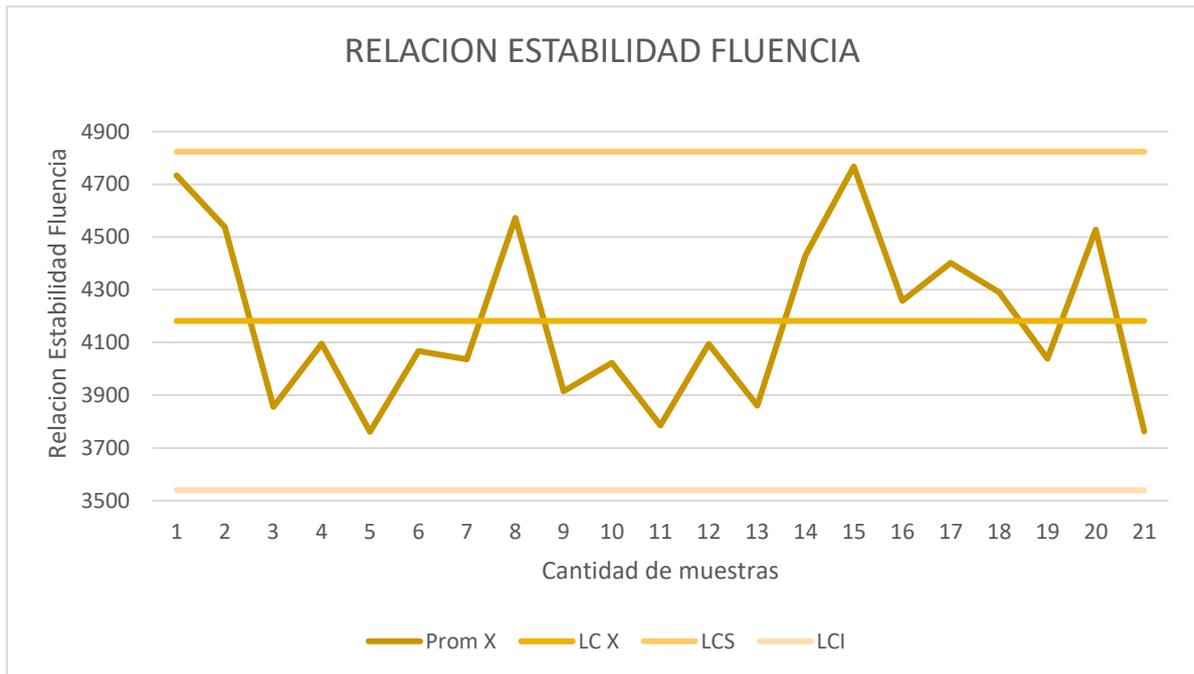


Figura 5.19: Gráfico de control de Relación Estabilidad Fluencia de mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado AM3

❖ **ANÁLISIS DE DATOS**

De la misma forma ocurrió con las variables analizadas para las mezclas elaboradas con asfalto de tipo modificado, se amplió el intervalo para obtener un proceso controlado.

Aquí se hizo más difícil asignar una causa a las variaciones en los gráficos ya que no se observó mucha relación entre ellos y, si bien el proceso se encuentra bajo control, se observaron picos significativos que podrían derivar en el cambio de algún parámetro.

6. CONCLUSIONES

Luego del análisis planteado se afirma que para productos primarios se tiene un proceso controlado. Los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por norma y dentro de las medias ponderadas.

Para el caso de análisis de mezclas con asfalto de tipo convencional se observan variaciones pero al estar presentes en todas las variables en un mismo período fue posible concluir que es debido a causas completamente controlables.

En las mezclas con asfalto modificado, donde también se encontraron variaciones, no pudieron determinarse específicamente las causas.

De esta manera, si bien se concluye que la empresa cuenta con un proceso altamente controlado se sugiere prestar especial atención al momento de proveer la fórmula para la mezcla en la planta y de la modificación entre una fórmula y otra ya que al ser una planta de funcionamiento discontinuo prácticamente no tiene error en cuanto a carga y descarga de materiales pero sí en las modificaciones en forma manual que debe realizar el encargado o Plantista. Esto implica la afectación de un pastón entero, ya sea por un descuido o por un feedback limitado con respecto a lo que se demanda de producción.

