

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES



PRACTICA SUPERVISADA
CONTROL ESTADÍSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS



JUAN MARCELO COMAS
Tutor: Mg. Ing. Miguel Rico
Supervisor externo: Ing. Mateo Fiad

ÍNDICE

1-INTRODUCCIÓN.....	1
2-OBRAS	2
2.1- REPAVIMENTACIÓN RUTA NACIONAL Nª38	2
2.2- REPAVIMENTACIÓN AVENIDA GOYCOCHEA ,VILLA ALLENDE.....	2
2.3- PAVIMENTO DE ADOQUINES, RP TANTI Y CABALANGO	2
3-EMPRESA.....	3
3.1- INTRODUCCIÓN.....	3
3.2- PLANTA ASFÁLTICA	3
3.2.1-Tolvas de áridos y cinta transportadora de ingreso al horno	3
3.2.2- Horno secador – mezclador	4
3.2.3- Tolva de filler.....	5
3.2.4- Redler y tolva de salida de mezcla asfáltica.....	5
3.2.5- Tanques de almacenamiento.....	6
3.3- ZONA DE ACOPIOS	7
3.4- TALLER.....	9
3.5-PAÑOL	9
3.6- ADMINISTRACIÓN	9
3.7- LABORATORIO CENTRAL	10
4-ENSAYOS.....	11
4.1- INTRODUCCION.....	11
4.1.1-Conceptos preliminares	12
4.2- SUELOS.....	14
4.2.1-Límite líquido	14
4.2.2-Límite plástico	15
4.2.3-Clasificación de suelos	16
4.3- AGREGADOS GRANULARES.....	17
4.3.1-Granulometría.....	17
4.3.2-Lajosidad y elongación	23
4.3.3-Peso específico y absorción	24
4.3.4-Equivalente de arena	25
4.3.5-Ensayo Proctor	26
4.3.6-CBR-Valor soporte.....	30
4.4-CEMENTO ASFÁLTICO	33

4.4.1-Viscosidad de cemento asfáltico.....	33
4.4.2- Recuperación torsional elástica	35
4.5-CAPAS ESTRUCTURALES.....	36
4.5.1-Control de compactación de cono de arena.....	36
4.5.2-Resistencia a compresión simple en probetas de suelo cemento y cal.....	40
4.5.3- Extracción y análisis de testigos de pavimento asfáltico	42
4.6- HORMIGÓN	45
4.6.1-Control de asentamiento de hormigones y preparación de probetas testigo	45
4.6.2 -Resistencia a compresión simple de probetas de hormigón	49
4.7- MEZCLA ASFALTICA.....	50
4.7.1-Propiedades de una mezcla asfáltica.....	51
4.7.2-Parámetros volumétricos y estructurales.....	53
4.7.3-Ensayo de estabilidad y fluencia por el método Marshall	56
4.7.3.1- Estabilidad residual	61
4.7.3.2- Tracción indirecta.....	62
4.7.4- Densidad Rice.....	63
4.7.5- Ensayo de recuperación de asfalto	66
4.7.5.1-Método centrífuga	67
4.7.5.2- Método Abson	67
4.7.6- Dosaje de mezcla asfáltica	68
4.7.6.1-Diseño de granulometría	70
4.7.6.2-Fraccionamiento	72
4.7.6.3-Variación de parámetros según contenido de asfalto	74
4.7.6.4-Método de selección de porcentaje óptimo.....	76
4.7.6.5-Análisis de parámetros y sus inter-relaciones	77
4.7.7-Controles a realizar durante la producción, el transporte y la colocación	79
5-CONTROL DE CALIDAD Y METODOS ESTADISTICOS.....	83
5.1-INTRODUCCION.....	83
5.2- ANALOGÍA CONTROL ESTADISTICO HORMIGONES.....	83
5.2.1-Resistencia característica	85
5.2.2-Dispersión en probetas compañeras	86
5.2.3-Medias móviles	87
5.3 MÉTODOS DE CONTROL ESTADISTICO	87
5.3.1-Limites de control	88

5.3.2-CUSUM – Sumas acumuladas	89
5.3.3-Cartas de control.....	90
6-CONTROL ESTADISTICO DE ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA	91
6.1- OBJETIVO.....	91
6.2- METODOLOGÍA	92
6.3- FORMULA DE OBRA	93
6.4- SELECCIÓN DE VARIABLE DE ESTUDIO	93
6.5-PROCESAMIENTO DE DATOS	95
6.6-CARTAS DE CONTROL.....	99
6.6.1-Límites de control	99
6.6.2- CUSUM- Sumas acumuladas	106
CONCLUSIÓN.....	110
COMENTARIOS FINALES.....	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	113

ÍNDICE DE IMÁGENES, TABLAS Y FIGURAS

IMÁGENES

3.1-Caída de cinta transportadora de tolvas de áridos	4
3.2-Tolva de salida de mezcla asfáltica	6
3.3-Báscula electrónica.....	10
4.1-Equipo de Casagrande para límite líquido de suelos	15
4.2-Tamiz N°4 de la serie de Taylor	18
4.3-Granulometría de cinta o pastón blanco	21
4.4- Ensayo equivalente de arena.....	26
4.5-Molde proctor.....	27
4.-Pisón proctor	27
4.7-Equipo para ensayo CBR o Valor soporte	30
4.8-Pesas ensayo CBR.....	31
4.9-Viscosímetro BrookField	34
4.10-Equipamiento Recuperación Torsional	36
4.11-Equipamiento control de compactación	37
4.12-Ensayo Método de la Arena.....	38
4.13-Ensayo compresión simple para probetas de suelo cemento.....	40
4.14-Brocas extracción de testigos	42
4.15-Cortadora de disco para testigos	43
4.16-Prensa automática para moldeo Ensayo Método Marshall	58
4.17-Aro y comparador para lectura de Estabilidad	59
4.18-Prensa para rotura Método Marshall.....	61
4.19-Equipamiento para ensayo Rice	64
4.20-Equipamiento Método Abson.....	66
4.21-Equipamiento Método centrífuga	67
4.22-Centrífuga Método Abson	68
4.23-Control de temperatura en obra	80
4.24-Preparación de superficie mediante riego de liga.....	81
4.25-Distribución de mezcla asfáltica con rastrillado	81
4.26-Control de rodados de compactación.....	82

TABLAS

4.1-Tabla para clasificación de suelos	16
4.2-Designación de tamices y tamaños de abertura	18

4.3-Variación ensayo proctor agregados finos	28
4.4-Variación ensayo proctor agregados gruesos	28
4.5-Exigencias capas granulares	31
4.6-Consistencia de Hormigones según resultado ensayo Cono de Abrams	47
4.7-Tabla para corrección de estabilidad según altura de probeta	59
4.8-Agregados de dosaje de mezcla asfáltica de Fórmula de Obra	69
4.9-Especificaciones agregado grueso	69
4.10-Exigencias de mezcla asfáltica para carpeta de rodamiento	76
4.11-Parámetros de mezcla asfáltica correspondientes a cantidad óptima de ligante	77
5.1-Resistencia de diseño de hormigones en función de resistencia especificada	86
5.2-Desviación estándar según método de elaboración y control	86
6.1-Exigencias parámetros volumétricos y estructurales	93
6.2-Valores medios, desvíos, C.V de parámetros de M.A.-Muestreo N°1	93
6.3-Valores medios de parámetros correspondientes a muestras deficientes	98
6.4-Límites de control para Densidad Marshall	100
6.5-Planilla resumen de parámetros promedios. Muestras de ambos muestreos.....	106
6.6-Planilla resumen de fracciones granulométricas. Ambos muestreos.....	106

FIGURAS

4.1-Ensayo de clasificación de suelo	16
4.2-Ensayo de granulometría	19
4.3-Curva granulométrica de cinta y cálculos	22
4.4-Esquema calibre para ensayo de lajosidad y elongación	24
4.5-Esquema de partícula y sus poros	25
4.6-Ensayo proctor y cálculos	29
4.7-Ensayo CBR	32
4.8-Control de recepción de cemento asfáltico	35
4.9-Control de calidad capas granulares.....	39
4.10-Coeficiente a2 para bases estabilizadas con cemento Portland.....	40
4.11-Ensayo compresión simple probeta de suelo cemento	41
4.12-Planilla resumen control de calidad de testigos de pavimento flexible	44
4.13-Esquema medidas reglamentarias cono de Abrams	46
4.14-Distintos escenarios tras ensayo de Cono de Abrams	46
4.15-Planilla de control para recepción en obra de Hormigón elaborado	48
4.16-Curva de crecimiento de resistencia a compresión simple de hormigones.....	49
4.17-Resultados de ensayo de compresión simple de probetas de hormigón	50

4.18-Esquema simplificado de las relaciones volumétricas de una mezcla asfáltica ...	53
4.19-Planilla resumen de ensayos diarios sobre mezcla asfáltica.....	60
4.20-Esquema de aplicación de carga para ensayo de tracción indirecta	62
4.21-Resultados de ensayo de tracción indirecta.....	63
4.22-Densidad teórica máxima	65
4.23-Tendencia a segregación según forma de curva granulométrica	70
4.24-Granulometría de mezcla de agregados para mezcla asfáltica.....	71
4.25-Fraccionamiento para preparación de probetas de dosaje.....	73
4.26-Curvas de parámetros volumétricos y estructurales según contenido de asfalto	75
5.1-Ejemplo de distribución normal aplicado a hormigones	84
5.2-Comparación entre resistencia potencial y resistencia efectiva.....	85
5.3-Zona de valores restringidos en una distribución normal	88
5.4-Cartas de control para aplicación de métodos estadísticos.....	90
6.1-Regresión lineal- Densidad Marshall vs Altura de probetas	94
6.2-Histograma de densidades Marshall-Muestreo N°1	95
6.3-Ajuste a distribución normal Muestreo N°1.Rango 1 de valores aceptables.....	96
6.4-Planilla de control diario de operación de planta.....	97
6.5-Ajuste a distribución normal Muestreo N°2. Rango 2 de valores aceptables	98
6.6-Gráfico de vacíos en función de contenido de asfalto. Fórmula de obra	99
6.7-Carta de control de densidad Marshall. Límites de control.....	100
6.8-Carta de control de vacíos. Límites de control	101
6.9-Carta e control de contenido de asfalto. Límites de control.....	102
6.10-Carta de control de relación betún vacíos. Límites de control	102
6.11-Carta de control de relación estabilidad-fluencia. Límites de control.....	103
6.12-Identificación de tendencias en cartas de control.....	104
6.13-Análisis en conjunto de vacíos, contenido de asfalto, pasante T200.....	105
6.14-Carta de control de densidades Marshall. Sumas acumuladas.....	107
6.15-Carta de control de vacíos. Sumas acumuladas	108
6.16-Carta de control de contenido de asfalto. Sumas Acumuladas	108
6.17-Carta de control de relación betún vacíos. Sumas acumuladas	109
6.18-Carta de control de relación estabilidad-fluencia. Sumas acumuladas.....	109

1-INTRODUCCIÓN

El siguiente informe describe el trabajo realizado por el alumno Juan Marcelo Comas, alumno de la carrera Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba durante los meses de Agosto a Octubre del año 2017 en el marco de la asignatura Práctica Supervisada.

El mismo se produjo en la empresa Cavicor S.A., en el departamento de control de Calidad, en la planta asfáltica propia ubicada sobre circunvalación en el sur-oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Las actividades abarcan todos los seguimientos, controles y análisis necesarios para que las obras en proceso cumplan con las exigencias contenidas en los correspondientes pliegos. Estas comprenden el control de calidad y cantidad tanto a materiales primarios que ingresan a planta, control de la mezcla asfáltica producida y la producción propiamente dicha, y finalmente de la correcta puesta en obra de los diversos materiales para diversas capas estructurales.

En primera instancia se describe el entorno de trabajo. En este se hace énfasis en la planta asfáltica y su funcionamiento. En capítulos posteriores se describen ensayos de laboratorio. Se especifica su procedimiento, elemento o material al cual es aplicable e interpretación de resultados y decisiones que implican. Aquí se explican todo los ensayos aplicados durante la Practica Supervisada de una forma concisa y agregando imágenes y resultados para un mejor entendimiento de los mismos.

Sin embargo este informe se centra en la mezcla asfáltica en caliente elaborada en la planta asfáltica. En los últimos capítulos se explican los parámetros físicos que rigen su comportamiento y los controles a realizar para que estos cumplan con especificaciones técnicas. A diferencia de los ensayos descriptos en capítulos anteriores se hace un análisis exhaustivo aplicando métodos estadísticos de resultados diarios de ensayos.

El desarrollo de la presente Practica Supervisada tiene como fin obtención de la experiencia para la inserción en el ámbito profesional, entrando en contacto con profesionales afines a la ingeniería, adquiriendo mayores conocimientos con respecto a los materiales utilizados, procesos constructivos en obras viales y responsabilidad profesional, aplicando conocimientos adquiridos en las diversas materias de la carrera.

2- OBRAS

A continuación se realiza una breve descripción de cada una de las obras lo que lleva a determinar que controles y ensayos se deben realizar en cada una de ellas, ya que todas cuentan con distintos ítems a construir, materiales a emplear, métodos constructivos, exigencias y entes supervisores.

2.1- REPAVIMENTACIÓN RUTA NACIONAL N°38

Obra de gran envergadura conformada por un pavimento flexible. La misma consiste en el fresado y reconstrucción de la carpeta de rodamiento existente y bacheo de la base asfáltica subyacente. La misma se extiende desde el Km 0 en Carlos Paz hasta el Km 119 en Cruz del Eje. El perfil tipo a construir presentaba variabilidad en cuanto a sus dimensiones geométricas, su composición estructural y materiales a emplear. Este informe se centra en el análisis estadístico de la calidad de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímeros provista para la carpeta de rodamiento y las especificaciones técnicas exigidas en el pliego de esta obra.

Cabe destacar que se hace mención de controles puntuales sobre ítems menores en cuanto a su extensión como reposición de sub-base y base granular, mantenimiento de banquetas, reconstrucción total de base asfáltica, construcción de carpeta asfáltica con asfalto convencional; e ítems presentes en todos los perfiles tipo que no son analizados con la misma profundidad como riego de liga con emulsión de corte rápido, riego de imprimación con emulsión de corte lento, provisión de mezcla asfáltica con asfalto convencional para bacheo, sellado de fisuras.

2.2- REPAVIMENTACIÓN AVENIDA GOYCOCHEA, VILLA ALLENDE

Obra realizada con la Municipalidad de Villa Allende cuyo fin es reconstrucción total de un pavimento rígido. Esto implica la construcción de sub-base, base granular, losas de hormigón, sellado de las juntas de dilatación de las mismas, construcción de cordón vereda.

Este conjunto de ítems implican un nuevo conjunto de ensayos y controles a realizar, ya sea por la utilización de distintos materiales como el hormigón y a problemáticas características de la obra como en este caso se dio que la napa freática se encontraba muy próxima al paquete estructural.

2.3- PAVIMENTO DE ADOQUINES, RP TANTI Y CABALANGO

Este proyecto fue inspeccionado por la Dirección de Vialidad de la provincia de Córdoba. Este se incluye, además de por ser un tipo de pavimento distinto a los realizados en las obras ya mencionadas y por lo tanto adicionar controles distintos, porque en el proyecto de la misma se consideró adecuado la construcción de una sub-base de suelo cemento, que era cubierta por una capa de arena de asiento para la posterior colocación de los adoquines que conformarían finalmente el pavimento. La problemática que surgió una vez comenzados los trabajos fue la existencia de rocas grandes superficiales próximas a la capa de sub-base a elaborar por lo que la producción con equipos convencionales resultaba ineficiente en cuanto a cantidad y calidad. Por esta razón se propuso un cambio de la sub-base de suelo cemento por una capa de hormigón pobre.

3-EMPRESA

3.1- INTRODUCCIÓN

La empresa cuenta con un predio al sur-oeste del anillo circunvalatorio, donde se destacan las siguientes áreas que describiré por separado en los puntos siguientes:

- Planta Asfáltica
- Zona de acopios
- Taller
- Pañol
- Administración
- Laboratorio central

Durante la ejecución de la Practica Supervisada se desarrollaron tareas relacionadas con los distintos sectores que en su totalidad determinaron el entorno de trabajo. En los mismos se desarrolló una relación con demás profesionales y operarios, se aprendió e interiorizo con las distintas metodologías de trabajo, funcionamientos de maquinaria, y protocolos destinados al desarrollo de las tareas correspondientes del ámbito laboral. Además se pueden agregar las visitas a obra para la realización de controles y ensayos, estas constituyen otro ámbito adicional al entorno de trabajo.

3.2- PLANTA ASFÁLTICA

Se dispone de un planta que entra dentro la clasificación conocida como de amasado continuo, posee un horno rotativo por el cual entra el árido , lo seca, lo calienta hasta una temperatura compatible con la del cemento asfaltico con el cual se lo mezcla luego de que este es inyectado a alta temperatura. Luego de este proceso la mezcla asfáltica en caliente es depositada en las bateas que la transportaran a la obra para su posterior colocación y compactación.

3.2.1-Tolvas de áridos y cinta transportadora de ingreso al horno

Este sector constituye el ingreso del material a la planta, desde el acopio se cargan los distintos áridos en diferentes tolvas mediante el uso de una pala cargadora y desde allí se descargan de modo graduado para alimentar el horno secador por medio de un conjunto de dos cintas transportadoras . Cabe destacar que para asegurar la calidad frente a posibles aportes de agregado extremadamente grueso en los triturados 6-12, y 6-19 provenientes de cantera, se colocan mallas en la parte superior de las tolvas que lo retienen. Este sistema también se ubica en la entrada a la segunda cinta transportadora como se observa en la imagen 3.1.Estos “cascotes” afectan tanto a la calidad como al buen funcionamiento del horno y demás componentes de la planta como la ya mencionada cinta transportadora.

Otro punto importante es la existencia de compuertas regulables y de pequeñas cintas transportadoras a la salida de cada tolva. Las primeras podrían permitir la adición de una balanza dinámica para controlar la cantidad de cada áridos por separado , lo cual no se ha incorporado y las segundas permiten regular la salida uniforme de material(la altura será importante según si se trate de un árido grueso o fino).En conjunto tienen como función de homogenizar el material antes de caer a la cinta principal donde se mezcla con los demás agregados . Este sistema tiene como ventaja que la salida de

material no presenta una gran caída libre lo que puede causar pérdida de finos o también llamados pasante tamiz 200.

Otros mecanismos importantes que aportan al buen funcionamiento son los vibradores de las tolvas , estos generan vibraciones justamente que evitan atascamientos en las salidas de las mismas . La cinta transportadora previa a la otra cinta que lleva el material al horno posee una balanza dinámica que no está en funcionamiento, con esta debería controlarse que la calibración de la entrada de áridos al horno sea la que se cuantifico con la previa calibración , en su defecto se puede atribuir este motivo a pérdidas de material, gran variación de humedad, calidad de los agregados y/o mal funcionamiento mecánico de los mecanismos previos a este punto .



Imagen 3.1- Caída de cinta transportadora de tolvas

3.2.2- Horno secador – mezclador

Es el dispositivo encargado de quitarle la humedad a los áridos, se trata de un cilindro de acero de 2 m de diámetro aproximadamente por 15m de largo que en su interior contiene alas tipo tornillos sinfín que transportan el material desde su ingreso hacia la salida. Durante este camino, y debido a la temperatura que hay en su interior, se produce el secado del material. Finalmente el árido se encuentra a una temperatura adecuada para que no se produzca un choque térmico con el asfalto incorporado. El mismo cuenta con una pendiente de unos 12° , que según los fabricantes es el óptimo ya que una mayor inclinación puede aumentar la producción pero menor calidad ya sea por secado incompleto o por falta de tiempo mezclado.

En el extremo inicial del mismo se encuentra el quemador, que es el dispositivo encargado de generar la reacción entre el combustible, que en este caso es Fuel Oil y el aire. Las tomas de aire son aberturas regulables desde el exterior que diariamente, y en función de la ubicación del horno y la velocidad del viento, la presión atmosférica , altura de chimenea deben ser calibras de modo tal de lograr la correcta y completa combustión, para alcanzar la temperatura interior deseada. Esto puede apreciarse por la observación del humo de salida. Todo esto tiene como objetivo brindar las condiciones necesarias para el buen mezclado ,esto va a depender obviamente de si se trata de asfalto convencional o modificado y de la susceptibilidad térmica del asfalto la cual nos indicara cual es la temperatura la viscosidad optima de mezclado ,esto se explica junto al ensayo Marshall de mezclas asfálticas en capítulos posteriores.

Otra forma de asegurar temperaturas si se tiene problemas con el quemador es variar la producción ya que mayor cantidad de material nos llevara a menores temperaturas para una llama constante en el quemador y viceversa . A veces esto es mandatorio por la gran humedad de los áridos luego de un día de lluvia. Otro posible motivo son las

bajas temperaturas ambiente que pueden ser combatidas con esta misma metodología de trabajo. Siempre respetando el límite máximo de no poner en marcha la planta asfáltica para temperaturas menores a 5 ° C.

Continuando con los componentes y el funcionamiento del horno secador, podemos mencionar los dos recuperadores de finos con los que cuenta, el de vía seca y el de vía húmeda. El de vía seca es una pantalla que se encuentra próxima a la salida del horno, donde se capta la fracción de fino en suspensión y se la conduce a un sinfín lateral que mediante su accionar la reincorpora al ingreso de los áridos. Su objetivo es que los finos en que se elevaron debido a su pérdida de humedad no se pierdan, sino que formen parte de la mezcla. La vía húmeda no actúa como recuperador de finos, sino como un filtro. Desde la captación se conduce la parte en suspensión a una torre donde el polvo es humedecido mediante una corriente de agua descendente. El material mojado se libera por la parte inferior hacia una pileta de acumulación de sólidos. El remanente de polvo en suspensión llega hasta el ciclón donde es impulsado hacia la atmósfera mediante una chimenea.

En algunas plantas se disminuye la contaminación del medio ambiente y además se aseguran condiciones ideales para la calidad de la mezcla, realizando un tratamiento de los gases antes de eliminarlos a la atmósfera. Se emplean filtros de mangas a la salida de la chimenea del tambor secador donde se filtra todo el polvillo que trae el secado del árido. El polvillo se puede volver a incorporar en la mezcla asfáltica constituyendo una garantía de que la granulometría de mezcla que es dosificada y luego calibrada en planta se refleje totalmente en la mezcla asfáltica.

Otros fenómenos que afectan en este concepto son los días en que los áridos finos poseen gran humedad por lo que quedan pegados en las cinta transportadora y los días con excesivo viento que generan la suspensión de los mismos.

3.2.3- Tolva de filler

A diferencia de los agregados, esta se encuentra luego del horno debido a que no posee humedad por lo que este se agrega a la mezcla asfáltica que sale del horno antes de dirigirse al redler que la eleva hasta la tolva de carga. Para ello se cuenta con un sinfín accionado por un motor que la eleva hasta el lugar antes mencionado, cuya velocidad debe ser calibrada para entregar la cantidad de filler necesario de acuerdo a la fórmula de mezcla y la producción con que está trabajando la planta. Por lo antes mencionado se debe resaltar que no existen pérdidas de pasante tamiz 200 ya que se incorpora directo a la mezcla y no sufre del defecto de los gases de la combustión.

3.2.4- Redler y tolva de salida de mezcla asfáltica

Estos constituyen la última etapa en la elaboración de la mezcla asfáltica. En primer lugar el redler es una unidad transportadora conformada por paletas metálicas en su interior las cuales son accionadas por dos cadenas ubicadas a ambos lados de las mismas. Estas son puestas en marcha por un motor, esto posibilita elevar la mezcla asfáltica hasta la tolva de descarga mostrada en la imagen 3.2. Como funciones de la misma podemos distinguir dos en un principio.

- Acumular temporalmente la mezcla asfáltica de forma tal que la salida no sea continua, esto permite el movimiento de las bateas y camiones cargadores para que se ubican bajo a ellas. Además, en el caso de que se presente deficiencia

de calidad o temperatura en la mezcla asfáltica esta tolva almacena la misma y evita que contamine la mezcla asfáltica de buena calidad .

- Un aspecto importante de esta descarga intermitente es la necesidad del volcado parcial (la acumulación de agregado grueso se produce en la tolva en algunos sectores y la descarga total de la tolva implica que estos se descarguen todos juntos en un solo pastón) y centrado de la mezcla sobre la batea. Si estos dos no se cumplen se produce un fenómeno de segregación de la misma. Esto implica un efecto similar a cuando se mencionó la pérdida de finos, la granulometría que se analiza en laboratorio no es llevada a la práctica por lo que su prestación en servicio no será la misma a la esperada por alteraciones en el manipuleo.



Imagen 3.2-Tolva de salida de mezcla asfáltica

3.2.5- Tanques de almacenamiento

En este sector denominado anti-derrame, el cual está delimitado por pequeños parapetos de hormigón, se ubican los tanques cilíndricos contenedores de Asfalto convencional, modificado, Fuel Oil e instalaciones complementarias como ser cañerías, válvulas y bombas.

Los mismos están constituidos por una capa de acero inoxidable, un aislamiento térmico de lana de vidrio y recubiertos por chapa. En total se tiene una cantidad de 3 tanques destinados a Cemento Asfáltico y 1 destinado a Fuel Oil. Cabe destacar que solo uno de ellos es apto para contener Asfalto modificado con polímeros debido a que posee mezcladores verticales, estos son necesarios para evitar la separación de fases. Este tanque tiene una capacidad de 60 mil litros, los otros dos tanques de asfalto tienen una capacidad de 50 mil litros y 30 mil litros respectivamente. En último lugar el tanque contenedor de Fuel Oil tiene una capacidad de 40 mil litros. Esto implica un stock superior a las 2000 Tn de mezcla asfáltica.

La función principal de estos tanques además de almacenar dichos materiales es mantenerlos a una temperatura óptima para la elaboración de mezcla asfáltica. Para lograr este cometido todos disponen de un sistema de calefacción que consiste en una caldera que funciona a gasoil y un radiador llamado "serpentina" que se ubica en el interior del tanque por la cual circula aceite. Además posee una capa aislante conformada por lana de vidrio en su interior.

En otro sector se encuentra una estación de servicio. En esta se ubica un tanque contenedor de emulsión asfáltica de 50 mil litros, un tanque de gasoil de 18 mil litros, instalaciones necesarias para su operación como cañerías, válvulas, surtidores, recintos de confinamiento anti derrames, cartelera y elementos de seguridad.

Con respecto al tanque de emulsión podemos mencionar que este está compartimentado en dos sectores mediante una barrera vertical intermedia, lo que permite almacenar en un sector emulsión de corte lento y en el otro emulsión de corte rápido. Estas se encuentran aquí almacenadas para luego ser retiradas por el camión regador de asfalto que la transporta y la aplica en las distintas obras.

El gasoil almacenado está destinado a abastecer camiones de la empresa, eventuales cargas a fleteros, suministro para la mochila regadora de las bateas y al camión de service encargado de distribuir gasoil a todos los equipos de las diversas obras y a la caldera que se había mencionado en la calefacción de los tanques contenedores de asfalto.

3.3- ZONA DE ACOPIOS

Ubicada en el sector posterior del predio, el mismo tiene como fin el almacenamiento de las distintas materias primas que constituyen la mezcla asfáltica y es trabajada por un operario apto para el manejo de la cargadora frontal. En el periodo que se desarrolló este informe se encontraban los siguientes acopios.

- Triturado 6-19 de cantera "Diquecito".
- Triturado 0-6 de cantera "Diquecito".
- Triturado 6-12 de cantera "Diquecito".
- Arena silíceo de cantera "La Cañada".
- Purga.

Se debe tener en cuenta que el origen de los agregados es importante ya que los parámetros de calidad de los mismos varían de una cantera a otra, motivo por el cual la inspección se asegura de se utilicen los agregados descritos en la "Formularia de Obra" que cumplen con exigencias de los Pliegos de Especificaciones Técnicas.

Se llama purga a el material que se obtiene de la planta asfáltica previo a que se estabiliza la temperatura debida a diferencias térmicas de agregados y cemento

asfáltico, lo cual que evita el buen mezclado de ambos y por lo tanto es un material no apto en cuanto a calidad. Este material es acopiado a medida que se genera y luego retirado del predio.

Este material presenta una granulometría similar a un triturado 0-20 y contiene cantidad variable de cemento asfáltico. Se considera un descarte si hablamos de materiales aptos para carpetas de rodamiento o bases asfálticas pero puede dársele uso en ámbitos con menos exigencias en construcción de desvíos, calles de tierra, etc.

La labor del palero consiste en acopiar y mezclar los materiales que ingresan a zona acopio y son descargados por camiones volcadores, cargar cada tolva con el material adecuado, retirar la purga o mezcla asfáltica defectuosa de la tolva de descarga. El concepto importante de su tarea es que los aportes a las tolvas sean de material homogéneo, esto implica que no se encuentre contaminado, segregado y que contenga una humedad constante. Si se falla en alguna de estas exigencias se tiene variaciones en la calidad de la mezcla asfáltica. A continuación se describe brevemente los dos procesos físicos:

- Segregación: Consiste en la acumulación de agregados más gruesos en la base o tercio inferior del acopio y de finos en el tercio superior. Este fenómeno se da la mayor movilidad que poseen las partículas de mayor tamaño ante la caída cuando el material se descarga lo cual genera este depósito de material más grueso al pie del acopio y las capas exterior debido a un acorazamiento.
- Retención de humedad: Los agregados más finos como la arena y el Triturado 0-6 contienen partículas más finas, por lo tanto también con mayor superficie por unidad de volumen lo cual retarda el secado natural. Este efecto se acrecienta en días posteriores a lluvias, especialmente si se tiene en cuenta todo el cuerpo del acopio, ya que un acopio de triturado 6-12 drena el agua de lluvia más rápido que un acopio de Arena que la contiene en su núcleo por más tiempo pasada la lluvia si no se hace nada al respecto.

Para que el aporte de agregados sea homogéneo se aconsejan las siguientes metodologías que deben inculcarse al personal a modo de capacitación o control según corresponda:

- Pre-acopio: Consiste en la elaboración de un acopio más pequeño cuyas dimensiones van de acuerdo a la demanda según la producción del día o de la semana planificada. Este tiene perfecta homogeneidad ya que el palero se asegura de ello con un buen mezclado que asegura que no haya gran segregación por su tamaño más pequeño y eliminación de la humedad y conservación uniforme de la misma debido al mezclado ya mencionado.
- Fondo de acopio: Práctica previa a la elaboración del acopio que consiste en la fabricación de una capa de pocos centímetros del material que posteriormente se va a acopiar para evitar el mezclado del mismo con el suelo subyacente. Otro aspecto a mencionar dentro de este apartado es que el palero nunca debe "clavar" el balde en el suelo ya que se estaría contaminando con suelo natural que afectaría su granulometría u otros parámetros. El fondo de acopio puede llegar a ayudar contra este problema pero la solución es no realizar esa práctica.
- Tapado de acopios: Durante periodos posteriores a los productivos se debe cubrir los acopios, en especial los de agregados más finos, con lonas impermeables para evitar que en caso de lluvia estos queden parcialmente

saturados complicando y hasta posiblemente hacer imposible la producción del día siguiente . Esta metodología también actúa como protección contra el viento que puede contaminarlos o remover polvo pasante tamiz 200.

- Buen Perfilado y ubicación espacial de acopios: Se recomienda un perfilado recto de los distintos materiales delimitando una sección trapezoidal con bordes rectos en cuanto a su profundidad longitudinal para los acopios generales y una forma de cono para los pre-acopios. A esto se le agrega un buen espaciado entre los mismos para evitar contaminaciones y garantizar una buena circulación de los camiones .

3.4- TALLER

Sector ubicado en la parte frontal del predio. Este cuenta con personal capacidad y herramientas aptas para la reparación y mantenimiento de equipos destinados a la construcción de obras viales. Los mismos pueden ser propios de la empresa o alquilados. Se debe mencionar que esta tarea nos menor ya que el buen estado de los mismos es vital para un rendimiento aceptable de las distintas obras. Por este motivo, el conocimiento técnico de los mismos por parte del personal que lo utiliza, controla y repara; y la logística para realizar el movimiento de los mismos ,comprar repuestos e insumos, son claves para una empresa constructora. A continuación se mencionan los equipos utilizados en las distintas obras:

- Pala cargadora frontal.
- Mini-Pala cargadora.
- Terminadora.
- Fresadora.
- Rodillo neumático.
- Rodillo liso vibratorio.
- Compactador manual vibratorio.
- Camión con batea volcadora.
- Camión con carretón.
- Camión regador de asfalto.

3.5-PAÑOL

Se llama Pañol al área destinada al almacenamiento y administración de diversos objetos que son utilizados día a día por el personal de la empresa . La persona que está encargada de este se llama “pañolero” y su función es repartir los elementos de trabajo y controlar su devolución en buen estado. Además de ser el responsable de los mismos también lo es de solicitar su reposición en tiempo y forma al sector administrativo que realizará el pedido de compra correspondiente .Podemos agrupar la mayoría de estos objetos en las siguientes categorías.

- Herramientas.
- Ropa de trabajo.
- Elementos de protección personal.
- Repuestos para reparaciones.

3.6- ADMINISTRACIÓN

Esta área está ubicada próxima a la báscula ,siendo esta última una balanza de gran escala en la cual se pesan camiones cargados y descargados para de esta forma cuantificar materiales que entran y salen del predio(siempre hablando de materiales que

se manejan a granel, el resto son recibidos en pañol). Con esas cantidades que se muestran en un dispositivo con una pantalla ,mostrada en la Imagen 3.3 a continuación, que indica los Kilogramos pesados .La misma esta conectada con una computadora que dispone de un programa que utiliza esos datos para generar remitos que actúan como comprobante de entrega; y que luego son adjuntados para generar facturaciones o certificaciones, las cuales tienen incluido precios que junto a las cantidades terminan indicando importes a cobrar/ pagar por servicios o materiales entregados/recibidos.

Otra función a mencionar es que este sector es el encargado del personal. Las responsabilidades que esto tiene aparejado son Informar horas de ingreso y egreso, registrar horas trabajadas , pre-liquidar sueldo , informar sanciones o suspensiones y hacer entrega de recibos sueldos, recibir partes diarios, entre otras.

Además de estar encargada del registro de información tanto de personal y materiales como se mencionó, el sector administrativo también realiza tareas de logística. Esta función es de gran importancia ya que constituye un nexo de información entre el obrador y obra, proveedores u oficina central según sea el caso.

Aquí se coordinan entregas de equipos que se encuentran en taller mediante el uso de camión con carretón , de mezcla asfáltica informando horas de salida y cantidades a responsables de obra , y de demás materiales o insumos como gasoil, emulsión asfáltica , agregados , etc.

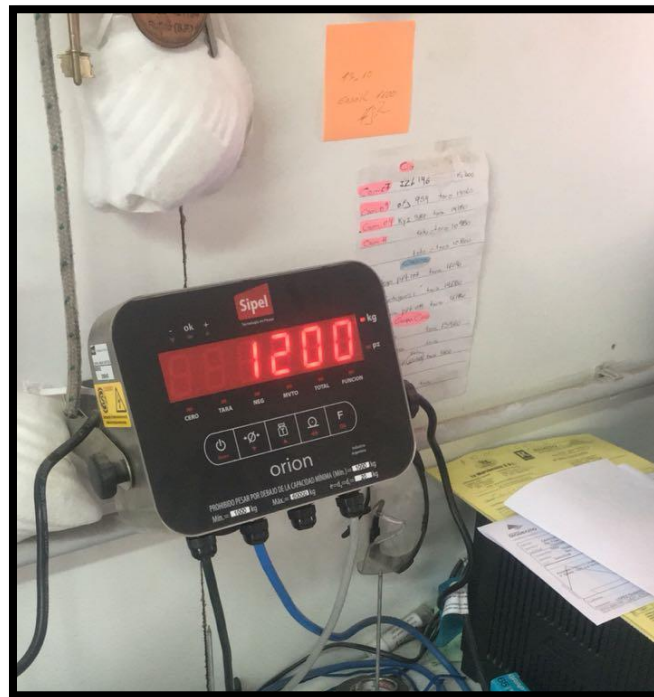


Imagen 3.3- Báscula electrónica

3.7- LABORATORIO CENTRAL

En el mismo se desarrolló la mayoría de la PS, la función del mismo consiste en el control de calidad de materiales para verificar si son aptos para la tarea en que se los va a utilizar ,y luego se los controla puestos en obra para verificar que la aplicación de

los mismos haya sido apropiada. Esto es importante ya que con que uno de los dos controles falle implica un mal resultado final.

Estos controles, si bien su objetivo primordial es asegurar calidad, permiten beneficios económicos para la empresa. Partiendo de los ejemplos más obvios como evitar posible rechazo de material puesto en obra o mala aplicación del mismo, hasta búsqueda de alternativas más económicas en cuanto al origen del material o optimización de la combinación del mismo, asegurando siempre que se cumplan las exigencias descritas en los pliegos de especificaciones técnicas.

En laboratorio se obtienen datos de gran importancia que tienen impacto en la producción de mezcla asfáltica, recepción de materiales y realización de trabajos en obra como se mencionó anteriormente. Es muy importante ser práctico, cuando la situación lo amerita, con respecto a los mismos en cuanto a su exactitud y tiempo de ejecución, siempre acompañando los resultados de sentido común, lógica y una inspección visual de materiales en cuestión.

Está conformado por contenedores de 6 metros:

- El primero está destinado a mediciones de precisión, esto incluye viscosímetro, balanzas de suspensión, prensas para ensayos de Marshall y CBR.
- El segundo está designado como "zona caliente". Aquí se dispone de hornos, anafe y elementos destinados al manipuleo de asfalto y mezcla asfáltica a altas temperaturas necesarias para determinados ensayos.
- El tercero está destinado a suelos y agregados. Aquí se realiza ensayos básicos y de gran importancia como granulometrías por tamizado y proctor. También Este es el lugar donde se almacena muestras de materiales provenientes de las distintas obras.
- Finalmente, el cuarto contenedor, está destinado al control de calidad, en esta oficina se hace el procesamiento de datos obtenidos en el laboratorio para llegar a las conclusiones solicitadas en las obras o al análisis puntual de situaciones que se ven irregulares o para optimizar algún trabajo. También es aquí donde se realizan las presentaciones exigidas por inspección en las que se detalla los resultados obtenidos que aseguran la calidad de trabajos realizados, habilitando así a la empresa a certificar las cantidades de los distintos ítems presentadas a la inspección.

4-ENSAYOS

4.1- INTRODUCCION

La mayoría de las tareas realizadas durante la práctica supervisada están basadas en los ensayos realizados en el laboratorio. Por lo tanto se describe en este capítulo que es un ensayo y su importancia. También se añaden las condiciones para asegurar su validez desde un enfoque estadístico y normativo.

Una vez definidos se pasa a describir los elementos que son ensayados. Para estos se hace una breve descripción y clasificación de ellos. De acuerdo a la complejidad de su obtención desde el punto de vista de una empresa constructora. Se distingue entre materiales primarios, productos elaborados y capas estructurales de un pavimento.

Una vez establecidos los conceptos básicos se estructura el capítulo en secciones para cada grupo de ensayos que son aplicables al mismo material. Este último puede pertenecer a cualquiera de los grupos ya mencionados de acuerdo a su complejidad. En primer lugar se describen ensayos aplicables a suelos, materiales granulares y a cemento asfáltico que son considerados materiales primarios. En segundo lugar se

desarrolla los controles realizados a capas estructurales que componen pavimentos existentes. En tercer lugar se tratan dos productos elaborados que son el hormigón y la mezcla asfáltica. Cabe aclarar que no se incluyeron todos los ensayos y materiales con los que se tuvo contacto durante el periodo de la práctica supervisada. También es importante resaltar que algunos ensayos son aplicables para más de un tipo de material pero se incluyeron una sección determinada ya que se uso un caso de aplicación con ese material o porque permite describir de mejor manera los temas posteriores. Como el caso el ensayo de granulometría que se lo adjudica en la sección de materiales granulares ya que en el día a día es el material que se utiliza más y además porque es un componente de la mezcla asfáltica, material en que se hará más hincapié a lo largo del informe.

En última instancia en la sección de mezclas asfálticas, además de describir ensayos aplicables a la misma, se hace un análisis más profundo en que se incluyen sus propiedades y características y sus proceso productivo que inicia en la dosificación y termina en su puesta en obra y posterior control. Durante todo este proceso existen ensayos y controles a tener en cuenta.

4.1.1-Conceptos preliminares

Un ensayo es una prueba o verificación de un elemento en cuanto a sus propiedades cuantificables o en cuanto a su comportamiento. Este concepto aplicado a esta práctica supervisada se puede entender como la medición de ciertas características de los materiales analizados las cuales deben estar acorde a lo que nos especifica el pliego. Esto garantiza que los mismos tengan un buen comportamiento estructural y funcional durante su vida útil. Cuando nos referimos a materiales podemos diferenciar los siguientes:

- Materiales primarios: Son aquellos que se reciben en obrador y actúan como insumos para los productos elaborados o que pueden ser utilizados sin ningún tratamiento previo. Por ejemplo piedra triturada, suelo, arena silíceo, cemento asfáltico, filler calcáreo, cal, cemento, emulsión, entre otros posibles.

Dentro de este apartado cabe destacar la diferencia entre suelos y agregados, los primeros son materiales de origen natural, son inertes es decir no contienen material vegetal por lo que en general se encuentran luego de remover los primeros centímetros de la cubierta vegetal. Los segundos engloban arenas silíceas y gravas (obtenidos de la naturaleza) y piedra triturada obtenida en canteras, las cuales realizan voladura de macizos rocosos y luego se trituran y clasifican en tamaños convenientes (Triturado 0-20, 6-19, 0-6, etc.).

- Productos elaborados: Son aquellos derivados de los materiales primarios. Para elaborarlos se necesita de un proceso productivo que depende de que producto se quiere obtener. En el caso de esta Práctica Supervisada el producto elaborado en que se hace mayor énfasis es la Mezcla Asfáltica en caliente la cual utiliza como insumos piedra triturada, arena silicea, filler calcáreo y que a través de un proceso productivo a altas temperaturas llevado a cabo en una planta asfáltica es obtenida. Otro ejemplo es el hormigón que está conformado por agregados pétreos, arena, cemento y agua.
- Pavimentos y sus componentes: Se llama pavimento a la estructura horizontal destinada a soportar cargas sobre ella sin sufrir deformaciones u otros cambios que afecten su funcionalidad durante una vida útil prefijada. Esta estructura está formada por 2 o más "capas", las cuales tienen diferentes características según sea el caso. Dentro de las características podemos mencionar función,

resistencia estructural (que depende de la calidad de los materiales), material o producto por el que están conformadas, espesor, superficie, textura, entre otras. Muchas veces dichas características están relacionadas entre si, razón por lo que la aptitud de los materiales ha sido evaluada durante años. De esa forma se han generado ensayos normalizados que dan valores cuantitativos aceptables para que cada material o producto desarrolle su función adecuadamente . Podemos mencionar carpeta de rodamiento de mezcla asfáltica, base negra de mezcla asfáltica, base granular , sub-base, subrasante, losa de hormigón para pavimento, riego de imprimación, riego de liga, pavimento de adoquines intertrabados.

Realizada esta clasificación podemos decir que cada material, producto o estructura deberá ser sometido a distintos ensayos según la característica que se deba evaluar. A continuación se describe cada ensayo por separado. En cada uno se enumera lo siguiente:

- Procedimiento y equipamiento utilizado: Todos los ensayos se encuentran normalizados para que los resultados de los mismos sean representativos y confiables, esto se logra ya que al garantizar siempre el mismo entorno, procedimiento, herramientas de trabajo y demás factores , el resultado final es el mismo o presenta variaciones poco significativas. Algunos entes normalizadores que se pueden mencionar son DNV(Normas de ensayo de vialidad e la Nación), IRAM(Instituto argentino de normalización y certificación), ASTM(Métodos americanos estandarizados de evaluación), AASHTO(La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes). Estas mismas normas son referenciadas en los pliegos de cada obra y deben ser cumplimentadas.
- Extracción de muestra: Se denomina muestra a una porción de un total, la cual se usa para analizar sus características, las cuales luego se le atribuyen al total. Estas deben ser representativas ,aleatorias y suficientes en cuanto cantidad con respecto al total .Siempre que se cumpla con lo anterior se puede asumir con suficiente exactitud las propiedades del total del material en cuestión .

Con respecto a la representatividad es importante aclarar que aquí es donde entra en juego el procedimiento de extracción de muestra ,el cual también esta normalizado).En el caso de materiales que se encuentran a granel(partículas sólidas de distintos tamaños apiladas) el gran inconveniente a sortear es que se encuentran mezcladas de forma no homogénea por el fenómeno de segregación que se ha descrito anteriormente. Para homogeneizar la muestra es necesario obtener la misma de dos alturas distintas del acopio(1/3 y 2/3) de dos frentes distintos. Una vez hecho esto se procede al mezclado en laboratorio y por cuarteos sucesivos se llega a la cantidad indicada en la norma de ensayo .Esta homogeneización es importante para lograr la representatividad pero también es importante la cantidad de muestra a tomar , para agregados con mayor tamaño de partículas será necesario mayor masa de muestra mientras que para los de menor tamaño será necesario menor cantidad. Finalmente la aleatoriedad es importante de mantener para obtener resultados no sesgados .Esto se logra haciendo uso de métodos aleatorios en cuanto a la ubicación y tiempo de la extracción de la muestra .

- Resultados y análisis de los mismos: Los resultados obtenidos de cada ensayo son necesarios para la certificación de trabajos realizados, para la optimización de procesos constructivos, para recepción de materiales, para abaratamiento de

costos. Es muy importante tomar la decisión correcta a partir de los mismos. Para los casos que lo ameriten, dichos ensayos pueden analizarse globalmente utilizando gran cantidad de resultados para llegar a conclusiones que no pueden lograrse con resultados puntuales. Para ello es necesario apoyarse en métodos estadísticos.

- Material sobre el cual se lo realiza y porqué: Cada material, producto elaborado o estructura debe ser sometido a distintos ensayos según la característica a estudiar o corroborar. Por esta misma razón cada ensayo presenta modificaciones según a que material se le realiza el ensayo, ya sea estipulando modificaciones en la norma o determinando ensayos totalmente distintos para medir la misma propiedad para dos materiales distintos.
- Frecuencia: Esta viene dada por la cantidad de producto que se elabora, como la mezcla asfáltica (cuando la cantidad producida supera cierta cantidad es de suma importancia tomar otra muestra y realizar ensayos correspondientes) o por la variación esperada de cierta propiedad ,por ejemplo análisis sobre macizos rocosas de canteras. Estos pueden suponerse que varían menos en el tiempo por razones geológicas. Con respecto a ensayos diarios también entra en juego el tiempo de realización del ensayo y la cantidad de equipos o insumos disponibles para el mismo. Siempre hay casos en que se necesitan ensayos puntuales como dosificaciones o controles de obra.

4.2- SUELOS

Desde el punto de vista ingenieril se llama suelos al material de origen natural que se encuentra debajo de los primeros centímetros de material orgánico de la superficie. Pueden clasificarse como se mencionó en la introducción del capítulo como materiales primarios Se clasifican según el tamaño de sus partículas en gruesos y finos. Es importante su estudio ya que siempre son utilizados para capas de apoyo, terraplenes, subrasantes, pueden ser combinados con ligantes para aumentar su posible prestación estructural o funcional como aporte para capas estructurales de mayores requerimientos en cuanto a su resistencia. Debido a eso se realizan ensayos para analizar su aptitud para sus diversos fines o para descartarlos si fuese necesario. En la sección siguiente de este capítulo se describen ensayos de agregados granulares. Entre estos hay ensayos que también son aplicables a suelos en general pero se describen en esta sección. Entre ellos se encuentran el ensayo de granulometría, compactación proctor y CBR. El primero es necesario para la clasificación de suelos. Este consiste en establecer que proporción en peso pertenece a los distintos tamaños de partículas.

4.2.1-Límite líquido

Se define como tal a el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo. El objetivo de este ensayo es determinar el comportamiento del material en estudio con respecto al agua. Este valor es de gran utilidad para identificar a que clasificación pertenece el suelo en cuestión. También es importante mencionar que es una exigencia poseer un índice de plasticidad relativamente bajo para que el material sea apto para utilizar en capas estructurales.

Este límite se define arbitrariamente como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm. de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm., aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos

mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm., a la velocidad de 2 golpes por segundo. El ensayo se realiza en el Equipo de Casagrande mostrado en la Imagen 4.1.

El procedimiento más común consiste en aplicar el método descrito en las normas hasta lograr la separación del material para una cantidad de golpes cercana a la de 25 que es la que caracteriza el Límite Líquido. Una vez obtenidos estos valores es posible interpolar los resultados para determinar la humedad correspondiente a los 25 golpes.



Imagen 4.1- Equipo de Casagrande para límite líquido de suelos, Acanalador, espátula y mortero de porcelana.

4.2.2-Límite plástico

Se llama límite plástico a el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo. Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. de diámetro. Al igual que el límite líquido este valor se utiliza para clasificar suelos. Además, surge el concepto de índice de plasticidad que es la variación entre el Límite Líquido y el Límite plástico. Por otro lado esta cantidad de humedad es importante de conocer ya que es próxima a la humedad óptima de compactación.

Sintéticamente, el ensayo consiste en obtener suficientes barritas para poder obtener mediante un secado en horno la humedad en que el suelo analizado se comporta plásticamente.

4.2.3-Clasificación de suelos

El método de clasificación de suelos aplicables a obras viales es el desarrollado por la H.R.B. (Highway Research Board) la cual indexó numerosas muestras de diversos materiales de condiciones portantes y de servicio similares. Posterior a esto determinó 7 grupos que van desde A1 a A7. La capacidad estructural de los mismos es decreciente. También pueden mencionarse la existencia de sub grupos y el de Índice de grupo el cual fue creado para para distinguir la capacidad portante de dos materiales pertenecientes al mismo grupo .Para conocer a que grupo pertenece un material y así saber su capacidad portante es necesario conocer ciertas características del mismo. Estas son la granulometría, Limite líquido y limite plástico. Una vez conocidos estos datos se utiliza la Tabla 4.1 que se muestra a continuación.

Tabla 4.1- Tabla para clasificación de suelos. Fuente: Normas de Ensayo DNV.

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) hasta el 35%							SUELOS ARCILLOSO-LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) más del 35%			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A-7-5 A-7-6
CLASIFICACIÓN POR GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Ensayo de tamizado por vía húmeda Porcentaje que pasa por:											
Tamiz IRAM de 2 mm. Nº 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros Nº 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros Nº 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros Nº 40											
Límite Líquido	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre				

El Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 5 es igual o menor que LL - 30. el Índice Plástico del Sub-Grupo A - 7 - 6 es mayor que LL - 30.-

A continuación se adjunta en la Figura 4.1 un clasificación de suelo durante la estadía del alumno. En este proceso se utilizan resultados de los Ensayos de Límite Líquido, Límite Plástico y de Granulometría .

Figura 4.1- Ensayo de clasificación de suelo . Muestra de base granular existente para repavimentación de la avenida Govcochea.

GRANULOMETRIA						DETERMINACION DE LL - IP		
1.000,0 gr						LL	LP	
TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA	SEGUN PLIEGO		Pesafiltro Nº	1	2
[Nº]	[mm]	PARCIAL [gr]	ACUM [gr]	ACUM [%]	L. Sup.			
10	2,000	20,0	980,0	98,0		Pesafiltro + S.H.	51,5	25,1
40	0,420	73,3	906,7	90,7		Pesafiltro + S.S.	43,7	23,2
200	0,074	94,8	811,9	81,2		Agua	7,8	1,9
						Tara Pesafiltro	14,9	14,1
						Suelo Seco	28,8	9,1
						% Humedad	27,1	20,9
						Nº de Golpes	25	25
						Factor de Corr.	1,000	-
						% Humedad Corr.	27,1	-
						IP	6,2	
						Clasificación HRB	A-4 (4)	

4.3- AGREGADOS GRANULARES

Se llaman por este nombre a materiales compuestos principalmente por partículas friccionales con un tamaño mayor a 74 micrómetro, partículas menores corresponden a arcillas y limos. Pueden encontrarse en la naturaleza como las arenas, gravas, o pueden provenir de la trituración en canteras. Desde el punto de vista de la empresa se los considera materiales primarios ya que se adquieren listos para ser usados. Por ejemplo la arena se compra lavada y las piedras trituradas.

Generalmente son combinados con distintos materiales de distintas granulometrías para obtener una mezcla que cumple con determinadas especificaciones. Pueden ser mezclados con ligantes para formar hormigón o mezcla asfáltica. También pueden emplearse sin ligantes y ser usados para la construcción de capas estructurales como subbases y bases granulares. En esta sección se describen ensayos sobre los agregados de forma individual. Con estos ensayos se evalúan si pueden ser parte de una mezcla de agregados que también es evaluada para formar parte de capas estructurales. Por ejemplo se evalúan las propiedades de un triturado 6-19 para ver si es apto para ser usado en una mezcla asfáltica que a la vez es ensayada para ser utilizada como carpeta de rodamiento. O también este mismo triturado es analizado para una mezcla con suelo que luego se verifica si es apta para una subbase mediante ensayos proctor y CBR.