7. BIBLIOGRAFIA

- Catedra de Transporte III – Filminas y Material de estudio
- Dirección Nacional de Vialidad (1979) – Normas de Ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad
- Douglas Montgomery - Introducción al Control Estadístico de la Calidad – Grupo Editorial Iberoamérica (1992)
- Estados Unidos Instituto del Asfalto, Argentina Comisión Permanente del Asfalto – Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción – Buenos Aires, Comisión Permanente del Asfalto (1985)
- <https://www.ypf.com/productosyservicios>
- <https://es.slideshare.net/LauraM3011>

8. ANEXOS

ANEXO A1

ENSAYO DE DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD MEDIANTE UN VISCOSIMETRO ROTACIONAL SEGUN NORMA 6837

“Esta norma describe el procedimiento para la medición de la viscosidad aparente del asfalto en un ámbito y temperatura entre los 38°C y 200°C, empleado un viscosímetro rotacional con cámara termostatzada, de tipo Brookfield Thermosel o características similares.

Este procedimiento se emplea para la determinación de la viscosidad aparente de asfaltos a una temperatura especificada o a distintas temperaturas. El procedimiento consiste en medir la resistencia que opone el fluido al movimiento del rotor. Para determinar la viscosidad le asfalto (en milipascales segundos) se multiplica un factor a la lectura del indicador.

APARATOS

- *Sistema de medición de viscosidad, tipo Brookfiel Thermosel o de características similares.*
- *Rotores para el viscosímetro rotacional.*
- *Sistema de cámara de temperatura controlada*

PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar con el ensayo se debe encender la cámara termostatzada. Se fija el controlador proporcional a la temperatura del ensayo. Se sugiere que en el caso de determinar la viscosidad de asfaltos convencionales, la temperatura de operación se encuentra entre 60°C y 170°C, mientras que para asfaltos modificados, se sugiere que la temperatura de operación sea mayor que 130°C. Se retira de la cámara el recipiente para la muestra y se agrega el volumen de asfalto necesario, según el rotor seleccionado, previamente homogeneizado por agitación. Se deben extremas las precauciones para evitar el sobrecalentamiento de la muestra y evitar ignición en caso de punto de inflamación bajo. No se debe agregar muestra en exceso al recipiente para la muestra. El volumen de la muestra es crítico para lograr la medición del sistema. El nivel del líquido debe interceptar al rotor a 3,2 mm. por sobre la parte superior de la interface “cuerpo cónico” – “rotor”. Usando la herramienta de extracción, se coloca la cámara cargada nuevamente dentro del recipiente térmico. Se enciende el equipo y se ajusta a cero. Se espera obtener la temperatura de equilibrio con el rotor seleccionado en la cámara. Se introduce el rotor seleccionado en el líquido de la cámara y se ajusta al viscosímetro. Se deja que el asfalto con el rotor sumergido alcance la temperatura de equilibrio. En razón de que los asfaltos a ciertas temperaturas puedan presentar un tipo de comportamiento nonewtoniano, se realizan determinaciones de viscosidades a 4 distintas velocidades de rotación (velocidades de cizallamientos) diferentes. Se fija una determinada velocidad de rotación del motor. Se enciende el aparato y se realiza la lectura de la viscosidad a los 30 s. Se verifica que el torque producido se encuentre dentro del ámbito aceptable, es decir, que la lectura se encuentre entre 2 unidades y 98 unidades, para viscosidades digitales, o entre 2% 0 98% del torque, para viscosidades analógicos. Si se cumple esto, se registra la lectura y la correspondiente velocidad de cizallamiento. Se detiene el motor. A continuación se cambia la velocidad y se procede de la misma forma que se indicó en el apartado anterior. Se repite el procedimiento

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

indicado hasta obtener 4 lecturas a 4 velocidades de rotación distintas. Si se requiere, se repite el procedimiento descrito para cada temperatura deseada. Para obtener la viscosidad se multiplica la lectura del viscosímetro por el factor de viscosidad apropiado.”