Ensayos importantes que no fueron tratados en detalle en esta sección son los ensayos de desgaste de los Ángeles, Petrográfico y Polvo adherido. El primero evalúa la resistencia de los agregados a las fuerzas abrasivas y aptitud para ser utilizados en capas asfálticas. El segundo identifica la composición de los agregados la cual es útil para determinar la aptitud química de las partículas que por ejemplo definen su compatibilidad con el cemento asfáltico o con el cemento para la elaboración de hormigones. En tercer lugar, el ensayo de polvo adherido evalúa la limpieza de piedra triturada. Este último es análogo al ensayo Equivalente de arena que es aplicable a arenas.

4.3.1-Granulometría

Su finalidad es obtener la distribución de tamaños de las distintas partículas que componen la muestra. El ensayo consiste en la separación de las partículas mediante el uso de una serie de tamices enumerados en la Tabla 4.2. Los tamices son aros metálicos unidos a una malla o conjunto de alambres, los cuales tienen un tamaño de apertura normalizado. Hay ciertas aperturas específicas que nos definen si el material es tosca, grava, arena gruesa, arena fina, limos o arcillas según qué porcentaje del material queda retenido en esos tamaños característicos. El más relevante en el caso de mezclas asfálticas y hormigones es el Tamiz N°4 de la Serie de Taylor mostrado en la Imagen 4.2, que separa partículas finas de gruesas según sean pasante o retenidos respectivamente.

Para realizar este ensayo se necesita lo siguiente : Serie de tamices, horno eléctrico para secado de material, balanzas con precisión al gramo, tamizador mecánico(opcional), herramientas para manipuleo del material y barbijo para evitar la ingesta de polvo suspendido.

Tabla 4.2-Designación de tamices y tamaños de abertura.

Tamiz	Abertura (mm)
3/4"	19
1/2"	13
3/8"	9,5
Nº 4	4,8
Nº 8	2,4
Nº 16	1,2
Nº 30	0,6
Nº 50	0,3
Nº 100	0,15
Nº 200	0,075

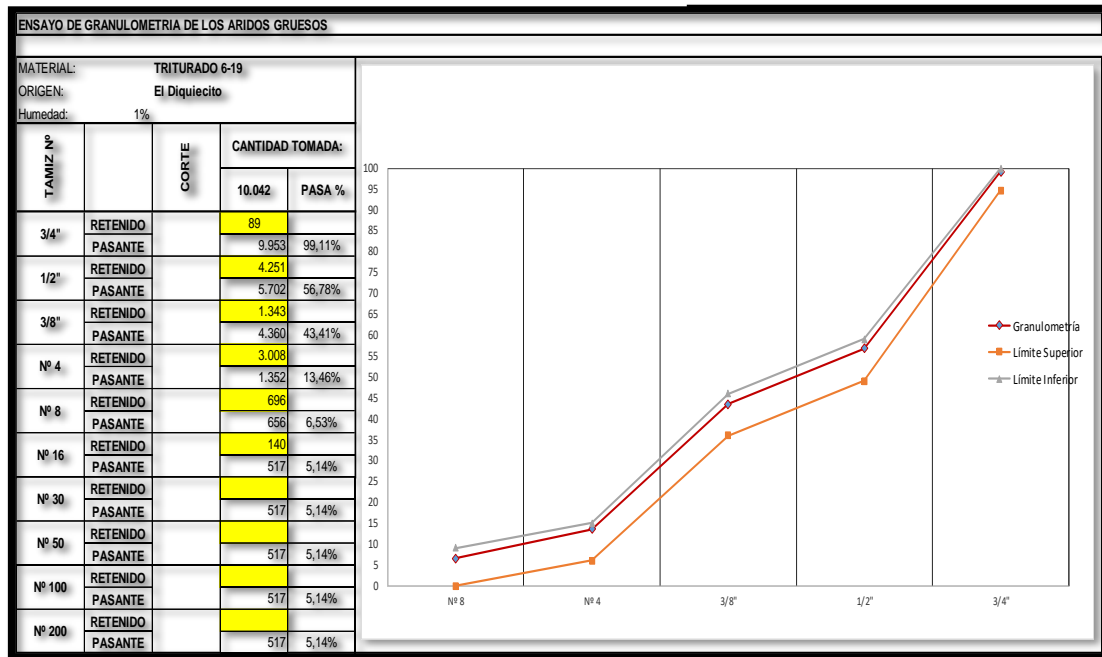


Imagen 4.2- Tamiz Nº4 de la serie de Taylor.

El procedimiento consiste en determinar la distribución porcentual en peso de todo el material. Para ello se obtienen muestras de acopios o calicatas según sea el caso, siempre asegurando la representatividad como se mencionó anteriormente. Posterior a ello se procede al zarandeo manual o mecánico de los tamices, haciendo pasar por ellos la muestra en estado seco. De esta forma se obtiene el siguiente gráfico adjunto en la Figura 4.2 utilizando la tabla que relaciona la nomenclatura de cada tamiz y el tamaño de la abertura en milímetros que corresponderá al eje de abscisas.

En se ubican los logaritmos de las aberturas, los cuales determinan el diámetro de la partícula, y en ordenadas el porcentaje acumulado de la cantidad de partículas que pasan por dicho tamiz. En este ejemplo podemos notar que tenemos dos límites granulométricos, por lo general estos vienen normalizados y apuntan a controlar que los distintos agregados tengan un granulometría continua y el rango entre ambos depende de la variabilidad exigida para el material. Esto quiere decir que posea partículas de todos los tamaños lo que le dará una buen comportamiento estructural, una de las referencias para esto es la curva de Fuller, que indica la fórmula matemática para la máxima compacidad según la curva granulométrica de un material.

Figura 4.2- Ensayo de granulometría



Cuando la curva supera el límite superior decimos que es “fina” en ese tamiz, es decir que pasa mayor cantidad de partículas de las que deberían. Sucede lo análogo con el límite inferior, determinando que la granulometría es gruesa en esa abertura. Teniendo en cuenta lo que se mencionó que la granulometría ideal es la que responde a la de Fuller, una granulometría cercana al límite inferior es más tendiente a la segregación mientras que más cercana al límite superior tendrá una segregación casi nula.

Este concepto es de gran importancia cuando se pretenden mezclar agregados con algún ligante como el cemento o el asfalto. Una granulometría más gruesa contiene menos superficie por unidad de volumen por lo que demanda menor cantidad de cemento asfáltico o pasta agua/cemento para ser recubiertas, lo que implica menores costos (siempre asegurando antes una buena calidad). Por este motivo debe siempre buscarse un equilibrio entre ambas de acuerdo a la información y recursos disponibles, y lo exigido por pliego.

Como se había dicho anteriormente, los procedimientos de los ensayos dependen de la naturaleza del material y sus características. En el caso de la granulometría podemos distinguir entre dos métodos: Vía seca y Vía húmeda. La segunda es requerida por materiales con mayor presencia de “finos” (gran cantidad de partículas con diámetro menor a 0.075 mm, a estas se las clasifica como arcillas y limos) que necesitan de un método distinto al zarandeo, el cual es netamente mecánico, ya que estas partículas por tener tan bajo peso sus movimientos son regidos por fuerzas intermoleculares electrostáticas llamada cohesión. Para eliminar este factor se procede a lavar el material sobre el tamiz 200 (abertura 75 micras), seguido de esto se seca el material hasta masa constante. Finalmente se procede al tamizado como si fuera un material “grueso”, ya que esas partículas fueron eliminadas no quedarán adheridas a las partículas grandes sin alterar de esta forma el resultado del ensayo. Cabe destacar que la presencia de finos quedó cuantificada una vez que se eliminó mediante el lavado ya que se pesa el material antes y después de dicho procedimiento, obteniendo por diferencia la cantidad que pasó por el último tamiz de la serie. Un ensayo derivado de las dos variaciones del análisis granulométrico es el llamado relación Vía seca-Vía húmeda, en

este se tamiza una material por ambos métodos. Una vez obtenidos los resultados se obtiene una variación porcentual de cuanto material pasa por el tamiz 200 en ambos ensayos, si esta es mayor a la establecida en la norma este material puede considerarse con "plasticidad"(característica propia de los suelos) , que es lo mismo que decir que presenta características cohesivas. Este puede ser el caso de un material como el triturado 0-6 que fue contaminado con suelo en una cantera.

Teniendo en cuenta los distintos métodos, diferencias en cuanto a la interpretación de los resultados y frecuencias; este ensayo puede aplicarse a:

Suelos: Como ya mencionamos en ellos la presencia de partículas finas cohesivas es una constante. Es importante conocer la granulometría ya que según ella puede hacer la clasificación del suelo, y por consiguiente su aptitud para ser utilizado sin necesidad de mejoramientos mecánicos, físicos o físicos/químicos. La frecuencia queda determinada por la variación del mismo en la traza del camino a construir, en el terreno que se busca realizar un préstamo o cualquier otra posible variación que haga necesaria ensayarlo nuevamente. Como por ejemplo cuando se dosifica mezclas con cal o cemento.

Agregados: Se encuentran acopiados en la zona de acopios y la muestra se extrae como se mencionó anteriormente. En general la necesidad de ensayarlos es diaria cuando se los utiliza para la elaboración de mezcla asfáltica, por esta razón es aceptable no realizar el método de vía húmeda de los agregados gruesos ,además de que puede estimarse su humedad ya que no afecta en gran medida el resultado. El cual debe ser obtenido rápidamente para evaluar valores atípicos en otros ensayos de la mezcla asfáltica. Esto es muy distinto cuando estos agregados se van a utilizar en ensayos que requieren más precisión como una granulometría cumpliendo rigurosamente con lo que exige la norma una vez por semana (o antes si se cree necesario) o cuando estos van a ser utilizados para una dosificación de mezcla asfáltica o alguna mezcla con otro agregado o suelo para otros usos.

Pastón Blanco o mezcla de agregados de cinta : Este ensayo consiste en el control de que la granulometría de la mezcla de agregados que más tarde ingresan al horno donde se mezclan con el cemento asfáltico para formar mezcla asfáltica. Esto se hace diariamente apenas se inicia la producción .La muestra es tomada directamente de la cinta en funcionamiento previendo que este sea representativo (Según la producción con la que se este trabajando de sostendrá la bandeja un determinado tiempo para que la cantidad tomada sea la adecuada). Es de vital importancia realizar este ensayo de forma expeditiva para detectar a tiempo posibles variaciones provocadas por diferentes motivos (segregación en acopios, excesiva humedad en algún agregado, mala calibración de planta, o para compensar algún otro problema en la mezcla asfáltica). Es importante tener en cuenta que la granulometría del pastón blanco es obtenida durante la dosificación de mezcla asfáltica. Durante ella se realiza un fraccionamiento de los distintos agregados que la conformaran para que el ensayo sea lo más exacto posible. Como resultado final se obtiene una granulometría de "Formula de Obra" la cual establece los pasantes porcentuales en cada tamiz y cierta tolerancia para los mismos, además de un límite máximo superior e inferior.

Regresando al control diario, lo primero que se hace es tamizar toda la muestra por el tamiz N°4 (Este tamiz separa los materiales granulares o pétreos de las arenas, lo que conlleva distintas humedades en estado natural de cada uno por sus distintas características drenantes) de esta forma se compara el pasante en el tamiz, se puede apreciar el proceso en la Imagen 4.3, de la muestra con el de la Formula de Obra. Si la diferencia es apreciable se procede a realizar cambios en la planta para corregir esto inmediatamente. Seguido de esto se completa la granulometría completa y se verifica diferencias en todos los tamices y se planean modificaciones para el día posterior. Por lo tanto la frecuencia es diaria (a veces más de una vez por día por posibles modificaciones o si la cantidad de mezcla producida lo justifica).

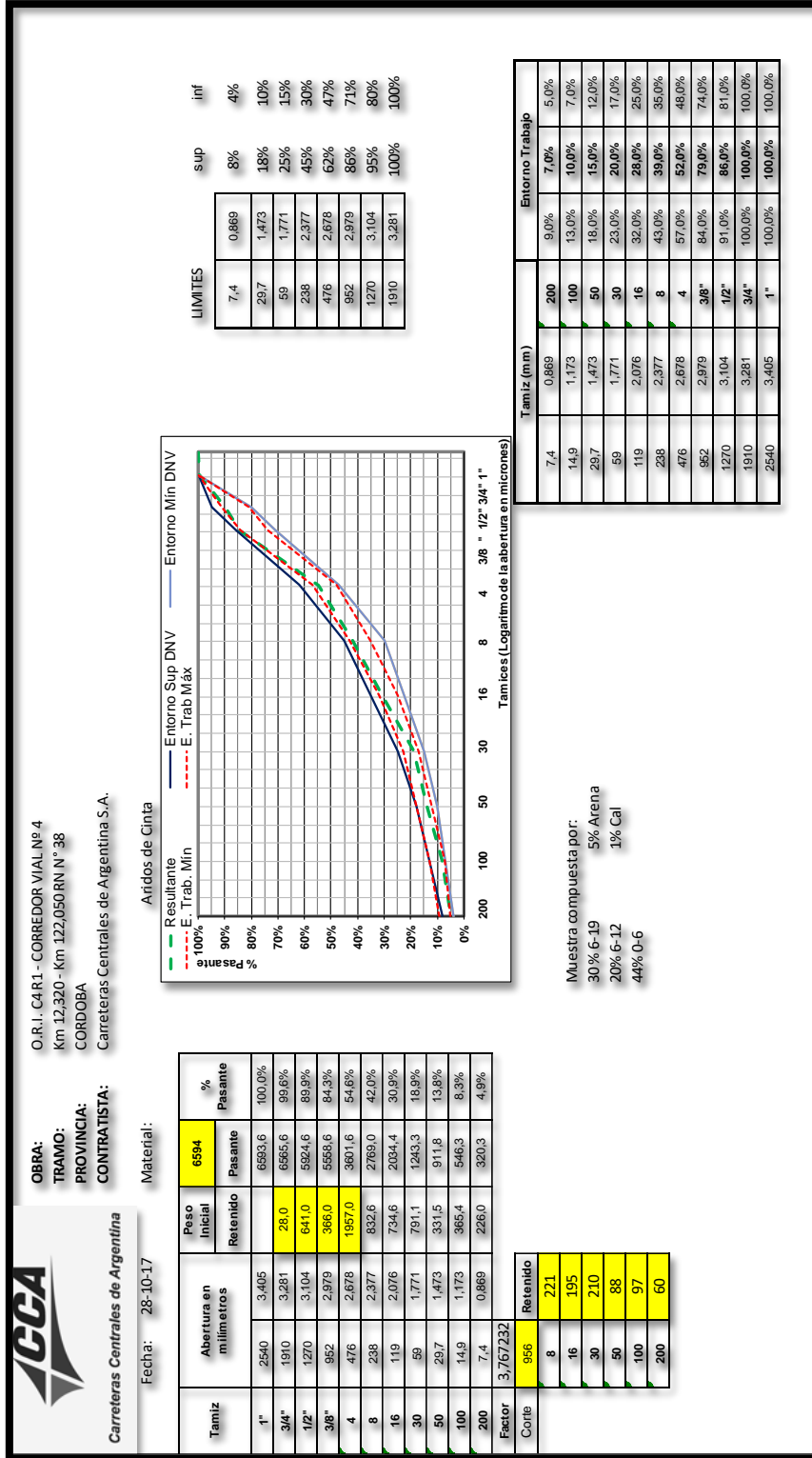


Imagen 4.3- Granulometría de cinta o pastón blanco

Un método para realizar la granulometría de cinta, que también es aplicable a determinadas muestras de suelos mezcladas con agregados pétreos, consiste en hacer un corte en el tamiz

N° 4. Esto tiene que ver con lo mencionado anteriormente con respecto a este tamiz, pero más aun con la dificultad que presenta tamizar material por tamices de menor abertura con el tiempo que esto conlleva. Por esta razón se cuartea el material pasante por el tamiz y se procede a seguir el proceso estándar del ensayo. Lo que se está haciendo es considerar que esta nueva muestra es representativa de la porción fina del material. De esta forma, se multiplica por un factor proporcional al tamaño total inicial de la muestra fina y se expresa el resultado del ensayo graficando su curva correspondiente. Este procedimiento se apoya en el concepto que ya se explicó en el que se enumeran las cantidades necesarias a ensayar según los diámetros de las partículas. Las tablas que contienen todos los datos del ensayo y la curva granulométrica final se expresa en la Figura 4.3 a continuación.

Figura 4.3- Curva granulométrica de cinta y cálculos



Muestra compuesta por:
30% 6-19 5% Arena
20% 6-12 1% Cal
44% 0-6

LIMITES	sup	inf
7,4	0,869	4%
29,7	1,473	10%
59	1,771	15%
238	2,377	30%
476	2,678	47%
952	2,979	71%
1270	3,104	86%
1910	3,281	100%

Material sobrante del ensayo de recuperación de asfalto: Ensayo realizado sobre el material proveniente del ensayo de recuperación de asfalto (el cual es removido durante dicho ensayo) que se hace sobre la mezcla asfáltica para determinar que porcentaje de cemento asfáltico contenía. Es importante remarcar que esta muestra debería corresponderse con la muestra obtenida de la granulometría de cinta. Esto no suele suceder por los siguientes motivos posibles:

- Muestra no representativa por segregación.
- Pérdida de finos durante mezcla del pastón blanco con el cemento asfáltico. (Esto depende del mecanismo que disponga la planta ,recuperador con cono o filtro de manga, siendo este último el caso ideal).
- Pérdida de finos durante el ensayo (Esta cantidad es exponencialmente mayor si no se realiza con el método con quipo Abson).

Por consiguiente debe tender a que ambas granulometrías sean lo más próximas posibles teniendo en cuenta estos agravantes. El fin de este ensayo es justamente controlar la cantidad de partículas pasantes por el tamiz 200 que son determinaran en gran medida el comportamiento de la mezcla asfáltica .

4.3.2-Lajosidad y elongación

Además del tamaño de los agregados, característica en la que se ha focalizado cuando hablamos de granulometría, es importante evaluar la forma de los mismos. Este ensayo tiene como finalidad determinar si el porcentaje de partículas son excesivamente lajosas (su ancho y largo son desproporcionales con respecto a su espesor) o alargadas (su largo predomina con n respecto a sus otras dos dimensiones). Con respecto a la lajosidad cabe remarcar que estas es opuesta en cierta medida al Ensayo de Cubicidad. Este último verifica que todas las dimensiones de la partícula sean similares.

Evaluar la forma de las partículas es importante ya que la presencia de agregados pétreos con formas elongadas y lajosas dan lugar a la rotura de las mismas en su plano más débil durante el proceso constructivo o al poco tiempo de su construcción alterando la estructura de la mezcla asfáltica.

Como todo otro ensayo la norma determina valores límites, que de ser superados, clasifican a la muestra como aceptable o no según el uso que se le tiene pensado dar. Por ejemplo, la utilización de agregados lajosos en capas inferiores como base asfáltica es más aceptable en cierta medida que utilizarlas en una carpeta de rodamiento cuya calidad es más determinante por ser la más solicitada estructuralmente hablando.

El procedimiento del ensayo consiste en hacer pasar manualmente la muestra por dos calibres distintos. Los cuales poseen aberturas de distintas dimensiones según el tamaño de partícula. Por eso se divide la muestra en distintas fracciones y se evalúa cada una por separado. Finalmente se pondera el porcentaje de partículas pasantes según el porcentaje existente de cada fracción en la muestra total.

En la siguiente Figura 4.4 se muestra las dimensiones de las aberturas y separaciones para cada tamaño de partícula

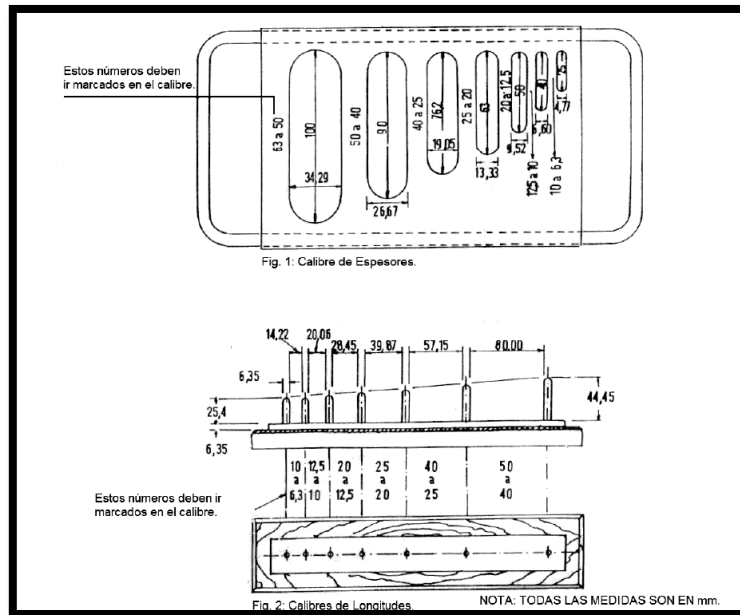


Figura 4.4- Esquema calibre lajosidad y elongación

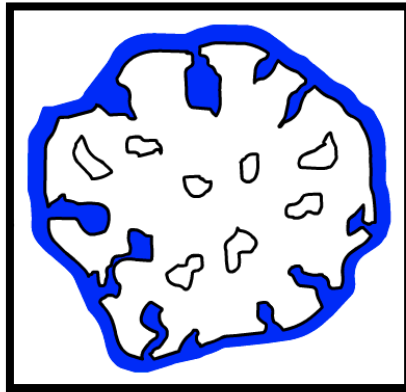
4.3.3-Peso específico y absorción

La densidad de mezclas asfálticas y hormigones es un valor fundamental tanto para los pedidos de cantidades en obra como para la comparación de muestras con respecto a dosificaciones adoptadas. En segunda instancia, los agregados que se utilizan en las mismas son mayoritarios en su composición, razón por la cual su peso específico es el que termina definiendo, en mayor medida, las densidades de estas últimas. Debido a esto, un control semanal de esta característica permite entender variaciones en los productos elaborados. Evidentemente también es una característica a definir cuándo se realizan dosificaciones. Finalmente, conocer el peso específico de determinado agregado nos permite inferir su naturaleza y posible resistencia.

Para realizar este ensayo el procedimiento se vale del principio de Arquímedes para determinar los volúmenes ocupados y los distintos estados de humedad del sólido para definir distintos pesos específicos. Estos dependen de los contenidos de agua en la estructura interna de la partícula.

A continuación se anexa la figura 4.5 en que se observa la misma. Dentro de la partícula se observa la presencia de poros permeables e impermeables. Seguido a esto se enumeran los distintos pesos específicos y sus usos.

Figura 4.5-Esquema de partícula y sus poros



Peso específico aparente: Relación entre el agregado seco y el volumen que este ocupa, incluyendo el de los vacíos impermeables.

Peso específico seco: Relación entre el agregado seco y el volumen que este ocupa, incluyendo el de los vacíos impermeables y permeables.

Peso específico saturado a superficie seca: Relación entre el agregado con todos sus vacíos permeables y una película de agua recubriéndolo y el volumen que este ocupa, incluyendo vacíos permeables e impermeables.

Absorción: Relación porcentual entre los pesos de la muestra en estado seco y estado saturado superficie seca. Determina el agua en volumen o peso que es absorbida por cada partícula. Este parámetro es de gran importancia junto al peso específico en condición saturada superficie seca para la dosificación y elaboración de hormigón. Por otro lado, la absorción alta en un agregado puede permitirnos inferir que su resistencia mecánica baja.

4.3.4-Equivalente de arena

Otro aspecto a considerar con respecto a los agregados es la limpieza. Este ensayo esta apuntado a agregados finos, es decir su tamaño máximo es de 4.75mm o menor. Nos referimos con limpieza a la cantidad de partículas menos a 74 micras o presencia excesiva partículas cohesivas como limos y arcillas. Este ensayo puede complementarse con ensayo de plasticidad sobre el material retenido en el tamiz N°100.

Esta exigencia es porcentual como se describe a continuación en el procedimiento y es de gran importancia en agregados finos destinados a la elaboración de hormigones por la gran superficie específica que estos presentan y su comportamiento expansivo, para las arcillas, en contacto con agua.

El procedimiento consiste en colocar el agregado en un tubo graduado junto con una solución que se en carga de separar partículas finas de las de mayor tamaño. Mediante agitaciones normalizadas y un tiempo de espera para que actúe la solución se produce una separación de las fases. Se puede apreciar un nivel superior de finos y uno inferior a este de arena. Esto se puede observar en la Imagen 4.4. Entonces se calcula de la siguiente manera:

$$EA = 100 * \frac{\text{Lectura Nivel Superior de arena}}{\text{Lectura Nivel Superior de finos}}$$

EA = Equivalente de Arena



Imagen 4.4- Ensayo equivalente de arena.

El agregado fino correspondiente al ensayo mostrado en la imagen es de una muestra de agregado pétreo fino proveniente de trituración que fue contaminado con suelo. Debido a esto se observa un EA de aproximadamente 25%. Este valor es inadmisibles tanto para mezclas asfálticas que exigen EA superiores a 50 % y hormigones que exigen alrededor de 75%.

4.3.5-Ensayo Proctor

Ensayo destinado a material conformado por suelos, triturado de agregados pétreos, arena silíceo pero en mayor medida a la combinación de estos mismos cuando esta mezcla se va a utilizar como una capa estructural de un pavimento. Estas pueden ser subrasante, sub-base, base granular o terreno de apoyo para subrasante.

Estas capas para tener un buen desempeño estructural deben presentar cierto grado de compactación. Una compactación óptima se alcanza cuando el material utilizado alcanza la denominada “Densidad Máxima Seca” que se da para la “Humedad óptima de compactación”. Ambos parámetros son obtenidos mediante el ensayo de Proctor.

El procedimiento consiste en rellenar el molde Proctor, Imagen 4.5, con el material a evaluar y aplicarle distintas humedades. Luego se le agrega una energía de compactación, la cual está definida por la masa del pisón, Imagen 4.6, que se utiliza

para golpear el suelo y la altura de caída desde la que esta se deja caer en caída libre, acorde a la naturaleza del material.