ANEXO A2

ENSAYO DE RECUPERACION ELASTICA TORSIONAL SEGÚN NORMA IRAM 6830

“El ensayo consiste en medir la habilidad del material para recuperarse después de una elongación. Se aplica sobre una muestra de asfalto (a 25°C) un esfuerzo de torsión con un cilindro en un eje haciendo un giro de 180° y después de 30 minutos se mide el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado

APARATOS

- Aparato de torsión constituido fundamentalmente por: cilindro metálico, semi corona con escala graduada de 0 a 180°, baño de agua y recipiente para la muestra
- Termómetro
- Cronómetro
- Estufa, cápsula, varillas vidrio, espátulas, disolventes

PROCEDIMIENTO

Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la porción de muestra para ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio, que a su vez presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.

Una cantidad suficiente de la muestra de laboratorio se calienta con cuidado y con agitación continua hasta conseguir una consistencia de la misma que permita su vertido. Se ajusta el cilindro del aparato de torsión de forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del recipiente para ensayo situado en posición centrada, ajustado en el resalte que, para tal fin, se dispone en el fondo del baño.

Se transfiere, por vertido, la muestra al recipiente de ensayo en cantidad suficiente para enrasarla con la marca grabada de que dispone el cilindro a 10 mm de su base inferior. Se deja enfriar el conjunto recipiente - muestra a temperatura ambiente, durante 1 hora como mínimo. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a temperatura de $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$, durante al menos 90 minutos, para equilibrar la temperatura del agua del baño y de la muestra. El nivel del agua en el baño estará suficientemente por encima del recipiente con la muestra.

Transcurridos los 90 minutos antes referidos, se introduce el pasador en el alojamiento que al efecto tiene el cilindro y con su ayuda se hace girar éste 180° en sentido de las agujas del reloj desde 180° a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Inmediatamente se retira de su alojamiento el pasador y después de 30 minutos ± 15 segundos, se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semi corona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.”

El resultado del ensayo se expresa, como recuperación elástica por torsión, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180°.

Recuperación elástica por torsión:

$$\text{Ret} = \frac{L}{180} \times 100$$

Donde L=ángulo recuperado.

ANEXO A3

ENSAYO DE DETERMINACION DEL POLVO ADHERIDO SEGÚN VN-E68-75

“El polvo adherido es la cantidad de polvo adherido a la superficie de los agregados pétreos que no se desprende totalmente por simple tamizado, referido a un área superficial total, contenida en un peso de 200 gr. de los agregados comprendidos dentro del rango de los tamices 3/8” N° 4 y expresado volumetricamente en ml. de polvo adherido por 100 gr. de agregado. El objeto fundamental es establecer el método de laboratorio para medir una de las características superficiales de los agregados pétreos, en los que la adherencia se ve perjudicada por la presencia del polvo adherido

APARATOS

- Estufa 100°C – 105°C.
- Cronómetro
- Balanza sensible al grano
- Tamiz 3/8” y N° 4
- Espátula
- Vaso de precipitado de 1000 ml
- Tubo cónico de asentamiento de 50 ml de capacidad
- Agitador en espiral, de alambre galvanizado diámetro 1 mm
- Pipeta de 10 ml graduada al 0,1ml
- Solución de sulfato de aluminio (floculante) al 2 %.

PROCEDIMIENTO

Se obtienen 2 kg. de muestra de los cuales 500 gr. se lleva a estufa a 100°C - 105°C hasta constancia de peso, se deja enfriar a temperatura ambiente. Se coloca el vaso de precipitado de 1000 ml limpio y seco sobre el plato de la balanza. Se equilibra con pesas y se pesan 200 gr. de la fracción 3/8”- N° 4. Se le agrega 100 ml. de agua destilada y se anota la hora, se deja en reposo sin agitación durante dos horas en contacto, agregado-agua. Finalizado el tiempo de mojado y con cronómetro en marcha, se comienza la agitación con la espátula a razón de 60 vueltas por minuto, durante cinco minutos, o sea, un golpe de agitación por segundo durante cinco minutos. Mientras dura el agitado, el vaso debe mantenerse inclinado aproximadamente 30° respecto a la vertical. Al finalizar el tiempo mencionado y con el último golpe de agitación se vierte inmediatamente el contenido del vaso dentro del tubo de asentamiento graduado al 0,1 ml. hasta alcanzar el enrase de 50 ml., evitando con la espátula, la caída de las partículas del agregado dentro del mismo. Se le agrega con pipeta de 10 ml., 1 ml. de una solución de sulfato de aluminio al 2 %, se agita con el agitador de alambre en espiral haciéndola girar entre los dedos para asegurar un mezclado perfecto con el floculante y se deja en reposo durante veinticuatro horas.

El volumen del asentamiento leído a las 24 horas, indica directamente la cantidad de polvo adherido correspondiente a 100 gr. del agregado en cuestión.”

Lectura a las 24 hs = ml. %

En base a resultados se han fijado como límite superior de polvo adherido (en la construcción de tratamientos simples, dobles y triples) los siguientes valores:

Máximo admisible en grava = 1,5 ml.

Máximo admisible en agregado triturado = 2,0 ml.

ANEXO A4

ENSAYO DE DESGASTE "LOS ANGELES" SEGÚN NORMA IRAM 1532

"Este método permite determinar la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2.5 mm de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³ mediante la máquina de los Angeles.

APARATOS

- 3.1 Máquina "Los Ángeles" constituida en la forma siguiente: Tambor, cilíndrico, hueco, de acero con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que pueda transmitirle un movimiento de rotación alrededor del mismo.
- Carga abrasiva, consistente en esferas de fundición de hierro o de acero, de aproximadamente 48 mm de diámetro, con una masa comprendida entre 390 g y 445 g, y cuya cantidad depende del tipo de material que se ensaya, según lo indicado en la siguiente tabla:

Número y masa de las esferas

Tipo de material (según 4.3)	Número de esferas	Masa de las esferas (g)
A	12	5000 (25
B	11	4584 (25
C	8	3330 (20
D	6	2500 (5)

- Balanza, que aprecie el 0,5 g.
- Estufa
- Un juego de tamices, que incluya los siguientes: 37,5 mm, 12,5 mm, 4,75 mm, 25,0 mm, 9,5 mm, 2,36 mm, 19,0 mm, 6,3 mm, 1,7 mm

PROCEDIMIENTO

La muestra destinada al ensayo se obtiene separando por tamizado, según la norma IRAM 1501, las distintas fracciones del agregado.

Se seca separadamente cada una de las fracciones en estufa a 107,5° C ± 2,5° C, hasta obtener, en dos pesadas sucesivas, masa constante.

Se elige, según tabla, el tipo de material que más se acerque al agregado usado en la obra; se pesan las cantidades correspondientes de las fracciones mencionadas anteriormente para completar aproximadamente 5.000 g de muestra, en las proporciones que se indican en la tabla y se mezclan entre sí.

Separadas las fracciones se pesa, al 1 g, la muestra obtenida se seca en estufa y se coloca, junto con la carga abrasiva, dentro del cilindro, haciéndolo girar a una velocidad comprendida entre 30 v/min y 35 v/min, hasta completar 500 vueltas.

Se retira el material del cilindro y se tamiza por el tamiz 1,7 mm.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Se lava y seca en estufa a $107,5^{\circ} C \pm 2,5^{\circ} C$ la fracción retenida por el tamiz indicado y se pesa, al 1 g."

Se calcula el porcentaje de pérdida por abrasión mediante la fórmula siguiente:

$$P = \frac{m - m1}{m} \times 100$$

Donde: P= la pérdida por abrasión en porcentaje, m= masa de la muestra seca en gramos, m1= masa del material retenido en el tamiz 1,7mm en gramos

ANEXO A5

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN VN-E10-82

“Este ensayo tiene por finalidad determinar rápidamente en campaña el contenido de finos y materiales arcillosa en suelos y agregados, en base a un criterio empírico.