*Imagen 4.5- Molde proctor
Molde de 152,4 mm de
diámetro*



*Imagen 4.6-
Pisón proctor
de 2 Kg*

Como concepto general se aplica mayor energía de compactación a material más resistentes debido a su gran fricción y se le aplica menor energía de compactación a los suelos más cohesivos. Con respecto a estos últimos es más común la aplicación de cal o cemento para compensar su baja resistencia. Las distintas variantes del ensayo se adjuntan en las Tablas 4.3 y 4.4. Los pliegos exigen las distintas variantes según materiales preseleccionados a usar en los distintos proyectos.

La densidad máxima es un parámetro definitorio de los suelos o agregados a usar en capa estructurales, estas últimas se controlan mediante la densidad máxima pero el parámetro que se utiliza para el diseño estructural de las mismas es el Valor Soporte o CBR, el ensayo Proctor es la parte inicial de este ensayo. Con respecto al ensayo CBR y los materiales friccionales y cohesivos se puede mencionar lo siguiente:

- La resistencia en mezcla de suelos, triturados y arenas se evalúa con el ensayo CBR.
- El CBR sigue siendo aplicable a suelos cohesivos combinados con cal o cemento siempre y cuando la cantidad agregada no sea lo suficiente como para generar una matriz suelo-ligante que deja funcionar friccionalmente.
- El ensayo a realizar sobre estos materiales que desarrollan una matriz resistente pasa a ser el de compresión simple.

Es importante tener en cuenta que el ensayo proctor sigue siendo aplicable a materiales combinados con cemento, cal o betún asfáltico. Este ensayo es de vital importancia para realizar estas capas estructurales en obra, ya que establece las cantidades de material, ligante y agua a utilizar para un determinado volumen.

Finalmente con respecto a las exigencias de este ensayo, se debe aclarar que las condiciones de laboratorio se consideran ideales por lo que en obra se exige un porcentaje inferior a la misma. El método se detalla en el ensayo de Cono de Arena.

Tabla 4.3- Variación ensayo proctor agregados finos

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
IV	152,4	2,5	30,5	3	56
V	152,4	4,53	45,7	5	56

Tabla 4.4- Variaciones ensayo proctor agregados gruesos

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35

Una vez definida la variante a realizar del Ensayo Proctor se continúa con el procedimiento y se llega a la curva de densidad máxima. Un ejemplo de la misma se adjunta en la Figura 4.6. En este caso de aplicación se utilizó el material para la construcción de una sub-base granular, el pliego correspondiente exigió utilizar el Método V por lo que se usó el procedimiento detallado en la figura. Por las características del material pétreo agregado se analiza la corrección de la densidad máxima corregida cuando el material a ensayar posee una cantidad significativa (menor a 15% en este caso) de material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ ". La misma viene dada por la siguiente fórmula según la Norma de Ensayo VN - E5 - 93 Punto 5.7:

$$D_{mc} = \frac{100}{\frac{G}{d_g} + \frac{F}{D_s}}$$

D_{mc} = Densidad máxima corregida.

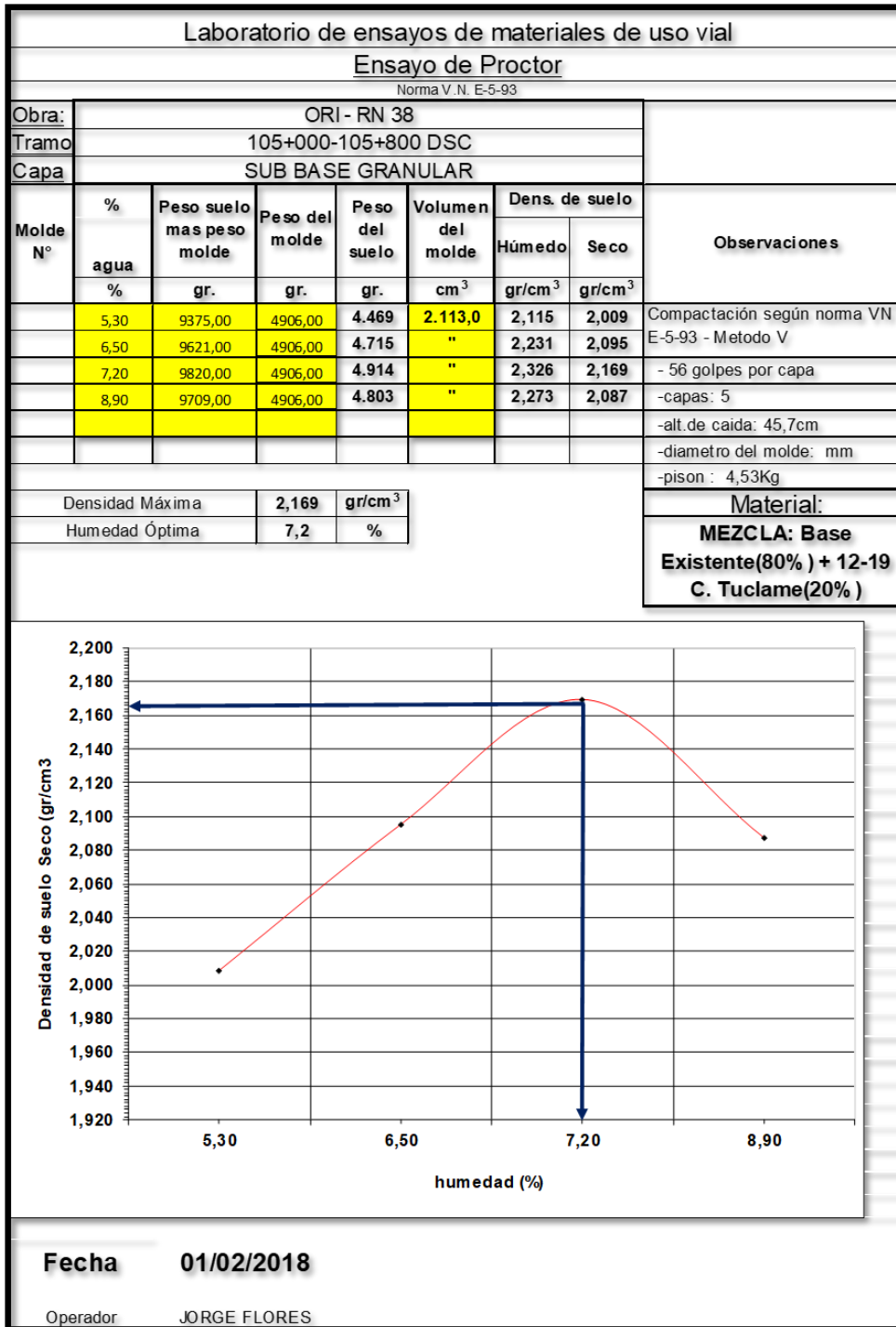
G = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

F = Porcentaje de material que pasa el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

d_g = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

D_s = Densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación ejecutado con el material librado por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

Figura 4.6-Ensayo proctor y cálculos



4.3.6-CBR-Valor soporte

Como se ha mencionado en los ensayos de Proctor y Cono de arena, el ensayo de CBR es el destinado a definir cuantitativamente la aptitud estructural de un material destinado a constituir capas estructurales. Su fundamento consiste en evaluar la resistencia al corte la cual depende de la fricción interna del material granular. Justamente por este concepto es que su amplitud de idoneidad excluye materiales cuya resistencia no deja de ser netamente causa de la resistencia que surge del frotamiento interno. En materiales con ligantes surge resistencia por reacciones químicas como el efecto puzolánico que generan una matriz resistente. Por este motivo es más adecuado ensayarlos mediante Ensayos de compresión simple. El cual está separado en 3 etapas: Densidad máxima, Hinchamiento y Penetración.

El procedimiento consiste en el moldeo de probetas compactadas de igual forma que el ensayo proctor. En este caso todas se moldean con la humedad óptima y lo que varía es la energía de compactación. Luego de esto se las embebe en agua durante 4 días y se les aplica una carga mediante un juego de pesas mostradas en la Imagen 4.8, lo que simula las peores condiciones de servicio. Esto se da ya que la presencia de agua disminuye la fricción interna de los materiales produciendo pérdidas en la resistencia al corte que se había explicado. Aparte de esto, durante ese periodo se mide la deformación o hinchamiento que es un indicativo de suelos cohesivos y expansivos, otro parámetro que indica que el material no es friccional. Finalmente se realiza la rotura de las probetas mediante el uso de un pistón de sección normalizada que desciende con un patrón de deformaciones controladas para tiempos determinados. En particular interesaran las lecturas para dos penetraciones determinadas. A continuación se muestra la prensa en que opera el pistón de penetración en la Imagen 4.7.



Imagen 4.7- Equipo para ensayo CBR o Valor soporte . Prensa, Moldes, Aro dinamo-métrico de 5000 KG.

Como consecuencia se obtiene un gráfico que relaciona densidad alcanzada vs resistencia .Esta resistencia se dice que es relativa, es decir que es un porcentaje de una resistencia patrón que la defina una roca sana, este es un material ideal supuesto por la norma. De esta manera se obtiene el CBR correspondiente a la densidad proctor

exigida. La cual siempre se encuentra entre el 90 y 99 por ciento. Por último se adjunta la Tabla 4.5 que describe la exigencia de CBR según la capa estructural del pavimento.



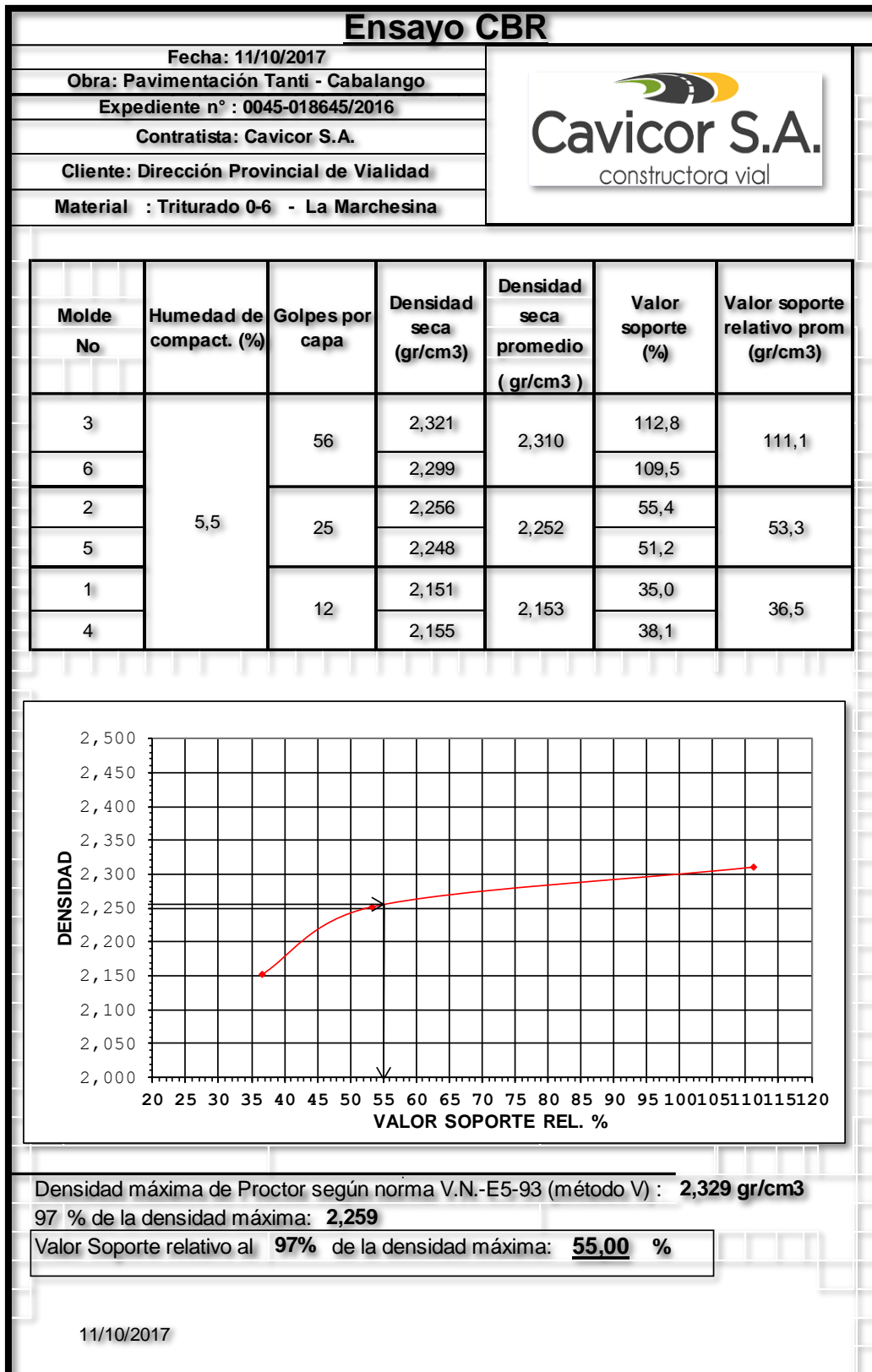
Imagen 4.8-Pesas ensayo CBR

Como caso de aplicación, en la obra Tanti-Cabalango el perfil transversal según proyecto establecía una sub-base de suelo cemento, una capa de asiento de arena silíceica y finalmente el pavimento conformado por adoquines. En primera instancia se propuso, por un motivo económico, cambiar la capa de asiento por triturado 0-6. Esto se justificó con la granulometría del mismo que respetaba las exigencias y con un ensayo CBR que aseguraba la similar resistencia estructural. El ensayo se observa en la Figura 4.7.

Tabla 4.5- Exigencias capas granulares. Fuente : PETG DNV – 1998.

TAMICES IRAM	PORCENTAJES QUE PASAN			
	SUB-BASE	BASE		
		GRAVA NATURAL	MEZCLA DE PEDREGULLO Y GRAVA	PEDREGULLO DE ROCA O GRAVA
51mm (2")	100	—	—	—
38 mm (1 1/2")	90-100	100	100	100
25 mm (1")	—	70-100	70-100	70-100
19 mm (3/4")	—	60-90	60-90	60-90
9.5mm (3/8")	45-70	45-75	45-75	45-75
4.8 mm (N° 4)	—	35-60	35-60	30-60
2 mm (N° 10)	30-55	25-50	25-50	20-50
420 u (N° 40)	—	15-30	15-30	10-30
74 u (N° 200)	2-20	3-10	3-10	3-10
Limite Liq. %	< de 25	< de 25	< de 25	< de 25
Índice Plástico	< de 6	< de 4	< de 4	< de 4
Valor soporte	> de 40 (1)	> de 80 (1)	> de 80 (1)	> de 80 (1)
Salas totales	< de 1.5	< de 1.5	< de 1.5	< de 1.5
Sulfatos	< de 0.5	< de 0.5	< de 0.5	< de 0.5

Figura 4.7-Ensayo CBR



4.4-CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo. Se caracteriza por su comportamiento reológico, lo cual significa que este varía de acuerdo a la temperatura en que se encuentre. Se distingue entre su versión convencional y el cemento asfáltico modificado con polímeros. Esta adición mejora el comportamiento tanto a temperaturas elevadas y bajas otorgándole una menor susceptibilidad térmica.

Este material es utilizado para la elaboración en planta de mezcla asfáltica. Los ensayos incluidos son utilizados para verificar su buen estado ya que este material es altamente costoso, complejo y clave para la construcción de capas asfálticas de pavimentos flexibles.

4.4.1-Viscosidad de cemento asfáltico

El cemento asfáltico tiene un comportamiento particular frente a los cambios de temperatura y de tiempos de carga. Por eso es que se lo considera reológico. Esto significa que ante temperaturas más elevadas presenta un comportamiento más parecido a un fluido o también se podría decir más flexible/deformable, mientras que para bajas temperaturas su comportamiento es más rígido y frágil.

Esto que se ha descrito cualitativamente se mide cuantitativamente mediante la Viscosidad. Esta se define como la resistencia al corte que presenta un fluido en movimiento con respecto a una pared rígida del conducto por el que este se mueve. Siendo un fluido más viscoso el que resiste más al corte y uno sin viscosidad (como el agua) el que tiene una capacidad nula de resistir el corte. Finalmente decimos que el cemento asfáltico tiene alta viscosidad a bajas temperaturas mientras que tiene baja viscosidad a altas temperaturas.

El Ensayo destinado a cuantificar es característica se denomina Viscosidad BrookField. El procedimiento consiste en utilizar un contenedor a alta temperatura (170° C), lo que se logra con un material refractario por el que está cubierto el recipiente, dentro de el mismo se coloca un tubo de ensayo metálico con el cemento asfáltico a ensayar en su interior. Debido a la alta temperatura este se encuentra en estado líquido. Luego de nivelar tanto el recipiente como el tubo de ensayo, se coloca un péndulo suspendido llamado Rotor. Las dimensiones del mismo dependen de los rangos de viscosidad a determinar. Esta tiene la función de rotar dentro del cemento asfáltico. Un material con más viscosidad presenta más oposición al giro que uno menos viscoso. Con este principio se cuantifica la Viscosidad. En la imagen 4.19 se puede ver el equipo. Este consiste en el cilindro con propiedades refractarias en su interior que contendrá la muestra de cemento asfáltico, una unidad nivelante que sostiene el rotor y una unidad de control que regula la temperatura y obtiene la viscosidad en base a las revoluciones medidas. Esta última también permite obtener la salida de datos correspondientes a la viscosidad para las diferentes temperaturas.

Como se mencionó en el ensayo Marshall en caso de ser posible determinar la variación de la viscosidad del asfalto a utilizar en función de la temperatura, el mismo se calcula a una temperatura tal que su viscosidad en el proceso de mezclado sea 85 ± 10 seg. S.F. ($1,7 \pm 0, 2$ poise) y el de compactación 140 ± 15 seg. S.F. ($2,8 \pm 0,3$ poise).



Imagen 4.9-Viscosímetro BrookField

Este valor es de gran importancia debido a que es un parámetro que permite identificar los distintos tipos de cementos asfálticos y sus aptitudes estructurales. Cuando se calcula un pavimento flexible se lo hace teniendo en cuenta su S bit. Este es el módulo de rigidez propio del betún y es variable según la temperatura y la aplicación de carga al ser un material reológico. Está relacionado con parámetros del asfalto como su viscosidad, punto de ablandamiento y su índice de penetración.

Es interesante resaltar que este dispositivo y procedimiento para el ensayo de cementos asfálticos es un gran avance tecnológico, ya que permite obtener viscosidades para varias temperaturas definiendo como esta varía para los distintos valores. Aquí se recuerda el concepto de las viscosidades ideales tanto para mezclado como compactado de mezclas asfálticas. Comúnmente en la práctica solo se controla temperaturas de compactación ya que es una magnitud más simple de medir, pero el valor a tener en cuenta es la viscosidad. Por lo tanto la viscosidad define la característica decisiva a la hora de aceptar o no un camión de cemento asfáltico. Además, este concepto permite adaptarse a provisiones de materiales cuya viscosidad si bien cumple con los valores especificados se encuentran al límite. Esto puede ser determinante si estamos hablando de un material con más viscosidad lo habitual y bajas temperaturas que suelen ser problemas comunes en obra.

Durante la Práctica Supervisada se trabajó con asfalto convencional CA30 y asfalto modificado AM3. Los primeros están caracterizados por poseer una viscosidad entre 2400 y 3600 Poises a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Norma de Ensayo ASTM 4402). El asfalto AM3 debe tener una Viscosidad entre 3 y 6 dPa^{\ast} segundo (Norma de Ensayo IRAM 6837). Antes de

recibir un envío de estos materiales se procedía a extraer muestras de los camiones. La misma se sometía a los ensayos ya nombrados. En el caso de asfaltos modificados también se realizó el ensayo de Recuperación Torsional. Una vez realizados los controles necesarios se elabora un registro de las propiedades medidas en la planilla adjunta en la Figura 4.8. Además de los controles realizados por parte de la empresa se recibe un protocolo de calidad del distribuidor que contiene ensayos realizados en la refinería. Es importante analizarlos y tener en cuenta la fecha en que fueron realizados ya que el manipuleo y el tiempo pasado previo a la llegada a obrador puede influir en algunas propiedades por el fenómeno de envejecimiento del cemento asfáltico.

Figura 4.8-Control de recepción de cemento asfáltico

CONTROL DE RECEPCIÓN DE ASFALTO MODIFICADO AM3 - IRAM 6596							
MATERIAL		ASFALTO MODIFICADO AM3					
PROCEDENCIA		YPF					
LABORATORIO		CAVICOR					
NÚMERO DE REMITO		7209					
PROVEEDOR		CONTRINI					
NORMAS DE ENSAYO							
IRAM 6576		ASTM D36		IRAM 6830		IRAM 6837	
PENETRACIÓN A 25°C(0,1mm)	CUMPLE	PUNTO DE ABLAND.(°C)	CUMPLE	RECUP. ELÁSTICA TORSIONAL A 25°(%)	CUMPLE	VISCOSIDAD A 170°C(dPa*Seg)	CUMPLE
				72	-	3,32	SI
AUTOCONTROL		AUTOCONTROL		AUTOCONTROL		AUTOCONTROL	
66	si	67	si	75	SI	-	SI
PROTOCOLO		PROTOCOLO		PROTOCOLO		PROTOCOLO	
EXIGENCIA	>50, <80	EXIGENCIA	>65	EXIGENCIA	>70	EXIGENCIA	>3, <6

4.4.2- Recuperación torsional elástica

Este ensayo está dirigido a cemento asfáltico modificado con polímeros. Estos últimos permiten una mejora de desempeño del mismo con respecto a cemento asfáltico convencional. Una de las propiedades es la capacidad de comportarse elásticamente frente a sollicitaciones. Esto significa que al aplicársele una torsión (en el caso del ensayo) el mismo retoma su posición inicial, es decir, la deformación (en este caso de dimensión angular) no es totalmente permanente. Esto pasaría si se le aplicase el ensayo a un cemento asfáltico convencional. Esta importante característica del asfalto determina la capacidad del pavimento construido con ese de ser menos propenso a deformaciones permanentes también llamadas ahuellamiento.

El procedimiento consiste en sumergir un cilindro metálico el cual contiene el muestra analizar. El mismo se muestra en la Imagen 4.10. Una vez listo ese paso se procede a poner todo el conjunto en una temperatura de 25°C con ayuda de un baño María. Se lo deja estabilizarse en esa temperatura por un tiempo determinado y luego se procede a la medición. Esta consiste en girar el eje según tiempo de aplicación de giro establecida en 3 o 5 segundos. En la parte superior del instrumento se coloca una tapa graduada para medir la recuperación. Se realiza el giro inicial que es de 180°C y luego se espera un tiempo determinado para que el material recuperar esta deformación inducida.

La recuperación porcentual se calcula como :

$$R = \frac{\alpha}{180} * 100$$

R= Recuperación el

α = Ángulo medido



Imagen 4.10- Equipamiento Recuperación Torsional

4.5-CAPAS ESTRUCTURALES

Se llaman capas estructurales a los distintos componentes de un pavimento. Su principal función es la transmisión de las cargas recibidas en la capa superior, carpeta de rodamiento en la mayoría de los casos, hasta la capa inferior, la subrasante. Entre otras funciones se pueden mencionar una buena calidad de la superficie, el buen comportamiento ante el agua (que se logra con buenas pendientes y aptas condiciones drenantes), entre otras.

Se las construye mediante el uso de productos elaborados y materiales primarios ya mencionados en secciones anteriores. Están compuestas por suelos, agregados, combinaciones de ambos entre sí o con ligantes como cal y cemento, mezcla asfáltica u hormigones.

Los ensayos explicados en esta sección están relacionados con el estado final de estas estructuras. Se evalúa la resistencia de muestras extraídas de la estructura existente. En el caso de capas granulares y mezclas asfálticas se ensaya la densidad alcanzada la cual está relacionada con una determinada resistencia. Para el caso de capas compuestas con ligantes como probetas de suelo cal, suelo cemento u hormigón se realizan ensayos de compresión .

4.5.1-Control de compactación de cono de arena

El control se realiza sobre capas estructurales ya realizadas en obra. Las mismas deben cumplir con la exigencia estipulada para cada tipo de capa. Una capa estructural más solicitada como la base granular se le exige un mayor porcentaje de compactación.

El ensayo consiste en evaluar la densidad alcanzada. Para esto se realiza un pozo de diámetro normalizado de entre 10cm y 16cm de diámetro de profundidad igual al de la capa a controlar como se observa en la Imagen 4.12. Del mismo se retira el material ya compactado. Para esto se utiliza una platina. Esta es una bandeja metálica con un orificio en su parte central. El material removido con golpeo sobre un cincel puede quedar retenido en la misma y ser retirado para asegurarse de no tener ninguna pérdida de material que alteren los resultados del ensayo. Una vez retirado el mismo es pesado y secado para obtener su masa en estado seco. A continuación se adjunta la Imagen 4.11 del equipamiento necesario para el ensayo.



*Imagen 4.11-Equipamiento control de compactación-
Método control de densidad con cono de arena*

Por otro lado es importante obtener el valor del volumen ocupado por este suelo, Para ello se utiliza arena normalizada de densidad suelta constante y conocida. Se llama normalizada ya que es arena silíceas de gran limpieza que es pasante y retenida por dos tamices consecutivos. De aquí que todas sus partículas son lo más iguales posibles. Mediante el uso de un cono como el de la figura se obtiene el valor exacto de la masa de arena vertida en el pozo a evaluar. Con este valor y el de la densidad suelta se obtiene el volumen del pozo, y como consecuencia la densidad seca del material.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que el resultado de este ensayo tiene gran variabilidad debido a los procesos constructivos.

Estos se ven perjudicados cuando:

- El material a utilizar obedece a mezcla de otros materiales, mezclado que en obra es a veces deficiente.
- Otro motivo se debe a la segregación del material previamente a su distribución en la capa
- Por último, otra fuente de variabilidad es el regado discontinuo o no uniforme del agua de compactación.

- La gran heterogeneidad que se da en general en obras viales con respecto a capas subyacentes, materiales que son heterogéneos por naturaleza, situaciones puntuales del terreno, etc.

Debido a estos motivos una buena práctica consiste en realizar más pasadas de los equipos compactadores de lo previsto para alcanzar una compacidad igual al porcentaje exigido. De esta manera los sectores donde surjan estos problemas siguen cumpliendo con el valor mínimo debida a esta tolerancia que agrega la sobre compactación.

Esto se agrega a otras prácticas del buen construir que siempre deben estar presentes. Como la de compactar siempre en la llamada “rama húmeda” ya que ante la posible adición de húmeda la variación de resistencia mecánica será menor; y la de una buena selección de equipos a utilizar según el material sobre el que se trabajará.



*Imagen 4.12- Ensayo Método de la Arena.
Medición de profundidad del pozo realizado en
obra sobre capa a controlar.*

El porcentaje de compactación exigido de la normativa variará según las especificaciones particulares de cada caso pero siempre es mayor entre más solicitada se encuentre la capa en cuestión. Por ejemplo la exigencia va desde una base granular que deberá cumplir con un 100% de compactación hasta una capa de asiento que se le exige un 90% según el suelo a utilizar en la misma.

Como caso particular se agrega el caso de la obra Villa Allende. En esta obra la napa freática se encontraba a escasos centímetros de la capa a construir. Esto produjo la necesidad de utilizar menos humedad de compactación (compactar en rama seca) ya que esta última provenía por capilaridad de capas inferiores. Además, la incapacidad de utilizar rodillo vibratorio que también producía este ascenso y por consiguiente exceso de humedad. El proyecto en este caso incluía el aporte de cemento debido a este inconveniente que estaba previsto debido a conocimiento de la zona.

A continuación en la Figura 4.9 se muestra el control en obra de una sub-base granular cuya densidad máxima corresponde a la Figura 4.6. Es importante realizar controles suficientes y bien distribuidos para asegurar una calidad uniforme de la capa estructural.

Figura 4.9- Control de calidad capas granulares. Se detalla el control realizado sobre la sub-base cuyo material componente fue introducido como ejemplo de la Figura 4.6. Por características del material pétreo utilizado se debió realizar una corrección a la densidad máxima aplicando la fórmula detallada en el punto 4.10-

Fecha	Progresiva	A. Total	Lado	Espesor	MATERIAL DEL TERRAPLEN			METODO DE LA ARENA			VOL.			RETIENIDO EN # 34"			DENSIDAD	PESO CORREGIDO	VOLUMEN CORREGIDO	DENSIDAD seca corregida	PRCTOR (Gsc/cm ³)	PRCTOR (Gsc/cm ³)	GRADO DE Compactacion %	Min Estado %
					Húmedo	Seco	Agua	Humedad %	Frasco	Remm.	Com.	Difer.	Peso (cm ³)	Peso (Grs)	%	Volumen (cm ³)								
Sub Base Peso específico de piedra 2,690 Kg / cm ³ Peso específico de arena 1,400 Kg / cm ³																								
17-abr.-18	105+100	600	Centro	17,00	2648	2520	128	5,1%	6000	2908	1481	1611	1151	59	2,3	22	2,190				2,169	2,179	101%	97%
12-abr.-18	105+200	600	Derecha	18,00	2742	2604	138	5,3%	6000	2846	1481	1673	1195	48	1,8	18	2,179				2,169	2,177	100%	97%
12-abr.-18	105+300	600	Izquierda	18,00	2589	2456	133	5,4%	6000	2925	1481	1594	1139	176	7,2	65	2,157				2,169	2,200	98%	97%
17-abr.-18	105+600	600	Centro	17,00	2814	2684	130	4,8%	6000	2765	1481	1754	1253	164	6,1	61	2,142				2,169	2,195	98%	97%
12-abr.-18	105+400	600	Izquierda	18,00	2593	2486	107	4,9%	6000	2907	1481	1612	1151	101	4,1	38	2,159				2,169	2,186	99%	97%
20-abr.-18	105+500	600	Izquierda	18,00	2305	2138	167	7,8%	6000	3181	1481	1338	956	272	12,7	101	2,237				2,169	2,224	101%	97%
20-abr.-18	105+650	600	Centro	17,00	2149	1994	155	7,8%	6000	3225	1481	1294	924	143	7,2	53	2,157				2,169	2,200	98%	97%
20-abr.-18	105+750	600	Derecha	19,00	2150	2000	150	7,5%	6000	3215	1481	1304	931	155	7,8	58	2,147				2,169	2,202	98%	97%



CARRERAS CENTRALES DE ARGENTINA S.A.

4.5.2-Resistencia a compresión simple en probetas de suelo cemento y cal

Como se ha explicado en los ensayos anteriores, algunos materiales como en este caso, suelo cal o suelo cemento, son ensayados a compresión simple. Las probetas son moldeadas de acuerdo a la densidad proctor obtenida. En caso de suelo cemento se debe tener especial cuidado con el tiempo de fraguado, especialmente en obra los trabajos no deben superar la duración de 3 horas.

Finalmente las probetas son puestas en bolsas plásticas herméticas para el curado durante 7 días. Una vez cumplido ese periodo se debe ensayar las mismas en una prensa apta para este material como se ve en la Imagen 4.13. Una vez obtenido el resultado este tiene que ser corregido por la altura de la probeta según la tabla anexada a los resultados del ensayo utilizado de ejemplo de la Figura 4.11. Las exigencias con respecto a la resistencia a compresión simple dependen de lo establecido en el pliego de especificaciones técnicas.

En segunda instancia se propuso, por un problema constructivo, reemplazar suelo cemento por una capa de hormigón H8. Para ello, conociendo la resistencia a compresión se utilizó la Figura 4.10 y el concepto de número estructural para asegurar para obtener una capa estructuralmente equivalente con distinto espesor y resistencia.



Imagen 4.13- Ensayo compresión simple para probetas suelo cemento

Figura 4.10- Coeficiente a_2 para bases estabilizadas con cemento portland

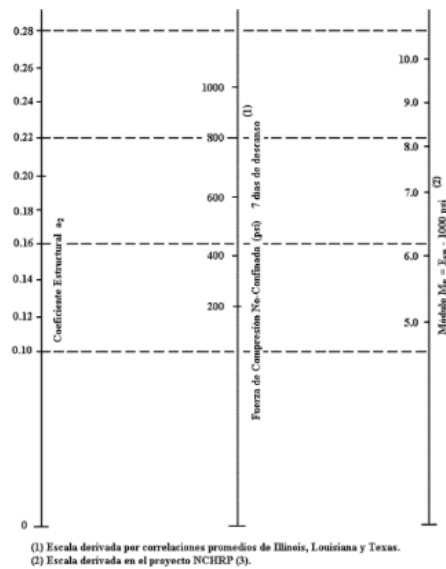


Figura 4.11-Ensayo compresión simple suelo cemento

FECHA:	10/11/17
OBRA:	Pavimentación Terzi-Cabalango
TRAMO:	500 a 900
EXPEDIENTE N°	0045-01864/2016
CONTRATISTA:	Cavicor S.A.
CLIENTE:	DIRECCIÓN PROVINCIAL DE VIALIDAD
MUESTRA:	BASE CEMENTADA (Material existente + 06 + 6% Cemento)
Ubicación	

Material	Porcentaje que interviene
Cemento	94,00%
	6,00%

Fecha de elaboración	Prueba N°	Lectura del	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia conajola	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Altura Promedio(cm)	Diámetro promedio(cm)	Densidad seca	Densidad de proctor	% Densidad de Proctor	Comp simple a 7 días	Material
03/11/2017	1	118	2427,26	30,13	27,57	2078,00	943	11,71	10,13	2,001	2,004	99,8	10/11/2017	B. Exnt + 6% Cemento
03/11/2017	2	110	2262,7	28,09	25,70	2068,00	943	11,71	10,13	1,991	2,004	99,4	10/11/2017	B. Exnt + 6% Cemento

Relación Altura- Diámetro de la Probeta	Factor de Corrección
2,00	1,0
1,75	0,98
1,50	0,95
1,25	0,94
1,10	0,90
1,00	0,85
0,75	0,70
0,50	0,50

Factor del aro	20,57
Superficie	80,5542665
Altura	11,71
Rel Alt/diam	1,16
Factor de corrección	0,915

Sede de tabla

4.5.3- Extracción y análisis de testigos de pavimento asfáltico

Es el paso final en la evaluación de calidad de un pavimento. Al cabo de este proceso de análisis se obtienen los siguientes valores que son requeridos por las especificaciones de las distintas obras. Estos mismos son la altura de los testigos y su compactación. La primera se obtiene mediante la medición con calibre de los testigos obtenidos. La segunda se obtiene de la relación entre la densidad obtenida en obra y la densidad del Ensayo Marshall correspondiente a la misma mezcla asfáltica que se utilizó en obra.

El proceso es el siguiente :

- Determinación de cantidad y ubicación: Teniendo en cuenta lo que determinen las especificaciones para determinar las condiciones mínima pero también el concepto de representatividad para un autocontrol propio se establece el plan de extracción de testigos. En el caso de aplicación se realizaban extracciones cada 100 metros y con una dispersión en tres bolillos.
- Extracción: En primer lugar se realizan los cortes de tránsito necesarios para no comprometer la seguridad. Luego se fija el equipo de extracción el cual contiene una broca de punta diamantada impulsada por un motor rotativo. Luego se hace descender lentamente la broca a medida que va cortando el pavimento hasta alcanzar las capas granulares. En la Imagen 4.14 podemos observar distintos tamaños de las mismas. Finalmente se extrae de forma manual el testigo y se lo numera y se anota en una planilla la ubicación del mismo y su número para poder identificarlos posteriormente.

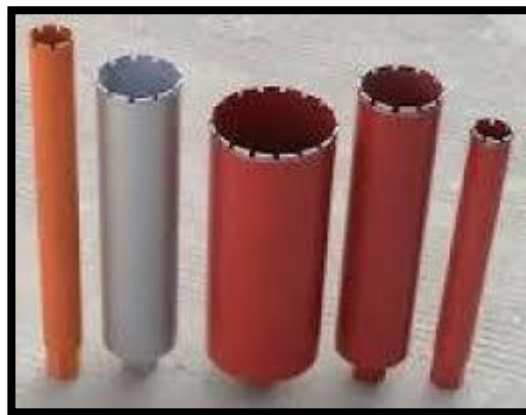


Imagen 4.14- Brocas extracción de testigos. Poseen puntas diamantadas y se utilizan para extracción de distintos tipos de pavimentos. Fuente: Heelt

- Corte : Se identifica la capa del pavimento a evaluar mediante una inspección visual y se realiza el corte mediante el uso de una cortadora de disco abrasivo como la de la Imagen 4.15 para subdividir el testigo si se desea evaluar más de una capa. Luego se lo limpia con cepillos metálicos y se lo lleva al laboratorio para su análisis.




Imagen 4.15- Cortadora de disco para testigos

- **Medición:** Se obtiene la altura del mismo mediante el uso del calibre de precisión. Se obtienen tres lecturas diametralmente opuestas y se las promedian obteniendo así la altura de la probeta,
- **Densidad :** Se obtiene el pesaje en condición seca y saturada superficie seca. Operando con estas se calcula la densidad de cada testigo que luego es comparada con la densidad Marshall correspondiente.
- **Análisis de resultados :** Una vez obtenidos todos los resultados se puede razonar el origen de los mismos y realizar correcciones en obra para mejorar la calidad final del pavimento y evitar futuros problemas y reiteración de errores. A continuación se adjunta una planilla aplicable a esta función en la Figura 4.12. En esta quedan registrados la totalidad de los testigos de pavimento extraídos. Se puede observar que se registra precisamente su ubicación para casos en que ensayos de laboratorio no sean aceptables. En estos casos se procede a extraer nuevos testigos sobre estas localizaciones y repetir ensayos. Además de su densidad se controla la cantidad de vacíos tras realizar un ensayo de Densidad Teórica Máxima ; y su contenido de asfalto mediante método Abson.

Los defectos encontrados luego de un tiempo de servicio pueden no ser causa de la mezcla asfáltica o de su colocación. También por fallas en capas subyacentes por efectos de agua como ejemplo. En casos como estos es importante tener este registro para avalar los controles de calidad realizados.

Figura 4.12-Planilla resumen control de calidad de testigos de pavimento flexible. Probetas correspondientes a carpeta asfáltica de asfalto modificada . Período: Enero 2018. El porcentaje de compactación requerido para evitar descuentos 97.5 con un promedio mayor a 98. La altura promedio debe ser mayor a 4cm con un mínimo de 3.6. Nota: No se incluye la totalidad de los testigos pero si se detallan los promedios globales en la última fila.

 CONSTRUCTORA VÍCI OBRA: CORREDOR VIAL NACIONAL N°1 - OBRA N° C1/R4																	
NUMERO	Numero de Repeticion	FECHA DE EXTRACCION	FECHA DE COLOCACION	PROGRESIVA	MANO	CARRIL	HUELLA	ALTURA	PESO SECO	PESO S.S.S	PESO Sumergido	VOLUMEN	DENSIDAD	DENSIDAD MARSHALL	GRADO DE COMPACTACION	REQUERIMIENTO COMPACTACION	
9		05/01/2018	04/01/2018	61700	DESCENDENTE		CENTRO	3,56	631,3	631,9	365,9	266	2,373	2,440	97	NO CUMPLE	
10		05/01/2018	04/01/2018	61900	DESCENDENTE		IZQUIERDA	4,3	764,2	765	446,3	318,7	2,398	2,440	98	CUMPLE	
11		05/01/2018	04/01/2018	62100	DESCENDENTE		DRECHA	4,28	770,7	771,2	446,7	324,5	2,375	2,440	97	NO CUMPLE	
12		05/01/2018	04/01/2018	62300	DESCENDENTE		CENTRO	4,57	843,1	844,1	495,6	348,5	2,419	2,440	99	CUMPLE	
1		18/01/2018	05/01/2018	64550	ASCENDENTE		CENTRO	3,81	699	700	410	290	2,410	2,436	99	CUMPLE	
2		18/01/2018	05/01/2018	64750	ASCENDENTE		IZQUIERDA	4,18	747	748	435	313	2,387	2,436	98	CUMPLE	
3		18/01/2018	05/01/2018	64950	ASCENDENTE		DRECHA	4,41	789	791	461	330	2,391	2,436	98	CUMPLE	
4		18/01/2018	05/01/2018	65150	ASCENDENTE		CENTRO	4,24	761,0	762,0	445	317,0	2,401	2,436	99	CUMPLE	
5		18/01/2018	05/01/2018	65350	ASCENDENTE		DRECHA	4	715	716	417	299	2,391	2,436	98	CUMPLE	
6		18/01/2018	05/01/2018	65550	ASCENDENTE		IZQUIERDA	4,35	786	787	459	328	2,396	2,436	98	CUMPLE	
7		18/01/2018	05/01/2018	65750	ASCENDENTE		CENTRO	3,64	659	660	386	274	2,405	2,436	99	CUMPLE	
8		18/01/2018	05/01/2018	65950	ASCENDENTE		DRECHA	4,47	798	799	465	334	2,389	2,436	98	CUMPLE	
1		18/01/2018	05/01/2018	66000	ASCENDENTE		CENTRO	3,85	681	683	397	286	2,381	2,436	98	CUMPLE	
1		18/01/2018	08/01/2018	64600	DESCENDENTE		CENTRO	4,37	810	811	479	332	2,440	2,463	99	CUMPLE	
2		18/01/2018	08/01/2018	64800	DESCENDENTE		IZQUIERDA	4,25	787	788	465	323	2,437	2,463	99	CUMPLE	
														PROMEDIO			
									4,09	731,7	733,2	428,0	305,2	2,40	2,44	98,1	

4.6- HORMIGÓN

Producto elaborado en una planta a partir de la combinación de agregados, cemento y agua. A continuación se detallan los dos ensayos más importantes para la recepción de hormigón elaborado en obra. Estos son el ensayo de asentamiento, del cual depende la trabajabilidad que posee el material. Sin una buena trabajabilidad este no puede colocarse de manera correcta por más que cumpla con la dosificación. Por otro lado un hormigón que cumple con el asentamiento determinado por fórmula indica que no hay exceso ni falta de agua, cuestión importante a tener en cuenta con este material. En segunda instancia se describe el ensayo de compresión simple en el cual se verifica que el hormigón colocado cumpla con la resistencia necesaria que requiere para tener buen comportamiento en servicio.

4.6.1-Control de asentamiento de hormigones y preparación de probetas testigo

Este ensayo es aplicable a hormigones elaborados recibidos en obra o para comprobar asentamientos en dosificaciones. El fin del mismo es medir la consistencia de la muestra. La misma no equivale a la trabajabilidad pero están fuertemente relacionadas. Actualmente se conocen perfectamente que equipos y/o métodos de trabajo se deben utilizar según los asentamientos obtenidos mediante este ensayo. El elemento a emplear para este ensayo es el molde troncocónico llamado "Cono de Abrams". Sus medidas reglamentarias se muestran en la Figura 4.13.

El proceso consiste en el llenado del mismo con el material de ensayo en tres capas, punzando cada capa 25 veces con una barreta con extremos redondeados de 16 mm. de diámetro, tratando en el punzonado de la primera capa de no golpear el fondo con la barreta y en las capas sucesivas que dicho punzonado llegue hasta la capa inmediata inferior. Una vez lleno la superficie es enrasada con el borde superior. Inmediatamente se retira el molde suavemente en sentido vertical colocando este al lado del material desmoldado y sobre la capa base. El valor del asentamiento corresponde a la distancia medida en el eje de dicho material, hasta la proyección sobre el mismo de la altura del molde, que se efectúa con la misma barreta usada para el punzonado o una regla convenientemente condicionada para tal fin. Una vez tomada la lectura se la compara con la esperada y se procede a aprobar o rechazar la muestra según corresponda. Mediante la inspección visual pueden apreciarse otras características del hormigón. Como por ejemplo el desmoronamiento puede indicar una mala granulometría (incompleta) o mala realización del empleo. Los escenarios posibles se enumeran en la Figura 4.14. Este ensayo es de gran aptitud para el rango de consistencia seca que se observa en la Tabla 4.18 junto con otras consistencias en que se pueden realizar diferentes ensayos más adecuados.

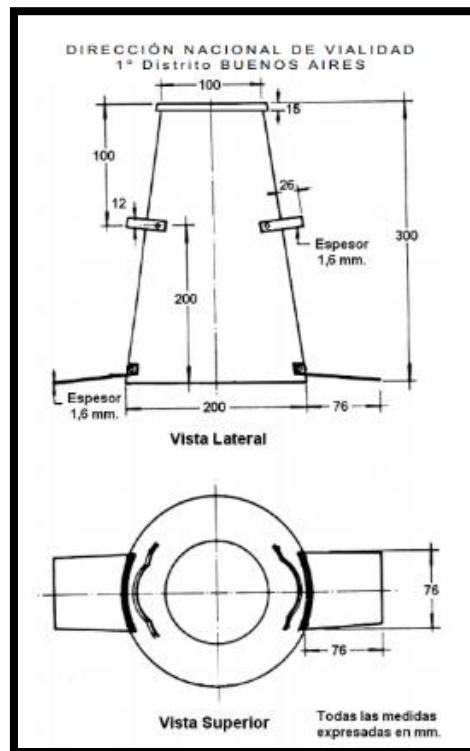


Figura 4.13- Esquema medidas reglamentarias cono de Abrams. Fuente : Normas de Ensayo DNV.

Por otro lado pueden identificarse otros caso en que este ensayo no es aplicable .Por ejemplo hormigones de consistencia Muy seca no presentarán asentamiento alguno mientras que muestras Fluidas producirán el colapso total del hormigón .En estos casos se deberá optar por otros ensayos específicos a cada caso .

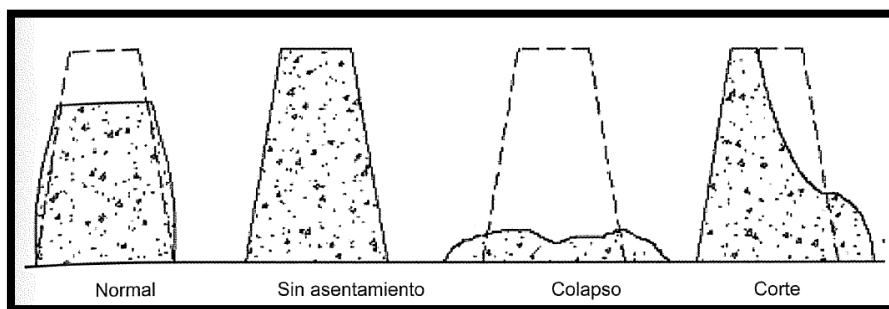


Figura 4.14- Distintos escenarios tras ensayo de Cono de Abrams

Como conclusión, este ensayo es determinante para la aceptación de hormigones en obra.En la Figura 4.15 podemos ver el procedimiento de control para recepción de hormigones en obra. Además es importante resaltar que esto se complementa con la realización de probetas para evaluar la resistencia a compresión simple del mismo. Para ello se evalúa la resistencia a compresión simple a 28 días si bien es buena práctica realizar ensayos a 7 días con lo que se obtienen resultados que pueden indicar

mediante gráficos de correlación la resistencia que alcanzara el material a la edad correspondiente.

Tabla 4.6- Consistencias según resultado del ensayo de Cono de Abrams

Ensayo	Unidad	Muy Seca	Seca	Plástica	Muy plástica	Fluida
Asentamiento por cono de Abrams	cm	-	2 a 5	5 a 10	10 a 18	-

A continuación se detalla el correcto procedimiento de preparación de las probetas:

- En primer lugar se decide cuantas probetas realizar en base a que conocimiento se tenga del proveedor, volumen de hormigón a emplear, resistencia requerida por la estructura y demás situaciones que ameriten control más exigente.
- Puede optarse por realizar probetas en sobre los diferentes camiones de forma aleatoria. Pero el ensayo de asentamiento debe realizarse sobre todos los camiones ya que la consistencia es un buen indicativo si es que todos los camiones presentan la misma fórmula de mezcla .Pueden indicar un exceso de agua y por consiguiente disminución de la resistencia.
- Luego de prepararlas probetas utilizando el mismo método descrito para la realización del Cono de Abrams utilizando moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto. Finalmente se las identifica y se plasma la información en una planilla de control en que además se describe donde se usó el hormigón para actuar acorde en caso de que los valores de los ensayos no sean los exigidos Es de vital importancia el buen enrasado para generar una superficie plana que permita la rotura eficiente cuando se someta al ensayo de compresión.
- Las probetas, en las condiciones dadas, son alojadas en un lugar cubierto, de poca circulación, húmedo y de temperatura ambiente lo más aproximadamente posible a 20°C.No deben moverse durante un lapso de 24 hs. para evitar reacomodamiento de partículas.
- Finalmente se deben enviar al laboratorio para el correspondiente curado mediante la inmersión en agua. Debe respetarse una temperatura entre 20°C y 25°C. Finalmente se somete las probetas al ensayo de compresión simple.

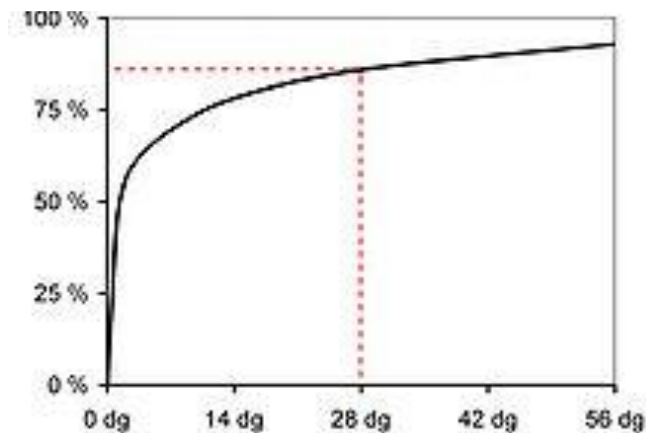
Figura 4.15-Planilla de control para recepción en obra de hormigón elaborado. Ejemplo de aplicación. Control de hormigón elaborado H-35 para pavimento Rígido. Obra : Repavimentación Avenida Goycoechea - Villa Allende.

FECHA:		19/07/17																			
OBRA:		Repavimentación Av Goycoechea																			
TRAMO:		Puente-Rotonda																			
EXPEDIENTE N°:																					
CONTRATISTA:		Cavicor S.A.																			
CLIENTE:		DIRECCION PROVINCIAL DE VALIDAD																			
MUESTRA:		HORMIGÓN ELABORADO - HORMILOCK																			
PAVIMENTO DE HORMIGON - CONTROL DE CALIDAD																					
Tramo - Colocacion	Fecha	Número de remito camion	hs. Salida de Planta	hs. Llegada a obra	Tarea Inicio hs. - Fin hs.	Resistencia a la compresión simple	Asentamiento	Repetición de asentamiento	Agua agregada(lts)	Aditivo agregado(lts)	Carga camión(m3)	Probetas N°	Temp. Hº °C	Temp. Ambiente °C (5-30)							
0+000-0+006	19/07/17	129146	10:23	10:55	11:36 - 12:00	37,2(28d)/26,1(7d)	8		si	-	8,0	1-2	22	24							
0+006-0+014	19/07/17	129148	10:57	11:32	12:33 - 13:00		9		20	2,5	8,0	-		25							
0+014-0+020,5	19/07/17	129149	11:18	11:50	13:07 - 13:50	34,4(28d)/27,6(7d)	7	10	30	si	8,0	3-4		26							
0+020,5-0+029	19/07/17	129151	11:39	12:18	14:00 - 14:18	34,1(28d)/25,8(7d)	10		-	-	8,0	5-6		25							

4.6.2 -Resistencia a compresión simple de probetas de hormigón

Ensayo que evalúa la característica más importante de un hormigón y que es encargada de definirlo según la misma. Podemos encontrar de esta manera hormigones con la siguiente nomenclatura H-7, H-15, H-21, etc. La resistencia es evaluada a 28 días ya que se estima a que a esa edad el hormigón alcanza casi la totalidad de resistencia y es un punto a partir del cual el crecimiento decrece en cuanto a ritmo. Esto se da por las reacciones químicas internas. En la figura 4.16 se aprecia una curva del crecimiento de la resistencia de hormigones. El estudio de estas curvas también permite estimar la resistencia que un hormigón puede alcanzar a los 28 días si se evalúa la muestra a 7 días y se interpola el resultado según el crecimiento porcentual estimado de este tipo de gráficos.