APARATOS

- *Una probeta cilíndrica sin pico, de material plástico transparente graduada a partir de la base, en divisiones cada 2 mm*
- *Un tapón de goma que se adapte a la boca de la probeta*
- *Un pistón constituido por un vástago de metal de 46 cm. de largo terminado en su extremidad inferior por un ensanche, tronco cónico con base circular de 25,4 mm. de diámetro.*
- *Un frasco Mariotte de 4.000 cm³*
- *Un tubo de goma de 5 mm. de diámetro interior*
- *Un tubo lavador de cobre o latón, una de cuyas extremidades achatadas en forma de cuña, lleva dos agujeros de 1 mm. de diámetro*
- *Un recipiente de 90 cm³. de capacidad*
- *Un embudo de abertura amplia, para pasar la muestra de recipiente a la probeta*
- *Un reloj o un contador de tiempo.*
- *Un tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4)*
- *Una máquina de agitación, manual o eléctrica, capaz de imprimir a la probeta un movimiento horizontal, rectilíneo, periódico y sinusoidal*

REACTIVOS

Solución de reserva: Preparar una solución compuesta por:

- *454 gr. de cloruro de calcio anhidro.*
- *2050 g. (1640 cm³) de glicerina pura.*
- *47g. (45 cm³) de formaldehído (solución a 40 volúmenes) y agua*

Como a continuación se indica: se disuelven 454 g. de cloruro de calcio 1900 cm³ de agua removiendo energéticamente. Se deja enfriar y se filtra a través de un papel de filtro Watman Nº 12 o su equivalente. Se agrega 2050 g. de glicerina y 47 g. de formaldehído a la solución filtrada, se mezcla cuidadosamente y se diluye hasta 3785 cm³. El agua a utilizar será destilada o potable de buena calidad. b. Solución de trabajo: Se diluyen 93 cm³. de la solución de reserva con agua corriente potable en cantidad suficiente para tener un volumen total de 4 Lts. Un agua dudosa calidad se puede ensayar comparando los resultados de ensayo efectuados sobre muestras idénticas, utilizando para ello soluciones con el agua cuestionada y con agua destilada.

PROCEDIMIENTO

Se llena el frasco de Mariotte con la solución de trabajo, manteniendo cerrada la pinza de Mohr y se hace pasar la solución de trabajo por medio del tubo lavador a la probeta cilíndrica hasta la división Nº 50 (altura = 100mm.). Se vuelca a la probeta una “medida” de la muestra librada por el tamiz Nº 4, previamente homogenizada por mezclado. Se golpea la base del cilindro fuertemente sobre la palma de la mano varias veces para desalojar las burbujas de aire y favorecer el mojado de la muestra. Se deja reposar 10 minutos.

Al término de este período de 10 minutos se tapa el cilindro y se sacude vigorosamente de una a otro costado manteniéndolo horizontal. Se efectúan 90 ciclos en poco más o

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

menos 30 segundos con una máquina de agitación. Un ciclo representa un movimiento completo de ida y vuelta. Se retira el tapón, se introduce el tubo lavador. Al descender el tubo se rocían las paredes del cilindro con la solución lavándolas. Luego se sumerge el tubo hasta el fondo del cilindro. Se lava la arena haciendo ascender los materiales arcillosos manteniendo la probeta cilíndrica en posición vertical. Para ello se imprime al tubo lavador, con los dedos pulgar e índice, un suave efecto de punzonado, pequeñas oscilaciones verticales, y simultáneamente se hace girar alternativamente. Al mismo tiempo se gira la probeta cilíndrica lentamente con la otra mano. Cuando el nivel del líquido se aproxima a la división 185 (altura 370 mm.), se levanta el tubo lavador lentamente sin detener el flujo de la solución regulándolo de manera tal que el nivel del líquido, una vez retirado enteramente el tubo, alcance la división 190 (altura 380 mm.). Se deja reposar, evitando perturbaciones durante 20 minutos. Al término de esos 20 minutos se lee el nivel superior de la suspensión de fino. Se desciende suavemente al pistón lastrado en el cilindro hasta que repose sobre la arena. Se gira ligeramente el vástago sin presionarlo, hasta que uno de los tornillos de centrado sea visible. Se lee el nivel del centro del tornillo en la división más próxima.”

Cuando una lectura de la arena o de los finos se encuentre situada entre dos divisiones se deberá tomar la lectura sobre la división inmediata superior.