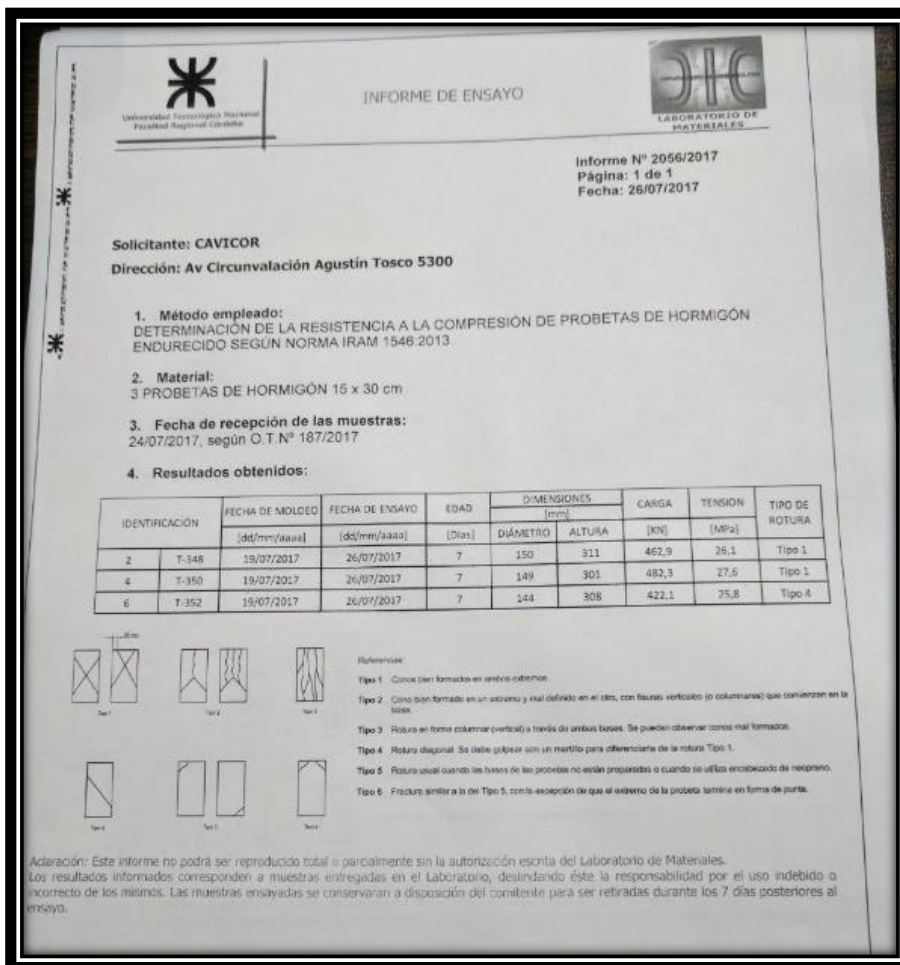
Figura 4.16- Curva de crecimiento de resistencia a compresión simple de hormigones.



Este ensayo se realiza en laboratorios externos no pertenecientes a la empresa por la falta de una prensa apta para la rotura de estas probetas. Esto se debe a que a empresa no cuenta con planta de hormigón. Por esta razón también es que solo se evalúan probetas provenientes de hormigón recibido en obra según parezca necesario de forma aleatoria. Un control de todos los pastones corresponde a casos en que se dispone una planta hormigonera. A pesar de esto, se describe el mismo ya que por un lado la empresa realizó compras de hormigón elaborado y en segundo lugar, porque el ensayo de probetas de hormigón a compresión simple se utilizó en capítulos posteriores para describir el análisis estadístico de hormigón elaborado. La producción del mismo se utiliza de ejemplo para hacer un análisis análogo al de mezclas asfálticas.

El ensayo consiste en romper probetas cuyo moldeo se explicó anteriormente. Esto se hace mediante la aplicación de una carga de compresión que le otorga una prensa. El aumento de la carga es de manera lenta ya que se busca obtener la tensión estática que provoca la rotura. Una vez que sucede el fallo a compresión se toma lectura de la carga de rotura y dividiéndola por la sección de la probeta se obtiene la tensión de rotura a compresión. Aparte de la lectura es importante tener en cuenta otros factores como la superficie de falla que se genera durante el ensayo. La forma de rotura ideal que se da es la de dos conos invertidos. Otros tipos de fallas pueden acusar un mal moldeo de la probeta lo que provoca acumulación de tensiones en un área reducida de la sección en vez de una carga uniformemente distribuida. Se adjuntan a continuación en la Figura 4.17 los resultados obtenidos en el laboratorio externo en que se indican las resistencias y los modos de fallas de rotura de probetas elaboradas a partir de cambiones recibidos en la obra de la obra de Villa Allende

Figura 4.17- Resultados de ensayo de compresión simple de probetas de hormigón.



4.7- MEZCLA ASFALTICA

Se llama así a la combinación de agregados granulares, cemento asfáltico y filler. Esta composición está definida por las propiedades especiales del cemento asfáltico por lo que la temperatura juega un rol importante durante todo el proceso de este material. El control del proceso productivo está descrito en su totalidad en los siguientes apartados. Este se caracteriza por su gran volumen y consiguiente control continuo. Este incluye las siguientes etapas:

- Dosificación
- Elaboración
- Transporte
- Colocación

Durante cada una se debe prestar atención a la calidad mediante el uso de ensayos y controles. Se hace foco en la etapa de dosificación y en el control durante la producción de la misma. Por lo tanto son importante conocer los ensayos que se realizaron sobre los materiales que conforman la mezcla y el proceso productivo que depende la planta disponible para la elaboración.

Para describir todo este proceso en primer lugar se enumeran todas las propiedades de la mezcla asfáltica que debe poseer para llevar a cabo su función durante su vida útil. Estos dependen de una serie de parámetros estructurales y volumétricos que están inter relacionados entre sí que son descritos en el apartado siguiente. Una vez que se conocen todos los parámetros y su importancia se procede a enumerar los ensayos que permiten obtenerlos para su posterior control diario.

Con estos conocimientos de mezcla asfáltica y las herramientas para cuantificar sus propiedades se explica el proceso de dosaje en el cual se determina la composición de la mezcla de todos los componentes, llamada "Formula de Obra". Esta debe cumplir con determinadas especificaciones técnicas. En esta instancia se definen con más profundidad las inter relación de los parámetros. La comprensión de estos parámetros son de utilidad para el objetivo de la práctica supervisada ya que estos son recolectados y analizados desde un punto de vista estadístico utilizando herramientas y conceptos que son aplicados a la producción de hormigón elaborado.

En último lugar se anexan controles y buenas prácticas a realizar durante la etapa de ejecución de las capas asfálticas con la mezcla producida en planta. Esta etapa también debe ser controlada con la misma atención ya que una mala ejecución anula un buen control en el proceso productivo y de dosaje.

4.7.1-Propiedades de una mezcla asfáltica

Estabilidad: es la capacidad de una mezcla para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamientos y corrimientos u ondulaciones).Depende de la fricción interna y de la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. Es una combinación de la resistencia friccional y de la trabazón del agregado en la mezcla. La resistencia friccional aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado y con el área de contacto entre partículas. La resistencia por trabazón depende del tamaño y de la forma de las partículas. Para cualquier agregado dado, la estabilidad aumenta con la densificación de las partículas confinadas, la cual se logra mediante granulometrías cerradas y una adecuada compactación. Excesivo asfalto en la mezcla tiende a lubricar las partículas y a disminuir la fricción interna del esqueleto pétreo. La cohesión es la fuerza aglutinante propia de una mezcla asfáltica. El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas de agregado. La cohesión varía directamente con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto; varía inversamente con la temperatura y aumenta con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo y luego decrece.

Durabilidad: es una propiedad de una mezcla que indica su capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima. La durabilidad se incrementa por lo común mediante aumento en el contenido del asfalto, granulometrías cerradas del agregado y mezclas bien compactadas e impermeables. Una de las razones para aumentar la cantidad de asfalto es que la película que cubre las partículas de agregado resulte de mayor espesor. Las películas más gruesas son más resistentes a endurecerse por envejecimiento. Además, el aumento de la cantidad de asfalto reduce el tamaño de los poros de los vacíos interconectados, o los sella, haciendo

más difícil la entrada de agua al interior de la mezcla. Para resistir la acción del agua se aplican los mismos requerimientos: granulometría cerrada del agregado, altos contenidos de asfalto y una adecuada compactación. Es conveniente usar agregados que retengan la cubierta de asfalto en presencia de agua. Si la mezcla es cerrada, el desplazamiento del asfalto por el agua en general no ocurre. Se debe proveer suficiente asfalto a la mezcla para darle propiedades ligantes adecuadas para resistir las fuerzas de tracción y abrasivas del tráfico. Un porcentaje de asfalto insuficiente puede provocar su desalojo de la superficie del agregado, lo que se conoce como descubrimiento o desprendimiento (*stripping*). Una mezcla que tiene alto contenido de asfalto, con vacíos completamente ocupados con el mismo, puede proveer una mayor durabilidad pero esto podría no ser conveniente desde el punto de vista de la estabilidad. Cuando el material se coloca en el camino, puede ahuellarse o fluir bajo tránsito. También puede tener lugar el afloramiento o exudación del asfalto a la superficie.

Flexibilidad: capacidad de una mezcla asfáltica de adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la base y subrasante. Es casi imposible desarrollar una densidad uniforme en la subrasante durante su construcción porque las secciones o porciones de pavimento tienden a comprimirse y asentarse bajo el tránsito. Generalmente la flexibilidad de una mezcla se incrementa con altos contenidos de asfalto y agregados con granulometría relativamente abierta.

Resistencia a la fatiga: capacidad del pavimento asfáltico de soportar flexiones repetidas causadas por el pasaje de las cargas de ruedas. Cuanto mayor es el contenido de asfalto, mayor resistencia a fatiga. Las pruebas indican que las mezclas de graduación cerrada tienen mayor resistencia a fatiga que las de graduación abierta. A la mezcla deben incorporarse agregados bien graduados que permitan un mayor contenido de asfalto sin causar exudación o afloramiento en el pavimento compactado.

Resistencia al deslizamiento: capacidad de la superficie de pavimento de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmeda. Los factores para la obtención de alta resistencia al deslizamiento son generalmente los mismos que aquellos con los que se obtiene una alta estabilidad: adecuados contenidos de asfalto y agregados con textura superficial rugosa y resistente al pulimiento. Las mezclas tan ricas en asfalto como para llenar los vacíos del pavimento compactado causarán el afloramiento del mismo a la superficie, lo que se conoce como exudación. El asfalto libre en la superficie del pavimento pueda dar condiciones resbaladizas cuando el pavimento está húmedo.

Impermeabilidad: resistencia del pavimento al pasaje de agua y aire dentro o a través del mismo. Es extremadamente importante desde el punto de vista de la durabilidad de las mezclas.

Trabajabilidad: facilidad con que las mezclas para pavimentación pueden ser colocadas y compactadas. Algunas veces, las propiedades de los agregados que aseguran una alta estabilidad hacen que las mezclas asfálticas que contienen dichos agregados sean difíciles de distribuir o compactar.

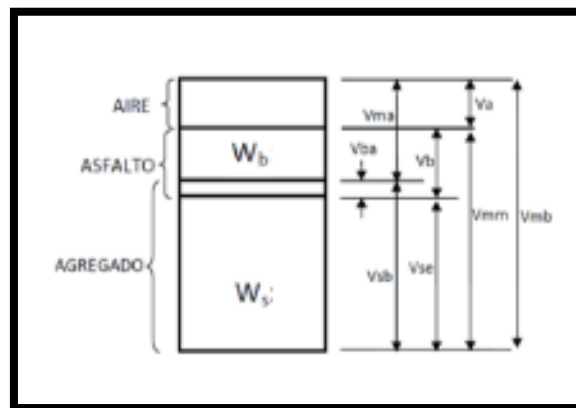
Teniendo en cuenta estas características y teniendo en cuenta sus interacciones se procede al diseño de la mezcla asfáltica, la misma es una cuestión de selección y proporciones de materiales para obtener cualidades y propiedades deseadas una vez finalizada la construcción. Se busca producir una mezcla que posea:

- Asfalto suficiente para asegurar un pavimento durable a través del total recubrimiento de las partículas de agregado e impermeabilización y trabazón de las mismas bajo una adecuada compactación.
- Estabilidad suficiente de la mezcla para satisfacer los requerimientos de servicio y las demandas del tráfico sin deformación o desplazamiento. Cantidad de vacíos en la mezcla total compactada suficiente para evitar el afloramiento, la exudación y la pérdida de estabilidad.
- Adecuada trabajabilidad para permitir una operación de construcción eficiente en la colocación de la mezcla para pavimentación.

4.7.2-Parámetros volumétricos y estructurales

Entre estos requisitos exigidos por pliego mencionados se encuentran los parámetros volumétricos y mecánicos de una mezcla asfáltica. Los cuales son dependientes unos de los otros y en conjunto determinan el rendimiento funcional y estructural de la mezcla. Para obtenerlos se realizan ensayos específicos para cada parámetro. El ensayo más importante es "Estabilidad y Fluencia de mezclas asfálticas por método Marshall". Los parámetros se esquematizan en la siguiente Figura 4.18:

Figura 4.18- Esquema simplificado de las relaciones volumétricas de una mezcla asfáltica



V_{ma} : Volumen de vacíos del agregado mineral (VAM)

V_{mm} : Volumen de la mezcla sin vacíos

V_{mb} : Volumen de la muestra compactada

V_a : Volumen de vacíos (V_a)

V_b : Volumen de asfalto

V_{ba} : Volumen de asfalto absorbido

V_{sb} : Volumen bruto de agregado

V_{se} : Volumen de agregado mineral (por peso específico efectivo)

W_b : Peso del asfalto

W_s Peso del agregado

Vacíos de la mezcla compactada (V_a)

En función de la densidad de la probeta y de la densidad Rice de la mezcla:

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{d}{DT} \right)$$

d = Densidad obtenida según método Marshall (Norma de Ensayo VN-E12-67)

DT = Densidad máxima teórica según ensayo Densidad Rice (Norma de Ensayo VN-E27-84)

Densidad máxima teórica de la mezcla (DT):

(Método de Rice - Norma de Ensayo VN-E27-84)

Vacíos del agregado mineral (VAM)

Representa el volumen total de vacíos en el agregado mineral en el estado compactado. Parte es ocupada por aire y otra por cemento asfáltico. Se calcula a partir del porcentaje de vacíos, de la densidad de la probeta y del contenido de CA (se supone que el peso específico del CA es unitario):

$$VAM = V_a + (d * CA)$$

V_a = Vacíos de la mezcla compactada

d = Peso unitario 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)

Se calcula con los datos del VAM , la densidad de la probeta y el porcentaje de Cemento Asfáltico (se supone su peso específico igual a la unidad):

$$RBV = \frac{100 * d * CA}{VAM}$$

Estabilidad Marshall

Es la carga que produce la rotura de la probeta (se la carga diametralmente) y se obtiene multiplicando la lectura del dial de carga (L) por el factor del aro (FA) y

un factor (K2) que corrige el resultado por la altura de la probeta (si es diferente de 63,5 mm: si la altura es mayor a 63,5 mm, $K2 < 1$ y si es menor $K2 > 1$). La velocidad del ensayo es de 5,08 cm/min (deformación controlada)

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

L1= Lectura en el dial del comparador extensométrico de carga.

K1= Factor de equivalencia en Kg. del aro.

K2= Factor de corrección extraído de la Tabla II de Acuerdo con la altura real de la probeta.

Fluencia Marshall

Es la deformación a la cual se llega a la rotura; se mide en un dial de carga.

Relación estabilidad fluencia (R E/F): relación entre las dos variables anteriores

Densidad Marshall : se obtiene del peso en aire de la probeta Marshall, el peso en aire en condición Saturado Superficie Seca y de Peso Sumergido. Según Norma de ensayo VN - E12 – 67.

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

d = Peso unitario de la probeta de mezcla asfáltica compactada.

Ps = peso en aire de la probeta seca.

Ph = peso en aire de la probeta saturada con agua.

Pi = peso de la probeta, previamente saturada, sumergida en agua.

Contenido de Asfalto(CA): Se obtiene por método Abson (Norma de ensayo VN - E17 – 87) o Centrífuga (Norma de ensayo VN - E69 – 78) . Ambas tienen su metodología propia para el cálculo (especialmente para tener en cuenta el peso del material pasante T200. (Además de que en las formulas se incluirán conveniente mente las sustracciones de pesos de equipos y herramientas usadas para cada uno). De igual manera la formula general es :

$$CA = 100 * \frac{P_A}{P_{MA}}$$

CA = Contenido de Asfalto.

P_A = Peso del cemento asfáltico.

P_{MA} = Peso de la mezcla asfáltica.

Relación Filler-Betún:

Se realizará una mención de todas ventajas que proporciona la adición de filler a la mezcla asfáltica. Sin embargo se debe mencionar el concepto de máxima relación Filler-

Betún. Este debe tenerse en cuenta desde el inicio del dosaje cuando se diseña la granulometría de la mezcla.

Las ventajas de utilizar cal hidráulica como filler son las siguientes:

- Actúa como mejorador de adherencia entre el ligante y el agregado
- Incrementa la consistencia del sistema filler betún
- Mejor comportamiento frente a deformaciones permanentes
- Reduce la oxidación del ligante retrasando el envejecimiento de la mezcla
- Disminuye la susceptibilidad térmica de la mezcla.

Agregar filler produce un elevamiento el punto de ablandamiento y de la resistencia a tracción del ligante. Por otro lado decrece la penetración y ductilidad. Estos efectos son proporcionales entre ellos hasta que se supera un valor crítico. En esta instancia el sistema filler-betún se comporta como un sólido rígido ya que deja de ser viscoso. Esto tiene gran impacto en los valores de la Estabilidad, Fluencia y REF.

En el caso de estudio la exigencia establece un límite de 0,8 a 1,3. El límite mínimo está relacionado con las ventajas que se han mencionado y la exigencia que viene acompañada esto es el requerimiento de utilizar un 1% de cal en la mezcla. Por otro lado el máximo se debe al efecto rigidizador.

4.7.3-Ensayo de estabilidad y fluencia por el método Marshall

Este es el ensayo más importante a realizar a la mezcla asfáltica elaborada en caliente. El mismo se realiza diariamente cada vez que se produce mezcla asfáltica. Al superar las 500 Toneladas producidas se exige realizar el ensayo sobre una nueva muestra. En cuanto a la extracción de la muestra esta se realiza sobre el material volcado en las bateas de los camiones encargados de transportar la mezcla asfáltica. Previamente, se debe hacer el correspondiente control de la mezcla de manera visual (este proceso es complementario con las correcciones en la granulometría cuando se extrae muestra para la correspondiente granulometría, esto no quita que problemas granulométricos puedan ser observados en la mezcla asfáltica elaborada). La misma tiene como objetivo determinar que la mezcla presenta buena granulometría y contenido de asfalto (parámetros que dependen uno del otro). Mezclas con granulometrías más gruesas que la de Fórmula presentan contenido excesivo de asfalto mientras que las finas sufren de falta del mismo. Esto puede apreciarse observado un color negro brillante en conjunto con un comportamiento más fluido de la mezcla. Cuando hay déficit del mismo se observa un color más pobre y cercano al color marrón.

Otro parámetro de gran importancia para las mezclas asfálticas es la temperatura. Por esta razón debe controlarse con termómetro la temperatura de la misma una vez sobre la batea. Cuando la misma supera la máxima temperatura admisible por cemento asfáltico la misma desprende humo de color azul.

Estos parámetros deben ser controlados diariamente, especialmente en los inicios de producción ya que las plantas tardan en estabilizar su producción por situaciones mecánicas hasta que llegan a régimen. Cabe aclarar que estas modificaciones se apoyan en inspección visual pero es muy importante hacer uso de esta información y de los resultados de los ensayos para llegar a las conclusiones más lógicas en el menor tiempo posible.

Por lo general este proceso debe realizarse durante la carga de la primera batea, por lo que la muestra es obtenida aleatoriamente de las demás bateas que se carguen durante

el día. Para ello el personal se sube a la batea, aplana la parte superior del acopio con pala y de ahí se obtienen tres paladas que luego son mezcladas para conformar una mezcla homogénea.

Una vez conseguida la muestra de mezcla asfáltica se procede al moldeo de probetas. Un dato a resaltar con respecto a esto es que la norma exige respetar un tamaño máximo de agregado contenido en la mezcla. Esto se debe a que la altura y diámetro del molde a utilizar esta normalizado, y una particular superior a dicho tamaño abarca aproximadamente un tercio de esa altura comprometiendo el proceso de falla durante la etapa del ensayo en que las probetas son sometidas a carga en prensa. Este tamaño corresponde a partículas de 25 mm o superior. Si la mezcla contiene hasta un 10% de este tamaño de partículas, ese peso es reemplazado por material según lo indique la granulometría de la mezcla. Las probetas compactadas deben tener un diámetro 101,6 mm y 63,5 mm de altura con una tolerancia de 3mm.

Para el moldeo de las probetas es necesario controlar la temperatura en que se mezclan y que son compactadas. Tanto la norma del ensayo como la teoría resaltan el concepto de temperaturas óptimas para mezclado y compactado de mezcla asfáltica (170 y 150 para mezclas con asfalto convencional, 180 y 160 cuando se utiliza asfalto modificado con polímeros), lo correcto conceptualmente es que no existen temperaturas optimas sino viscosidades óptimas para estos procesos. Este fenómeno es posible gracias a las características reológicas del cemento asfáltico el cual varia su viscosidad y otras características según la temperatura a la que se encuentra. Mencionado este razonamiento, la mezcla asfáltica es volcada sobre una bandeja metálica que se encuentra sobre un anafe. Este último cumple la función de evitar la pérdida de temperatura.

El moldeo consiste en la elaboración de 4 probetas, esto se hace de esta forma para descartar los resultados atípicos o de gran variabilidad de una probeta en particular con respecto al resto, ya que no debería existir esta discrepancia por pertenecer a la misma muestra. El proceso de moldeo debe ser rápido debido a las pérdidas de temperaturas mencionadas. Por este motivo elemento como moldes y pisón compactador deben encontrarse a una temperatura adecuada antes de extraer la muestra de la batea. Teniendo todo preparado y la mezcla temperatura optima se procede a pesar material, en general 1250 gramos (esto puede variar según la densidad Marshall estimada de la probeta). Se coloca en la prensa automática de compactación, la cual consiste en un mecanismo que eleva el pisón de un peso normalizado de 4.54 Kg y lo deja caer desde una altura determinada asegurando energía de compactación constante. Este ciclo se realiza 75 veces de cada lado de la probeta. Se puede observar esta prensa en la Imagen 4.16 a continuación. Al obtener el juego de 4 probetas este se deja enfriar hasta que sean aptas para manipuleo para poder desmoldarlas y luego ensayarlas para obtener su densidad Marshall y altura. Esta última siendo muy útil para la estimación de la primera.

De esta forma queda definida la densidad Marshall. Se llama así la relación entre la masa de la mezcla asfáltica y el volumen que la misma ocupa, luego de haber sido sometida a un proceso de compactación normalizado. Este valor es el que luego se utiliza en obra para requerir que cantidad de Toneladas de mezcla se necesitan en obra para ocupar determinado volumen. Pero más importante, es la densidad que se controla mediante extracción de testigos sobre pavimento construido.

El porcentaje de compactación de este control depende de las exigencias del pliego. Por lo tanto en obra se suelen hacer tramos de prueba u otros análisis para determinar que método de compactación (con esto nos referimos a equipos a utilizar, cuantas

pasadas realizar y de qué forma) se debe utilizar durante el proceso de ejecución para asegurar un buen resultado.



Imagen 4.16- Prensa automática para Ensayo Método Marshall

Aquí se entiende que la energía de compactación en la realidad debe ser similar a la de laboratorio para lograr resultados similares. Hay que tener cuidado con esto ya que una sobrecompactación puede inducir vacíos reducidos en la mezcla, y con ello posibilidad de exudación, lo cual también es antieconómico por gastos en gasoil. Por otro lado una falta de compactación produce estructuras más vulnerable a la fisuración por fatiga, además de que debe ser rechazada por inspección y demolida o aceptada en conjunto con los correspondientes descuentos en el monto a pagar por el ítem mal realizado que generan inconvenientes económicos.

El día posterior las probetas deben ser ensayadas para conocer su estabilidad y su fluencia. La primera es la carga a la cual esta falla y la segunda es la deformación que alcanzo en el momento de falla. Esto se realiza mediante una prensa en que se la comprime diametralmente. Previo a esta operación, la probeta debe ser calentada a 60°C en baño maría (esta temperatura se entiende que es la que de la mezcla asfáltica a la que es sometida durante servicio) durante 30 a 40 minutos. Pasado ese tiempo se procede a ensayar una por una en la prensa correspondiente a este ensayo. La misma cuenta con dos comparadores o flexímetros, como el de la Imagen 4.17, con los cuales se mide la carga (a través de un anillo de carga que relaciona la deformación medida con la carga aplicada) y la deformación. Para esto se necesitan dos personas que estén

atentas a cada uno de los diales. El responsable de realizar la lectura de la Estabilidad debe comunicar a la otra persona el momento en que se alcanza la máxima carga (luego de alcanzarla el dial comienza a avanzar en la dirección contraria) para que él tome la lectura de la deformación alcanzada en ese momento.

Estos parámetros llamados estructurales son importantes para el comportamiento en servicio de la mezcla asfáltica. La estabilidad se calcula multiplicando la lectura por la K1 del Aro y por otra K2 que corrige la lectura según la variación de la altura de la probeta con respecto a la normalizada. Estos valores están enumerados en la Tabla 4.7.. El control de estos parámetros como ya se mencionó es diario y debe analizarse en conjunto con parámetros volumétricos cuyos ensayos se describen en este capítulo. Ambos están relacionados con la granulometría y el contenido de cemento asfáltico. Estas inter-relaciones son descritas en más detalle en capítulos posteriores. Por este motivo una vez obtenidos dichos parámetros estos quedan registrados junto con los valores necesarios para su cálculo en una planilla resumen diaria adjunta en la Figura 4.19.

Tabla 4.7- Tabla para corrección de estabilidad según altura de probeta

Altura de la probeta en mm.	Factor de corrección (k2)
60,5	1,09
60,7	1,08
61,0	1,07
61,2	1,06
61,5	1,05
61,7	1,04
62,2	1,03
62,6	1,02
63,1	1,01
63,5	1,00
Altura de la probeta en mm.	Factor de corrección (K2)
63,9	0,99
64,4	0,98
64,8	0,97
65,3	0,96
65,8	0,95
66,3	0,94
66,6	0,93
67,0	0,92
68,3	0,89
69,9	0,86
71,4	0,83
73,0	0,81
74,6	0,78
76,2	0,76



Imagen 4.17-Aro y comparador para lectura de Estabilidad

4.7.3.1- Estabilidad residual

Variación del ensayo que consiste en moldear por lo menos 2 probetas más de igual forma que las 4 que se habían hablado anteriormente, romperlas del mismo modo a excepción de que el baño maría es más prolongado (en el orden de 24 horas). Esta variación en las condiciones de ensayo tienen como fundamento que tiempos prolongados de saturación en mezclas asfálticas disminuyen su capacidad estructural. En este caso se aprecia una menor estabilidad, este fenómeno tiene que ver con la pérdida de fuerzas cohesivas del ligante con los agregados. Este fenómeno es más evidente en pavimentos de la vía urbana, en los cuales por malos diseños de drenaje, quedan sumergidos en agua durante tiempos excesivos. La medida que se usa como solución en estos casos es la utilización de cal hidratada como filler. Como control de este ensayo se exige que la pérdida de estabilidad sea menor al 10 o 15 %. La misma se obtiene con la prensa utilizada en el ensayo standard. Se adjunta una fotografía de la misma en la Imagen 4.18.

Por ser diario este ensayo, en él se presentan varios indicadores visuales que colaboran para mejorar día a día la calidad de la mezcla asfáltica. Esto sucede ya que como se observa se debe esperar al día posterior para obtener resultados, razón por la cual estos indicadores ayudan a inferir como van a ser esos resultados y posiblemente hacer cambios en la producción de mezcla asfáltica del día actual.

Primeramente la inspección visual de la mezcla, posterior a ello el manipuleo de la misma durante el moldeo (se puede discernir el contenido de asfalto excesivo o faltante). A continuación, cuando se desmolda las probetas puede observarse la textura o la terminación de la misma (indicativo de una posible granulometría discontinua y vacía elevada) y la altura de las probetas (como se explicara más adelante una baja altura indica alto contenido de asfalto o baja cantidad de vacíos, una altura elevada significara lo contrario. Siempre comparando con la altura ideal que es 63.5mm).

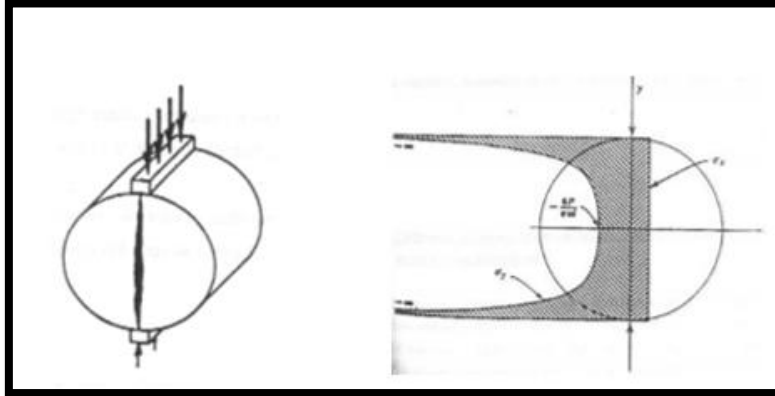


Imagen 4.18- Prensa para método Marshall

4.7.3.2- Tracción indirecta

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas diametralmente opuestas hasta alcanzar la rotura por falla a tracción como se observa en la Figura 4.20 a continuación .

Figura 4.20- Esquema de aplicación de carga para ensayo de tracción indirecta y distribución de tensiones



La distribución de tensiones consiste en compresiones variables en el plano vertical con valores elevados en los puntos de aplicación de la carga y tensiones de tracción constante. Este ensayo tiene baja frecuencia ya que se realiza solo para la aprobación de la fórmula de obra. Tiene potencial de ser importante en un futuro ya que la rotura por tracción de una capa asfáltica se da en su capa inferior dando lugar a fisuras

El ensayo realizado es exigido en el PETP Mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado, Anexo CAC II correspondiente a la Obra Repavimentación RN38. La tensión de falla tracción de rotura es la siguiente:

$$R = \frac{2P}{\pi h d}$$

R= Resistencia a compresión diametral [Kg/cm²]

P= Carga máxima [Kg]

h= Altura de la probeta [cm]

d= Diámetro de la probeta [cm]

Posteriormente para tener en cuenta la susceptibilidad térmica se exige realizar el ensayo a 25.C° y 60°C Y obtener una relación mayor al 80 %. Los cálculos correspondientes a este análisis quedan expuestos en la Figura 4.21.

Figura 4.21-Resultados de ensayo de tracción indirecta

Prueba Nº	Altura probeta (mm)	Lectura del dial (div.)	Lec. Dial x fac. aro	Factor x altura	Estabilidad (Kg)	Diámetro (cm)	Cálculo de la resistencia conservada (Kg/cm ²)
1	65,4	140	1032	0,96	991	10,16	9,49
2	64,9	135	995	0,97	965	10,16	9,32
3	65,5	128	943	0,96	905	10,16	8,66
					953,7	10,2	9,2
Prueba Nº	Altura probeta (mm)	Lectura del dial (div.)	Lec. Dial x fac. aro	Factor x altura	Estabilidad (Kg)	Diámetro (cm)	Cálculo de la resistencia conservada (Kg/cm ²)
1	65,4	130	958	0,96	920	10,16	8,81
2	65,5	130	958	0,96	920	10,15	8,81
3	65,4	119	877	0,96	842	10,16	8,07
					894,0	10,2	8,6
IRC = $R2/R1 \times 100$							
R1	Resistencia probetas grupo 1 (60°C)						
R2	Resistencia probetas grupo 2 (25°C)						
IRC	Índice de resistencia conservada						
IRC (%)	93,5						

4.7.4- Densidad Rice

Ensayo cuyo fin es obtener la densidad máxima de la mezcla asfáltica, a diferencia de la densidad Marshall esta densidad se obtiene luego de extraer los vacíos que si bien no aportan masa agregan volumen. Razón por la cual la densidad Marshall siempre es menor. Sintéticamente, el procedimiento consiste en utilizar principio de Arquímedes para obtener volumen de la mezcla y una bomba de vacío para eliminar el aire contenido en la misma. El equipamiento necesario se muestra en la Imagen 4.19. De esta forma se obtiene la densidad máxima. Este ensayo también es diario y permite obtener el valor de los vacíos de la mezcla asfáltica que se expresa como la variación porcentual del cociente entre la densidad Marshall y la densidad Rice.

La densidad máxima es proporcional a la ponderación entre los pesos específicos de los materiales primarios que integran la mezcla asfáltica como se puede observar en la

Figura 4.22. Este valor puede usarse de referencia antes de dosificar una mezcla o bien para detectar posibles fallos en el equipamiento de laboratorio si se arrojan valores muy diversos. Por otro lado tener en cuenta el valor de la densidad Rice ensayada todos los días es de gran importancia por los siguientes motivos:

- Puede indicar exceso de asfalto o falta del mismo, esto se da ya que es un ensayo sencillo y rápido en comparación al ensayo por método Abson por ejemplo.
- Permite detectar cambios en los pesos específicos de los agregados. Como se explicara en el ensayo de peso específico, este es un ensayo semanal generalmente. Esto significa que por ejemplo obtener un valor de densidad Rice mayor al de Formula no siempre indicara vacíos altos. Este cambio se verá acompañado de un aumento de la densidad Marshall al mismo tiempo. Esto indica que los vacíos están en un rango aceptable, ya que ambas densidades aumentan proporcionalmente.



Imagen 4.19- Equipamiento para ensayo RICE

Factores a tener en cuenta para mantener mínimas las variaciones debidas al procedimiento del ensayo son:

- Proveer un buen mantenimiento a la bomba mediante cambios de aceite y demás controles internos ya que en la conclusión del retiro de vacío es mediante una apreciación visual. Un mal funcionamiento no extraerá las burbujas de aire más pequeñas. Otra recomendación que busca el mismo objetivo es la de limitar la cantidad de mezcla asfáltica ensayada.
- Durante el procedimiento del ensayo es necesario obtener el valor del peso del matraz con el nivel de agua máximo. Se debe tener cuidado con esta medición por la influencia de la temperatura sobre la densidad del agua.
- Ser preciso con el enrasado del matraz en la medición final. En esta se tiene la mezcla asfáltica sin vacíos y embebida en agua hasta la marca que define el volumen del matraz. Por más que el estrechamiento en la parte superior del mismo colabora con la precisión del llenado a un volumen constante es importante evitar variaciones que alteren el resultado final.

Figura 4.22-Densidad teórica máxima

NORMA SE ENSAYO VN.E27-84							
INFORME TECNICO							
Densidad Teórica - mezcla con el = Max. C.A.	6,5%	3353,0	1000,0	4353,0	3962,0	391,0	2,558
Densidad Teórica - mezcla con el = Max. C.A.	6,5%	3353,0	1000,0	4353,0	3962,0	391,0	2,558
Promedio de Densidad teórica =				2,558			
$Peef = \frac{100 - \%C.A.}{(100) - (\%C.A) \cdot Pe CA}$				Peef = Peso específico efectivo del agregado mineral. % C.A.= Porcentaje en peso, de cemento asfáltico de la mezcla. D.T = Densidad teórica máxima de la mezcla. Pe CA = Peso específico del cemento asfáltico.			
$Peef = \frac{100 - 6,5}{100 - 6,5} = 93,5$ $Peef = \frac{100 - 6,5}{2,558 - 1,0} = 32,6$				= 2,868			
CALCULOS - Para la determinación de la Densidad Teórica Máxima de la Mezcla del Dosaje por distintos tenores de % C.A.						DMT = Densidad máxima teórica, de la dosificación % C.A. " ultimo punto "	
DMT		$\frac{100}{100 - \%CA + \% CA \cdot Peef}$		Para concretos asfálticos convencionales de tipo superior.			
% C.A	4,00	$\frac{100}{96,00 + 4,0 \cdot 1,0} = 37,47$		= 100,0	= 2,669	Densidad Teórica.	
% C.A	4,50	$\frac{100}{95,50 + 4,50 \cdot 1,0} = 37,80$		= 100,0	= 2,646	Densidad Teórica.	
% C.A	4,90	$\frac{100}{95,10 + 4,9 \cdot 1,0} = 38,06$		= 100,0	= 2,627	Densidad Teórica.	
% C.A	5,50	$\frac{100}{94,50 + 5,50 \cdot 1,0} = 38,45$		= 100,0	= 2,601	Densidad Teórica.	
% C.A	6,00	$\frac{100}{94,00 + 6,0 \cdot 1,0} = 38,77$		= 100,0	= 2,579	% Máximo Obtenido C.A., en dicha Dosificación - Resultante la Densidad Teórica " Máxima ".	
DOSAJE ORIGINAL							
Dosaje	Ag. Grueso 12/19		23,0%		% de aridos q intervienen en la mezcla asfáltica		
	Ag. Corrector 6/12		25,0%				
	Arena. Trituración 0/6		44,0%				
	Arena Silíceas		7,0%				
	CAL		1,0%				
Total % Áridos		100,0%					

4.7.5- Ensayo de recuperación de asfalto

Se utilizan dos métodos en el laboratorio central. El primero y más preciso es el método Abson, mostrado en la Imagen 4.20, y método con centrifuga. La denominación de ambos proviene del equipo utilizado en cada uno. El objetivo de este ensayo es obtener el porcentaje de cemento asfáltico en peso que contiene la mezcla asfáltica. Este valor es muy importante por cómo se comportara la mezcla asfáltica con pequeñas variaciones en este resultado, como en las implicancias económicas por ser este el material primario más caro y por sus altos requerimientos de calidad y conservación debido a su comportamiento reológico.



Imagen 4.20-Equipamento Método Abson

El procedimiento en ambos ensayos consiste en tomar una muestra de mezcla asfáltica y aplicarle un solvente que separa y remueve el cemento asfáltico de la misma. Por diferencia de pesos del material recubierto por asfalto y peso del material luego del “lavado” se obtiene la cantidad de asfalto que contenía la mezcla. Cabe aclarar que el asfalto que queda contenido en los poros de los agregados no puede ser retirado totalmente y que cierta cantidad de finos quedan contenidos en el ligante o son arrastrados con el mismo durante el proceso del ensayo.

El Ensayo exigido por los pliegos es el Método Abson, esto se debe a su gran precisión en cuanto al resultado. Por contra parte este tiene una duración aproximada de 4 horas y conlleva un procedimiento más complejo y manipuleo de insumos tóxicos que requieren el uso de EPP más sofisticados que el utilizado generalmente en las demás tareas de laboratorio.

Debido a esto pasa a tener cierta relevancia el Método con Centrífuga. El procedimiento es más básico y rápido, pero tiene poca exactitud. Esto se debe a que este método no tiene una forma efectiva de lidiar con partículas finas. Estas son perdidas durante el ensayo, generando mayor diferencia de pesos con y sin asfalto acusando mayor contenido de asfalto. Debido a esta problemática surge la necesidad de crear un coeficiente de corrección para este ensayo.

El coeficiente consiste en comparar el valor obtenido de recuperación de asfalto con el Método de la Centrifuga con un valor conocido. Este puede estimarse con una probeta moldeada (moldeo en el cual se pesaron los componentes, incluido el asfalto, con balanza de precisión) o con resultados de Método Abson considerados 100% precisos.

4.7.5.1-Método centrífuga

El mismo se vale del uso de una centrifuga acoplado a un plato contenedor, ambos mostrados en la Imagen 4.21 .En este es donde coloca la muestra de mezcla asfáltica. El plato consiste en una parte inferior con un orificio por donde elimina el solvente junto a la mezcla asfáltica y una tapa superior. Antes colocar la tapa y empezar el procedimiento de centrifugado se coloca un papel de filtro encargado de evitar el escape de partículas finas. El solvente que se utilizó fue en general Gasoil o Nafta si bien la norma indica Benceno, tetracloruro de carbono o triclorietileno.



Imagen 4.21- Equipamiento Método centrífuga

4.7.5.2- Método Abson

El principio de funcionamiento del mismo consiste en la utilización de triclorietileno como solvente. Este es calentado mediante una resistencia eléctrica hasta producir ubicada en la parte inferior hasta alcanzar estado gaseoso. En la parte superior del cilindro se encuentra un sistema de refrigeración de agua el cual enfría el triclorietileno hasta que este se condensa en forma de lluvia y cae sobre la muestra de mezcla asfáltica. La misma se encuentra en un cesto cuya abertura es de 74 micras. Este proceso dura hasta que a través de una mirilla se observa que el líquido no arrastra asfalto, es decir no aprecia el color negro o tonos oscuros en el líquido que cae .El residuo quedara formado por una mezcla de triclorietileno, cemento asfáltico y partículas finas Finalmente mediante centrifugado de este residuo en 4 vasos se elimina el triclorietileno y el asfalto y se obtiene el valor del peso de las partículas finas.El centrifugado se hace en una centrifuga independiente del equipo Abson. Se la puede ver a continuación en la Imagen 4.22.



Imagen 4.22-Centrífuga Método Abson

4.7.6- Dosaje de mezcla asfáltica

Se denomina dosaje a la determinación de la cantidad de cada componente a utilizar para elaborar mezcla asfáltica. Una vez que estos atraviesen el proceso productivo que se ha descrito junto con el funcionamiento de la planta se obtiene un producto final listo para ser transportado y puesto en obra. El objetivo de esta dosificación es diseñar una mezcla que cumpla con todos los requisitos establecidos en el pliego, ya que esto asegura un buen desempeño de la misma siempre y cuando también se proceda de buen modo en la elaboración, transporte y colocación final. El dosaje se concluye cuando se determina el contenido óptimo de ligante (en este caso asfalto modificado con polímeros) para una composición granulométrica. La granulometría también tiene un entorno y una restricción de tamaño máximo de sus agregados según la capa de pavimento para la que se tiene planificado la mezcla asfáltica. Una vez determinados que componentes y que cantidad de cada uno se aporta a la mezcla queda definida la "Formula de Obra" que es apta para la fabricación de mezcla asfáltica para una capa estructural particular. Cada vez que se necesite construir otra capa se debe verificar si las formulas disponibles cumplen con los requisitos. En la Tabla 4.9 se enumeran los ensayos a realizar sobre el agregado grueso a utilizar y los valores correspondientes. Si esto sucede se debe hacer una presentación formal de la misma. Caso contrario debe realizar otro dosaje para satisfacer las necesidades de la nueva estructura.

Los componentes de una mezcla asfáltica son:

Agregado grueso: Material Retenido Tamiz N^o4

Agregado Fino: Material Pasante Tamiz N^o4

Cemento Asfáltico: En este informe se trabajó con cemento asfáltico m modificado con polímeros AM3.

Filler: Polvo mineral pasante Tamiz N^o200. Puede utilizarse material proveniente de trituración de áridos o, como en el caso de este informe, material calcáreo.

Una vez definidos sus orígenes y proporciones se realiza una tabla para una presentación formal como la Tabla 4.8 que se muestra a continuación.

Tabla 4.8- Agregados de dosaje de mezcla asfáltica de Formula de Obra

Designación	Proveedor	Tipo de árido	Porcentaje en que interviene en la mezcla de áridos
Árido grueso 6/19	Canteras Diquecito - La Calera	Triturado Granítico	30
Árido grueso 6/12	Canteras Diquecito - La Calera	Triturado Granítico	20
Árido fino 0/6	Canteras Diquecito - La Calera	Triturado Granítico	44
Arena de río	Merlino – Despeñaderos	Arena granítica	5
Cal hidráulica	Construcal – Comercial	Calcáreo	1

La interacción de estos componentes determina la calidad del producto final por lo que es importante asegurarse de que cada componente sea apto para este uso y luego, que cantidad agregar en cada uno. En primer lugar se describe la granulometría para dar paso a las propiedades importantes de la mezcla asfáltica una vez que se le añada el ligante asfáltico a la mezcla de áridos.

*Tabla 4.9- Especificaciones agregado grueso.
Fuente: PETP DNV. Obra: Repavimentación RN N°38*

Árido grueso – fracción 6/19		
Ensayo	Norma/Método	Valor
Peso específico	VN E 13-67	2,759
Absorción	VN E 13-67	0,7
Plasticidad	IRAM 10502	NO PLÁSTICO
Relación vía seca / vía húmeda del pasa Tamiz	VN E 7-65	60,58%
Desgaste Los Angeles	IRAM 1532	19,3
Índice de lajas	VN E 38-86	23,00%
Elongación	VN E 38-86	61,00%
Polvo adherido	VN E 68-75	0,4

4.7.6.1-Diseño de granulometría

Los conceptos que ya se han descrito para granulometría de áridos en general se aplicaran para la mezcla de agregados que luego conforman la matriz estructural de la mezcla asfáltica. Como se detalla más adelante, es importante diseñar una granulometría a partir de los componentes para establecer un material compacto con características friccionales suficientes para otorgar una buena resistencia pero teniendo en cuenta los vacíos de aire que luego serán ocupados por el ligante asfáltico. Por otro lado debe tenerse en cuenta la disponibilidad agregados disponibles en el área y/o la viabilidad económica de su transporte. Estos pasan a tener un rol fundamental en el funcionamiento de la mezcla asfáltica. Por otro lado se debe destacar la gran influencia del material pasante T200 por su gran superficie específica y por su efecto rigidizador una vez embebida en el ligante asfáltico. También se debe tener en cuenta el tamaño máximo del agregado que depende del espesor de la capa a construir. Todas estas exigencias varían según cada proyecto y son descritas en el pliego de especificaciones técnicas. Además se debe tener consideración de la posible segregación según la forma de la curva como se muestra en la Figura 4.23. Teniendo en cuenta estos conceptos y además definidos los materiales a utilizar cada uno con su determinada granulometría se genera una granulometría de la mezcla variando los porcentajes de aporte de cada material como se muestra en la Figura 4.24.

Figura 4.23-Tendencia a segregación según forma de curva granulométrica. Fuente: CPA. Comisión Permanente del Asfalto

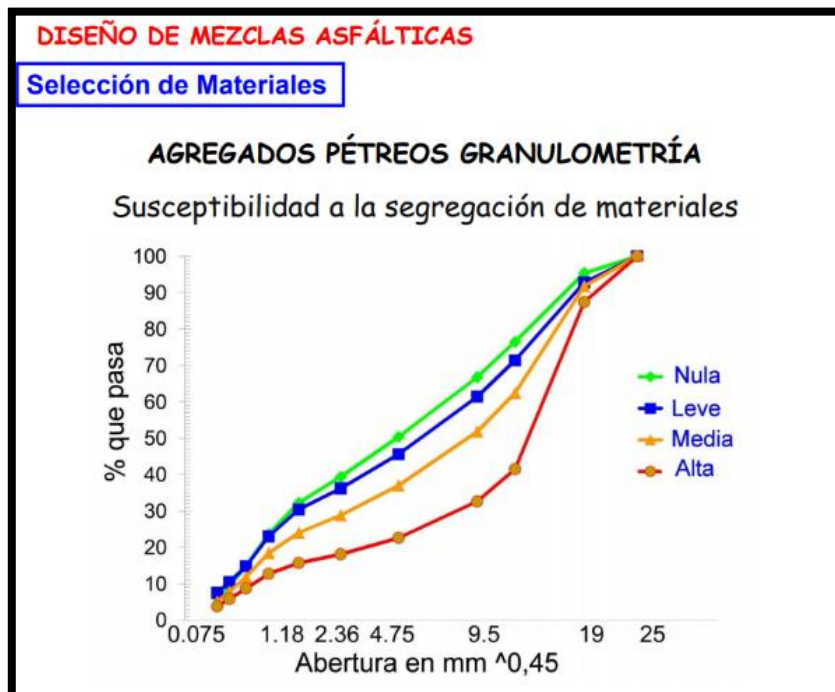
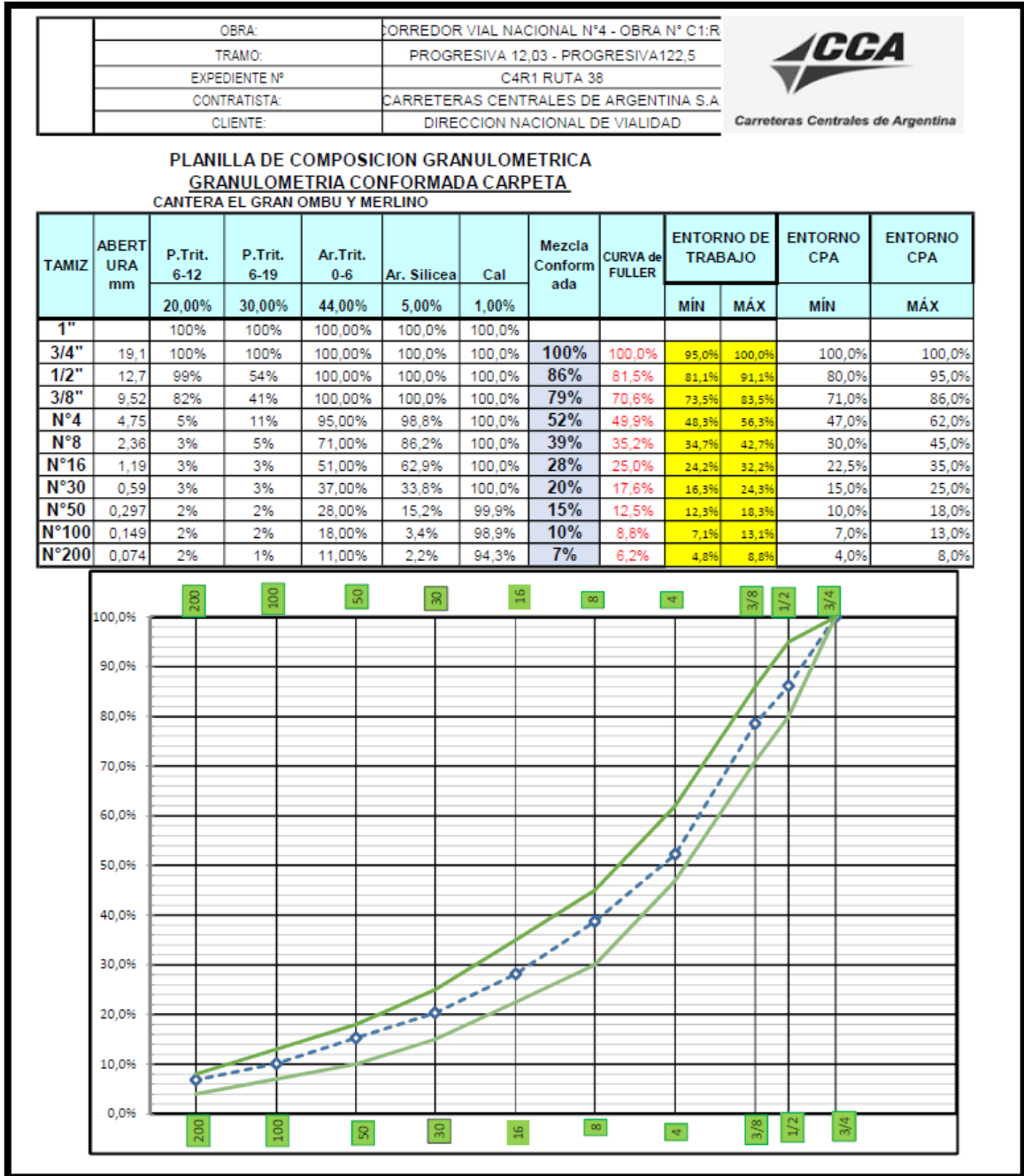


Figura 4.24-Granulometría de mezcla de agregados para mezcla asfáltica



4.7.6.2-Fraccionamiento

Es el proceso previo a la fabricación de las probetas que son puestas a prueba mediante el ensayo “Estabilidad y Fluencia de mezclas asfálticas por método Marshall” para determinar la “Formula de Obra”.


Antes de iniciarlo se debe disponer de los agregados finos y gruesos que cumplan con los requerimientos particulares de cada uno. Entre los más importantes podemos mencionar el ensayo “Desgaste de los Ángeles” para los agregados gruesos, el ensayo “Equivalente de arena” para agregados finos y el ensayo “Concentración Crítica” para los polvos minerales.

Una vez que se confirma la buena calidad de los componentes se debe determinar la granulometría de la mezcla de los mismos. Se busca obtener que porcentaje de cada material agregar para cumplir con una buena granulometría cuyos límites están establecidos en los pliegos. Para ello es importante recordar el concepto de porcentajes parciales retenidos en cada tamiz de la serie. Estos son justamente fracciones del total del agregado componente de la mezcla asfáltica. De esta forma cuando se integre cada componente estas fracciones pasaran ser un porcentaje del componente que a su vez es un porcentaje de la mezcla. Este método se detalla en la Figura 4.25 adjunta que es resultado de un caso de aplicación de la Practica Supervisada realizada por el alumno.

Es importante remarcar que granulometrías con gran cantidad de partículas finas requieren un tenor óptimo de asfalto mayor que el de mezclas gruesas debido al concepto de superficie específica.