ANEXO A6

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA POR EL METODO DE MARSHALL SEGÚN NORMA VN-E9-86

APARATOS

- *Moldes de compactación: cilíndricos, de acero, de 101,6 mm. de diámetro interno y 76,2 mm. de altura, provistos de base y collar de prolongación adaptable a ambos extremos del molde de las características y dimensiones especificadas por norma.*
- *Pisón de compactación manual: de acero, que consiste esencialmente en una zapata circular de 33,4 mm. de diámetro, en la que golpea un pilón de 4,540 Kg. que se desliza por una guía que limita su carrera a 457 mm. de las características y dimensiones especificadas por norma.*
- *Tamices: Establecidos en el Pliego de Especificaciones de la obra con su correspondiente tapa y fondo.*
- *Balanza: De 2 Kg. de capacidad sensible al 0,1 gr.*
- *Balanza: De 10 Kg. de capacidad sensible al gramo.*
- *Pedestal de compactación: Se usa para apoyo del molde durante el proceso de compactación*
- *Bandejas: de chapa galvanizada para calentamiento de los agregados.*
- *Recipiente: de cobre o chapa galvanizada de aproximadamente 800 cm³ de capacidad, de bordes altos con pico vertedero, para calentar el cemento asfáltico.*
- *Recipiente: de cobre o hierro enlozado para mezclar los agregados con el cemento asfáltico.*
- *Baño de agua caliente que permita mantener el agua colocada a una temperatura de 60° C. ± 0,5° C. durante 24 horas.*
- *Extractor de probetas: para retirarlas del molde de compactación.*
- *Estufa para calentar y secar los agregados pétreos y los moldes de compactación.*
- *Plancha de calentamiento: Debe alcanzar la temperatura máxima en 60 minutos. Para mantener la temperatura en la mezcla de los áridos con el cemento asfáltico.*
- *Mordaza: de acero para la aplicación de las cargas durante el ensayo de las características y dimensiones especificadas por norma.*
- *Comparador extensométrico: con dial dividido en 1/100 de pulgada, o en 1/100 de centímetro para medir fluencia, carrera total 25 mm.*
- *Termómetro: con escala hasta 200° C. y sensibilidad de 1° C. para medir temperaturas de la mezcla asfáltica.*
- *Termómetro: Con escala de 57 a 65° C. y sensibilidad al 0,1° C. para medir temperaturas en el baño de agua caliente.*
- *Prensa de ensayo que permita aplicar cargas de hasta 3000 Kg. con comparador extensométrico, con dial dividido en 0,1 mm. para medir cargas*

PROCEDIMIENTO

Antes de proceder al modelo de la probeta se prepara el molde de compactación y el pisón de compactación limpiando con nafta o kerosene el molde y la zapata del pisón y calentándolos luego en estufa a una temperatura comprendida entre 100° y 150° C durante 30 minutos.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Se retira de la estufa y se arma el molde colocándole la base y el collar de extensión y se introduce un disco de papel de filtro u otro papel absorbente hasta el fondo del molde. Se coloca rápidamente el total de la mezcla en el interior del molde, se acomoda aplicando 15 golpes con una espátula caliente distribuidos alrededor del perímetro de la probeta y 10 golpes en su interior, y se nivela la superficie del material.

Se coloca el molde sobre el pedestal de compactación y se lo sujeta con el aro de ajuste. Se apoya sobre la mezcla la zapata del pisón de compactación y se aplica el número de golpes según especificación, a caída libre, cuidando que el vástago del pisón se mantenga bien vertical.

Se retira el molde del dispositivo de ajuste y se invierte la posición de la base y del collar de extensión. Se ajusta nuevamente el molde sobre el pedestal de compactación se aplica el mismo número de golpes a la capa inferior de la probeta.

Terminada la compactación de la probeta se retira el molde del pedestal y sin la base y el collar de extensión se coloca el molde en un recipiente con agua fría durante 3 ó 4 minutos. Se retira luego el agua, se le coloca nuevamente el collar de extensión y con el extractor se retira la probeta del molde.

Extraída la probeta del molde se identifica designándola con letras o números escritos en cada cara con la tiza grasa. Hecho esto se coloca sobre una superficie lisa y bien ventilada. Se moldean 4 probetas por cada muestra extraída.

Las probetas se ensayarán recién el día siguiente de efectuada su elaboración.

Se determina la altura de cada probeta por medición directa mediante un calibre de 0,1 mm. de aproximación con el que se miden las alturas correspondiente a los extremos de dos diámetros perpendiculares entre sí. El promedio aritmético de las cuatro lecturas da la altura de la probeta.

Se pesan las probetas y se determina a continuación el peso unitario de las probetas compactadas según Norma VN-E12-67 como:

$$d = \frac{P_s}{P_h - P_i}$$

Donde: d = densidad de la probeta expresada en gr/cm^3 ; P_s = peso en el aire de la probeta seca; P_h = peso en el aire de la probeta saturada; P_i = peso de la probeta saturada sumergida en agua.

Se sumergen las probetas en el baño de agua caliente a la temperatura de 60° C manteniéndolas sumergidas sobre un período de tiempo comprendido entre 30 y 40 minutos.

Las probetas se ensayan aplicando las cargas en sentido diametral por medio de un dispositivo compuesto de dos mordazas semicirculares. Comprobando que las superficies interiores de los arcos de las mordazas tienen la forma correcta y están perfectamente limpias y las varillas guías bien lubricadas se retira del baño termostático la probeta a ensayar, cuidando de no deteriorarla con golpes o excesiva presión de los dedos, y se coloca sobre la mordaza inferior centrándola exactamente, insertando luego en las varillas guías la mordaza superior. Se lleva, el conjunto a la prensa de ensayo y se acciona suavemente la manivela o el motor hasta notar que el compactador extensométrico de carga comienza a moverse. Se ajusta entonces el comparador extensométrico de deformaciones llevando se lectura a 0.

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Inmediatamente se hace funcionar el motor de la prensa o se acciona la manivela si es manual, cuidando que la velocidad de aplicación de las cargas se mantenga constante hasta el instante en que el comparador extensométrico de carga se detiene o invierte su marcha. Se lee en ese momento el máximo alcanzado.

Este valor expresado en kilogramos es la carga de rotura de la probeta ensayada, que servirá para calcular el valor de la estabilidad. En el mismo instante que la probeta alcanza la máxima carga debe leerse en el dial indicador del comparador extensométrico de deformaciones, la deformación total sufrida por la probeta. Este valor expresado en mm. determina la fluencia de la probeta.

Desde el momento en que se extrae la probeta del baño de agua caliente hasta el fin del ensayo, no debe transcurrir un período de tiempo superior a los 30 segundos.

Si se utiliza una prensa con aro dinamométrico para el registro de cargas, debe calibrarse el aro determinándose el factor correspondiente, es decir el número de kilogramos necesario para deformarlo en una magnitud igual a la unidad del extensómetro de que está provisto. El producto de este factor por la lectura registrada en el extensómetro de la carga total en kilogramos. Si la altura de la probeta fuera la normal, igual a 63,5 mm. el valor de la estabilidad sería directamente la carga de rotura medida en el comparador extensométrico. La altura de las probetas estará comprendida entre 60,5 y 66,5 mm. Por lo tanto, debe referirse la estabilidad a la altura normal de 63,5 mm. multiplicando la carga total hallada por el factor de corrección obtenido de tabla en función de la altura real de la probeta.”

Entonces:

$$\text{Estabilidad} = L1 \times K1 \times K2$$

Donde:

L1= Lectura en el dial del comparador extensométrico de carga, K1= Factor de equivalencia en Kg. del aro, K2= Factor de corrección de tabla según norma.

Las probetas preparadas en el laboratorio deberán ser moldeadas cuidando que su altura media caiga dentro de las tolerancias.

Una vez realizado este ensayo es posible calcular:

• PESO UNITARIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

ENSAYO DE PESO UNITARIO (O DENSIDAD) DE LAS PROBETAS COMPACTADAS SEGÚN VN-E12-67

“Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar el peso unitario, llamado comúnmente densidad, de probetas de mezclas asfálticas compactadas en laboratorio o extraídas de pavimentos en servicio.

APARATOS

- *Balanzas de por lo menos 2 Kg. de capacidad*
- *Dispositivo para suspender las probetas que se sumergirán en agua.*
- *Recipiente con capacidad suficiente para sumergir totalmente la probeta sin que haya rozamiento con sus paredes.*

PROCEDIMIENTO

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Después de 24 horas de haber sido moldeadas las probetas, se determina el peso de la probeta seca, P_s , a la temperatura ambiente. Luego se la sumerge en agua limpia, a temperatura ambiente y durante un lapso no inferior a 1 hora, a fin de saturarla. Extraída la probeta del agua se la suspende de la balanza colgándola del gancho del platillo mediante un hilo fuerte pero liviano. Se sumerge la probeta en el recipiente con agua, cuidando que no haya rozamiento con las paredes del mismo. Se determina el peso de la probeta en agua, P_i . Se retira de la probeta el agua, se le quita el hilo que la rodea dejándola escurrir durante 10 segundos. Se la lleva a la balanza, determinando su peso, P_h , con aproximación de 0,1g. Se deja secar la probeta al aire, para completar los demás ensayos que se piensa ejecutar con la probeta.”

Se le determina utilizando la siguiente fórmula:

$$PU = \frac{P_s}{P_h - P_i}$$

Donde: PU = peso unitario de la probeta en gr/cm^3 ; P_s = peso en aire de la probeta seca en gramos; P_h = peso en aire de la probeta saturada con agua en gramos; P_i = peso de la probeta, previamente saturada, sumergida en agua en gramos.

• DENSIDAD MAXIMA TEORICA (DENSIDAD RICE)

ENSAYO DE DENSIDAD MAXIMA TEORICA DE LA MEZCLA SIN COMPACTAR SEGÚN NORMA VN-E27-84

“APARATOS

- Balanza de 4 kilos de capacidad con sensibilidad de 0,1 gr.
- Frasco “kitasato” de vidrio
- Bomba de vacío para evacuar el aire contenido dentro del frasco y manómetro diferencial de mercurio
- Tapón de goma para el frasco y tubo de goma para vacío
- Baño de agua, para mantener la temperatura a 25°C

PROCEDIMIENTO

Se toman 1000 gr de la mezcla, ya enfriada a temperatura ambiente de la que se desmenuzará los grumos. Se equilibra la balanza colocando el frasco, de 2000 cm^3 , secado exteriormente en uno de los platillos. Se introduce en el frasco la fracción de mezcla para el ensayo y se determina su peso con una aproximación de 0,1 gr. Al frasco conteniendo la mezcla, se le agrega agua destilada, hasta cubrir totalmente el material – la altura mínima de agua que cubra la mezcla, debe ser de 3 cm. Se colocan a los frascos los tapones de goma, y se conecta a la bomba de vacío. Una vez preparado el equipo, se pone la bomba en funcionamiento hasta lograr un vacío donde no se observen burbujas de aire en el interior. Cada tanto debe agitarse el frasco con su contenido, de manera tal de lograr la extracción total del aire de la mezcla. Una vez finalizada la operación se llena el frasco hasta aproximadamente el nivel determinado por el extremo de la varilla del enrasador, estando este apoyado en la boca del frasco, utilizando agua destilada a una temperatura inferior en algunos grados a 25°C, luego se retira el enrasador y se coloca el frasco en baño de agua a 25°C. Se seca luego

CONTROL DE PRODUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

completamente el frasco en su parte exterior y en la zona del cuello interior por sobre el nivel del enrase para asegurar que no haya gotas de agua adherida a sus paredes, pesándose a continuación. Se determina en esta forma el peso E, en gramos del conjunto (es decir el peso del frasco, más el peso del material que contiene, más el peso del agua destilada colocada).”

Para la determinación de la Densidad Teórica Máxima de la mezcla, se emplea la siguiente fórmula:

$$DT = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde: DT = Densidad Teórica Máxima expresada en gr/cm; A = Peso en gramos de la mezcla asfáltica (peso mezcla en frasco – peso frasco vacío); D = Peso en gramos del frasco lleno con agua destilada a 25°C. E = Peso en gramos del frasco conteniendo la mezcla y el agua destilada a 25°C. (enrasado después de hacer vacío).