Para realizar las probetas destinadas a ser ensayadas no puede simplemente pesarse cada material componente y añadirlo al proceso de moldeo. Sino que, como se explicó anteriormente se realiza un tamizado para obtener cada “fracción” correspondiente a cada tamiz de cada componente de la mezcla asfáltica. Luego se agrega cada fracción a un tarro que contiene toda la “mezcla seca” que será utilizada para el moldeo de una probeta. Finamente resta agregar el cemento asfáltico. Este generalmente varia de 4.5% a 6% en mezclas asfálticas. Para realizar el dosaje se prueba con distintos porcentajes de asfaltos y se generan curvas con los parámetros volumétricos y estructurales ya descriptos. Con esto se ve como varían las propiedades de la mezcla con la variación del contenido de asfalto. Se llama contenido óptimo de ligante asfáltico al porcentaje de betún necesario que aplicado correctamente a una mezcla de agregados ya determinada produce una mezcla asfáltica que cumple con los requisitos exigidos. Estos requisitos son están contenidos en los pliegos y su cumplimiento asegura un buen comportamiento en servicio de la mezcla asfáltica.

Figura 4.25- Fraccionamiento para preparación de probetas de dosaje. Planilla para elaboración de probetas. Cada fracción del agregado es almacenada en tarros, luego se agrega la cantidad especificada de cada uno para moldear una probeta de mezcla asfáltica. Estas proporciones definen la curva granulométrica de la Formula de Obra.

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PARA CARPETA											
FECHA:		19/07/17									
OBRA:		CORREDOR VIAL NACIONAL N°1 - OBRA N° CI-R4									
TRAMO:		PROGRESMA 12.03 - PROGRESMA12.03									
EXPEDIENTE N°:		CRR1 RUTA 38									
CONTRATISTA:		CARRETERAS CENTRALES DE ARGENTINA S.A.									
CLIENTE:		DIRECCION NACIONAL DE VIALIDAD									
 Carreteras Centrales de Argentina											
CALCULO PARA PROBETAS DOSAJE MARSHALL											
MATERIAL	ARIDOS	PESO PROBETA		1250 GR							
TRITURADO 0-19	15,00%	CANTIDAD PROBETAS		1250 GR							
ARENA SILICEA	5,00%	PESO TOTAL		1250 GR							
TRITURADO 0-4	44,00%	ASFALTO	%	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%			
TRITURADO 0-12	35,00%	AGREGADO	%	98,00%	95,50%	95,00%	94,50%	93,50%			
CAL HIDRATADA	1,00%	ASFALTO	GR	80,00	88,25	82,50	85,75	81,25			
TOTAL	100,00%	AGREGADO	GR	1.200,00	1.183,75	1.187,50	1.181,25	1.188,75			
DETERMINACION PESO CADA COMPONENTE - GRANULOMETRIA VIA SECA											
TRITURADO 0-19											
PORCENTAJE DE ASFALTO											
4,00% 4,50% 5,00% 5,50% 6,00%											
PESO ARIDO											
PASANTE	RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	DIFERENCIA	UNIDAD	180,00	179,08	178,13	177,19	176,31	
3/4"	1/2"	99%	94,08%	4,92%	GR	79,72	79,31	78,89	78,48	77,85	
1/2"	3/8"	54%	40,75%	13,25%	GR	23,99	23,87	23,74	23,62	23,37	
3/8"	4"	41%	11,46%	29,54%	GR	92,73	92,46	92,16	91,90	91,26	
4"	8"	11%	3,94%	8,06%	GR	11,89	11,89	11,88	11,87	11,29	
8"	18"	5%	3,43%	1,60%	GR	2,89	2,87	2,86	2,84	2,81	
18"	30"	3%	2,76%	0,89%	GR	1,24	1,23	1,22	1,22	1,20	
30"	60"	3%	2,33%	0,42%	GR	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	
60"	100"	2%	1,58%	0,48%	GR	0,88	0,88	0,88	0,88	0,84	
100"	200"	2%	1,49%	0,37%	GR	0,89	0,89	0,89	0,89	0,84	
200"	-	100%	0,00%	1,00%	GR	2,87	2,86	2,85	2,85	2,80	
						177,06	176,14	175,22	174,30	172,45	
TRITURADO 0-4											
PORCENTAJE DE ASFALTO											
4,00% 4,50% 5,00% 5,50% 6,00%											
PESO ARIDO											
PASANTE	RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	DIFERENCIA	UNIDAD	828,00	828,25	822,50	819,75	814,25	
3/4"	1/2"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/2"	3/8"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3/8"	4"	100,00%	98,00%	2,00%	GR	26,40	26,28	26,13	25,98	25,71	
4"	8"	95,00%	71,00%	24,00%	GR	128,72	128,08	125,40	124,74	123,42	
8"	18"	71,00%	61,00%	10,00%	GR	105,80	105,08	104,50	103,95	102,85	
18"	30"	51,00%	37,00%	14,00%	GR	73,92	73,84	73,15	72,77	72,00	
30"	60"	37,00%	28,00%	9,00%	GR	47,59	47,51	47,19	46,79	45,78	
60"	100"	28,00%	18,00%	10,00%	GR	82,80	82,53	82,25	81,98	81,43	
100"	200"	18,00%	11,00%	7,00%	GR	36,88	36,77	36,58	36,38	36,00	
200"	0"	11,00%	0,00%	11,00%	GR	86,88	87,78	87,48	87,17	86,67	
						828,00	828,25	822,50	819,75	814,25	
TRITURADO 0-12											
PORCENTAJE DE ASFALTO											
4,00% 4,50% 5,00% 5,50% 6,00%											
PESO ARIDO											
PASANTE	RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	DIFERENCIA	UNIDAD	420,00	417,81	415,63	413,44	409,06	
3/4"	1/2"	100%	98,43%	1,57%	GR	2,40	2,39	2,38	2,38	2,34	
1/2"	3/8"	99%	81,58%	17,42%	GR	74,96	74,98	74,17	73,78	73,00	
3/8"	4"	82%	3,38%	78,62%	GR	380,09	378,38	376,72	375,05	371,72	
4"	8"	5%	3,26%	2,10%	GR	8,93	8,93	8,94	8,79	8,70	
8"	18"	3%	2,72%	0,54%	GR	2,28	2,29	2,24	2,23	2,20	
18"	30"	3%	2,58%	0,14%	GR	0,89	0,88	0,88	0,88	0,87	
30"	60"	3%	2,50%	0,80%	GR	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	
60"	100"	2%	2,48%	0,02%	GR	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	
100"	200"	2%	2,47%	0,01%	GR	0,09	0,09	0,09	0,09	0,04	
200"	-	2%	0,00%	2,47%	GR	10,38	10,38	10,29	10,19	10,00	
						420,00	417,81	415,63	413,44	409,06	
CAL HIDRATADA											
PORCENTAJE DE ASFALTO											
4,00% 4,50% 5,00% 5,50% 6,00%											
PESO ARIDO											
PASANTE	RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	DIFERENCIA	UNIDAD	12,00	11,94	11,88	11,81	11,69	
3/4"	1/2"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/2"	3/8"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3/8"	4"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4"	8"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8"	18"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
18"	30"	100,00%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
30"	60"	100,00%	98,80%	1,20%	GR	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
60"	100"	98,20%	98,90%	1,50%	GR	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	
100"	200"	98,90%	94,30%	4,60%	GR	0,59	0,59	0,59	0,54	0,54	
200"	-	94,30%	0,00%	94,30%	GR	11,32	11,28	11,20	11,14	11,02	
						12,00	11,94	11,88	11,81	11,69	
ARENA SILICEA											
PORCENTAJE DE ASFALTO											
4,00% 4,50% 5,00% 5,50% 6,00%											
PESO ARIDO											
PASANTE	RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	DIFERENCIA	UNIDAD	60,00	59,69	59,38	59,06	58,44	
3/4"	1/2"	100,0%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/2"	3/8"	100,0%	100,00%	0,00%	GR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3/8"	4"	100,0%	98,80%	1,20%	GR	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	
4"	8"	98,8%	98,80%	0,00%	GR	7,28	7,28	7,48	7,48	7,28	
8"	18"	82,2%	82,80%	0,60%	GR	13,08	13,01	13,05	13,78	13,82	
18"	30"	62,9%	53,80%	9,10%	GR	17,48	17,37	17,28	17,19	17,01	
30"	60"	33,8%	15,20%	18,60%	GR	11,16	11,10	11,04	10,99	10,87	
60"	100"	15,2%	3,40%	11,80%	GR	7,08	7,04	7,01	6,97	6,80	
100"	200"	3,4%	2,20%	1,20%	GR	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	
200"	-	2,2%	0,00%	2,20%	GR	1,32	1,31	1,31	1,30	1,29	
						60,00	59,69	59,38	59,06	58,44	
SUMA TOTAL						GR	1197,06	1190,83	1184,59	1178,36	1165,89

4.7.6.3-Variación de parámetros según contenido de asfalto

Se muestran las curvas obtenidas en el proceso de dosaje en la Figura 4.26. Estas corresponden a la mezcla asfáltica en que se hará énfasis durante el próximo capítulo. A continuación se describirá como los distintos parámetros varían según el contenido de cemento asfáltico. Estas variaciones son comunes a todas las mezclas asfálticas.

Tanto la Estabilidad como la Densidad crecen con el contenido de CA hasta un máximo y luego decrecen. En cuanto a la densidad podemos hacer un análisis análogo al del ensayo Proctor: a medida que aumenta el %CA las partículas agregado tienen mayor movilidad en la mezcla y por lo tanto se acomodan mejor. Además, los vacíos van siendo ocupados por el CA. Pasado un determinado contenido de CA el mismo comienza a separar las partículas de agregado y disminuye la densidad. La estabilidad, como hemos dicho, está directamente relacionada con la compacidad de la mezcla.

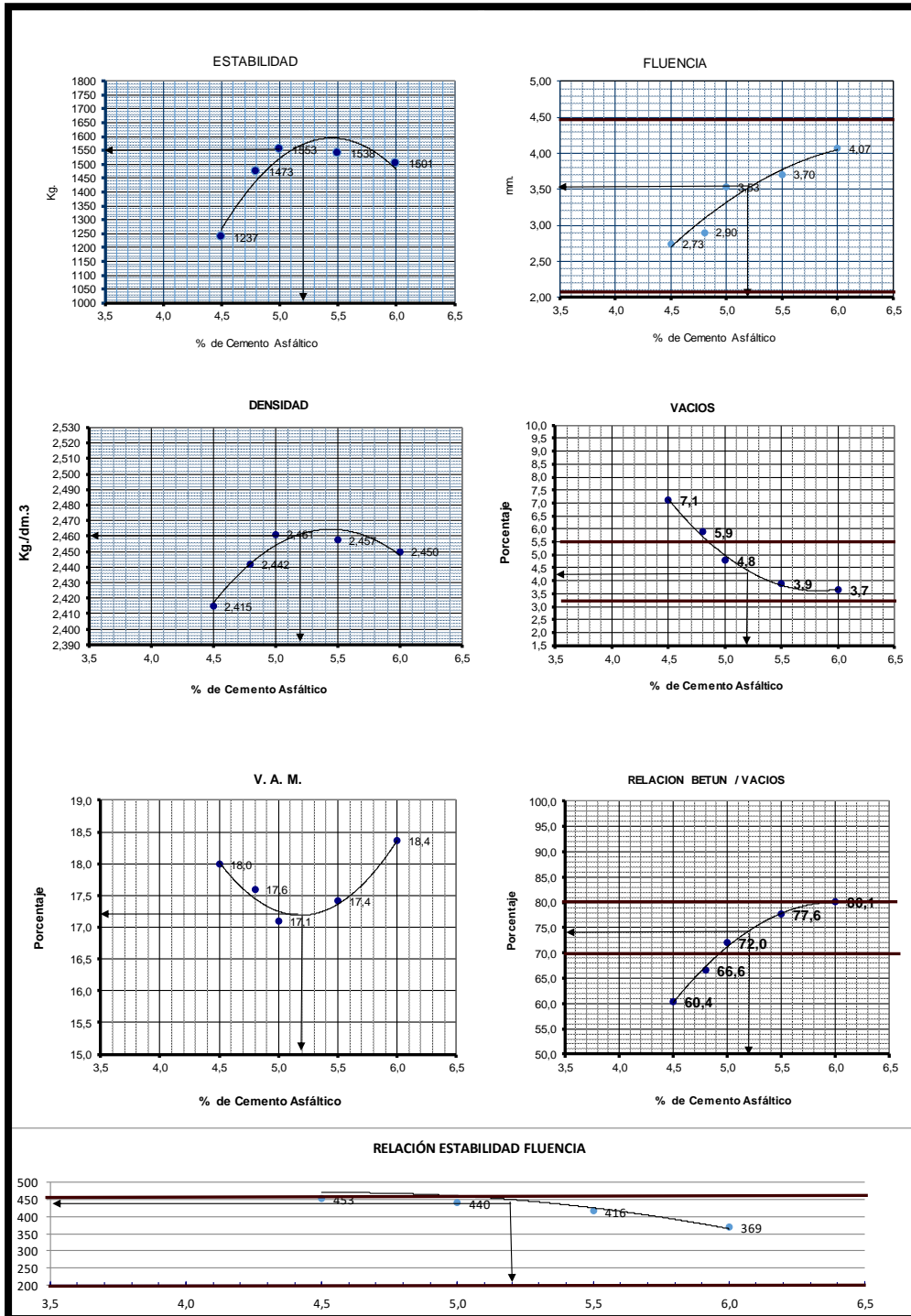
La Fluencia aumenta con el contenido de asfalto ya que la mezcla se vuelve más flexible. Por ende, la Relación Estabilidad-Fluencia disminuye con el contenido de asfalto. Una vez alcanzado el nivel óptimo se observa un crecimiento mucho mayor. Los límites que se especifican para los vacíos corresponden al límite superior a la necesidad de evitar la fisuración por fatiga y el inferior a evitar la exudación, dándole suficiente espacio al asfalto para que se expanda sin exudar.

Por otro lado, el límite superior de la RBV corresponde a limitar la fluencia de la mezcla y el límite inferior al contenido de asfalto mínimo.

El VAM es igual a la suma de los vacíos más el volumen ocupados por el asfalto. Por esta razón se observa que es alto para bajos contenidos de asfalto ya que los vacíos de aire predominan. También es elevado para alto contenidos de asfalto por lo que se mencionó sobre la variación de densidad. En el contenido óptimo llega a su mínimo ya que el acomodamiento de partículas es más eficiente.

Por último se debe comentar que el VAM es sensible tanto a granulometrías propensas a la segregación, agregados lajosos y pequeñas variaciones de cemento asfáltico.

Figura 4.26-Curvas de parámetros volumétricos y estructurales en función de contenido de asfalto



% C. A. OPTIMO ADOPTADO 5,2%

4.7.6.4-Método de selección de porcentaje óptimo

Se debe tener en cuenta las siguientes condiciones para seleccionar el contenido óptimo. Debe corresponder a la máxima densidad. Se asegura la máxima compacidad de manera análoga a una curva de máxima densidad seca en compactación de suelos. En la rama de bajos contenidos de asfalto el ligante es insuficiente y no lubrica suficientemente las partículas para su mejor acomodamiento mientras que para altos contenidos los vacíos son rellenados por el cemento asfáltico que tiene menor peso específico que los agregados.

El porcentaje óptimo debe ser con el que se obtenga la máxima Estabilidad o cercana a ella. Esta se asocia con la mayor resistencia estructural. Además se tiene en cuenta que se debe alcanzar una fluencia mínima que asegura el comportamiento reológico del cemento asfáltico. Luego se verifica la relación Estabilidad Fluencia que asegura un comportamiento rígido que provocara fisuras por más que la fluencia cumpla con el valor establecido.

Por último el contenido de asfalto debe cumplir tanto con el requisito máximo como mínimo de vacíos en la mezcla. Este se debe a las complicaciones asociado como la exudación y falla por fatiga.

Es importante mencionar que la entidad internacional C.P.A. (Comisión Permanente del Asfalto) recomienda hacer el procedimiento inverso. Es decir partir del porcentaje óptimo de vacíos. En este caso sería partir de vacíos igual al 4% (si el entorno limite corresponde a 3% y 5%) y luego verificar VAM, RBV para finalmente comprobar los valores de Densidad, Estabilidad Fluencia y REF.

En el caso de aplicación se seleccionó la cantidad óptima según el segundo método explicado. El alumno no participo ya que el dosaje ya estaba realizado antes de su ingreso. De igual manera se detalla ya que los fundamentos teóricos son base para el desarrollo de este informe. También se realizan comentarios de la influencia del dosaje realizado sobre los resultados obtenidos durante la producción.

En las tablas 4.10 y 4.11 podemos observar las exigencias para la carpeta rodamiento de la Obra : Repavimentación de Ruta Nacional N° 38 y los parámetros obtenidos para la cantidad óptima de ligante respectivamente.

Tabla 4.10-Exigencias de mezcla asfáltica carpeta para carpeta de rodamiento. Fuente: PETP DNV. Obra: Repavimentación RN N°38

- Fluencia: 2,0 mm a 4,5 mm
- Vacíos: entre 3 % y 5 %
- Relación betún / vacíos: entre 70 % y 80 %
- Relación C / Cs ≤ 1
- Estabilidad: > 1000 kg

Tabla 4.11- Parámetros de mezcla asfáltica correspondientes a cantidad óptima de ligante

Parámetro	Valor
Densidad aparente (g/cm ³)	2,460
Densidad Rice (g/cm ³)	2,565
Vacíos (%)	4,1
V.A.M. (%)	17,25
Relación betún / vacíos (%)	74
Estabilidad Marshall (kg)	1450
Fluencia (mm)	3,4
Relación Estabilidad / Fluencia (KG/CM)	4265
Ensayo de Ahuellamiento (Wheel Tracking Test)	A PRESENTAR

4.7.6.5-Análisis de parámetros y sus inter-relaciones

Es importante hacer una revisión de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio. Para esto es necesario comprender como interaccionan unos con otros además del proceso de elaboración de la mezcla asfáltica y su método de aplicación. A continuación se detallan algunos aspectos que se comprobaron durante la ejecución de la práctica supervisada mediante experiencia. Estos conceptos se basan en la comprensión de los distintos fenómenos como ya se ha dicho, junto con los conocimientos teóricos aprendidos en la materia "Transporte III". Se aplican los conceptos mencionados con respecto a la interacción de parámetros volumétricos y estructurales en una mezcla asfáltica.

Estos análisis son de gran ayuda durante los procesos de dosajes de nuevas mezclas asfálticas, análisis de resultados diarios y semanales de la producción de mezcla asfáltica correspondientes a una "Fórmula de Obra" y control de mezcla asfáltica puesta en obra. Con estos resultados se debe presentar soluciones acorde a cada caso para asegurar la calidad de la construcción. Por otro lado, este registro de información permite analizar y predecir el funcionamiento en servicio de la estructura durante su vida útil.

Los siguientes escenarios son más probables durante el proceso de dosificación ya que no se menciona la incidencia de cambios en el contenido de asfalto con respecto al óptimo.

Alta Estabilidad-Bajo porcentaje de vacíos:

Se debe alejar la curva granulométrica de la mezcla de la curva de máxima compacidad teniendo en cuenta la posibilidad de disminuir la proporción de áridos provenientes de

la trituración y aumentar la proporción de finos de origen natural (Arena silíceo) y de filler.

Estabilidad Requerida – Bajo porcentaje de vacíos:

Se debe abrir la mezcla variando la granulometría. Se aleja la curva de la máxima densidad (Curva de Fuller) aumentando el porcentaje de material fino de trituración.

Baja estabilidad – Bajo porcentaje de vacíos:

Se debe descartar que la causa sean los agregados. Se debe evitar nuevamente la curva de máxima densidad pero intentar aumentar la proporción de material triturado para mejorar la resistencia friccional.

Estabilidad requerida- Alto porcentaje de vacíos:

Caso contrario al ya explicado. Se debe acercar la curva granulométrica a la de máxima densidad.

Baja estabilidad- Alto porcentaje de vacíos:

Aproximar la curva a la de máxima densidad. Aumentar la proporción de áridos triturados. En este caso particular puede ser conveniente aumentar la cantidad de filler para rigidizar el ligante y al mismo tiempo rellenar los vacíos.

Alta estabilidad – Baja Fluencia:

Aumentar la proporción de finos naturales no triturados para disminuir las características friccionales que pueden causar este aumento en la estabilidad. Por otro lado debe verificarse la posibilidad de que se tenga un exceso de filler. Si este supera la concentración crítica se puede rigidizar al ligante generando un aumento en estabilidad y disminución de la fluencia.

Baja estabilidad – Baja Fluencia:

Es el caso más alarmante ya que esa mezcla no cumple con ningún parámetro de buen funcionamiento estructural. Se deben verificar todos los factores. Comenzando desde la calidad de áridos, pasando a la granulometría y su compacidad, hasta la calidad del cemento asfáltico.

Trabajabilidad / Índice de compactibilidad:

Cuestión a tener en cuenta ya que afecta los espesores logrados en obra. Lo que puede provocar una inviabilidad económica por colocar mayor espesor al necesario o un espesor insuficiente provocando consecuencias estructurales como fisuración temprana. Esto es causado por exceso de agregado triturado o falta de agregado fino natural que es el encargado de brindar deslizamiento para el acomodamiento de los agregados.

Falta de adherencia:

Se puede detectar mediante inspección visual o en la estructura ya colocada. La consecuencia es el “despintado” de los agregados por una falta de afinidad físico-

química con el cemento asfáltico agravado por contacto con agua y el tránsito. Esto puede predecirse si se conoce el origen petrológico de los agregados y se confirma con un ensayo de adherencia. La solución más conveniente es cambiar de agregados aunque es común la práctica de utilizar aditivos que mejoran esta adherencia y además fortalecen las fuerzas de cohesión mejorando la calidad de la mezcla asfáltica.

4.7.7-Controles a realizar durante la producción, el transporte y la colocación

A continuación se hace mención de los controles a realizar en obra sobre la mezcla asfáltica. Esto es de importancia ya que debe comprenderse que todos los resultados obtenidos en ensayos durante la etapa de dosaje deben trasladarse en primer lugar a la elaboración en planta. En esta etapa se presenta un gran salto del volumen de material con respecto al laboratorio. A pesar de esto si en laboratorio se trabajó con muestras representativas se debería obtener resultados razonables si se hace una comparativa. Cuando se dice razonables es porque existen ciertos agravantes como por ejemplo si la planta pertenece a las de tipo continua o por pastones. Estas cuestiones ya sea han descrito en el funcionamiento de la planta y podemos mencionar otras condiciones como ser la humedad de los áridos o la segregación tanto en zona de acopios como en las distintos procesos internos de la planta.

Aclarado esto, se debe tener en cuenta que, por más que la calidad de la mezcla asfáltica sea excelente al salir de la planta, es importante respetar buenas prácticas ya que descuidar ciertos factores pueden producir que la estructura final no cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en los pliegos. Esto también va acompañado de una capacidad estructural menor a la exigencia de servicio produciendo el fallo de la misma antes de tiempo. También se pueden dar un mal terminado de la mezcla asfáltica conduciendo a una incapacidad para cumplir con su función. Esto puede ser por exudación de cemento asfáltico o una superficie de rodamiento que no cumpla con la fricción necesaria a causa de una segregación del material puesto en obra.

Las tareas realizadas en obra fueron las siguientes:

- Fresado de pavimento existente
- Sellado de fisuras
- Bacheo
- Preparación de la superficie
- Riego de liga
- Distribución de la mezcla asfáltica
- Compactación

Temperatura de la mezcla

Como se ha visto en capítulos anteriores, la temperatura es fundamental para permitir un correcto comportamiento de la mezcla asfáltica. Las mismas responden a las mismas temperaturas que se utilizan para mezclado y compactado en laboratorio. Por este motivo debe controlarse la misma desde que sale de planta hasta que es compactada en obra.

En primer lugar el transporte debe ser mediante camiones con lonas convenientemente colocadas para evitar toda circulación de aire evitando la pérdida de temperatura durante el traslado y envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica. La pérdida es mínima pero si el traslado demora mucho la temperatura desciende más de lo admisible se deberá descartar el material.

Una vez en obra se debe controlar que la temperatura sea lo suficientemente elevada para pueda compactarse y alcanzar las densidades requeridas como se observa en la Imagen 4.23.



Imagen 4.23- Control de temperatura en obra

Preparación de superficie

Con respecto al riego de liga podemos mencionar lo siguiente:

- La emulsión debe ser suficiente en cantidad y estar distribuida de forma uniforme para garantizar adherencia total entre ambas capas estructurales. Si esto no se cumple sucede que por más que la mezcla asfáltica y el método de colocación sean aceptables no existirá un comportamiento estructural en conjunto llevando al fallo temprano. En la Imagen 4.24 se observa riego de liego sobre una superficie fresada.
- Debe respetarse tiempo de rotura por las mismas razones que se mencionó y además porque que la presencia de agua es perjudicial.

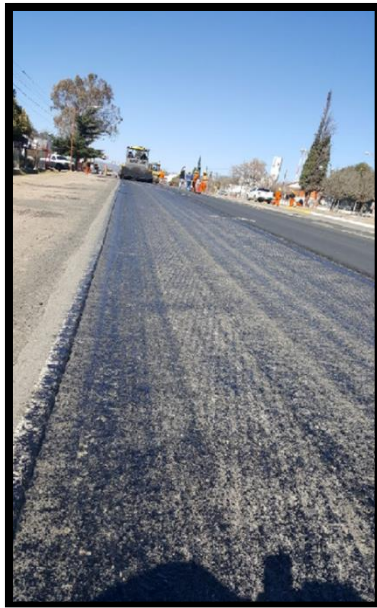


Imagen 4.24-Preparacion de superficie

Distribución de la mezcla

La segregación es un factor importante a controlar ya que cuando se realizó el dosaje se estipuló una cierta granulometría que es la encargada de conferirle las propiedades mecánicas a la mezcla. Por consiguiente se debe controlar la misma controlando un buen rastrillado del material, evitando la práctica de dispersión mediante pala manual y la segregación que se puede producir en la parte frontal de la terminadora. La eliminación de partículas gruesa ubicadas en la superficie deben ser extraídas mediante rastrillado como en la Imagen 4.25 y reemplazadas por partículas finas para obtener una buena terminación superficial.



Imagen 4.25-Distribucion de mezcla asfáltica con rastrillado

Proceso de compactación:

En primer lugar se debe definir el método de compactación en un tramo de prueba que en el que se quiere realizar el pavimento según la mezcla asfáltica y la capa a realizar. Esto quiere decir que equipos y la cantidad y distribución de las pasadas que realiza cada uno. El método tiene como fin conseguir la densidad exigida y una buena terminación superficial.

Una vez definido esto se controla las pasadas en obra en conjunto con los controles comunes realizados sobre los rodados de los distintos equipos para evitar la adhesión de la mezcla asfáltica en ellos, como se observa en la Imagen 4.26. Hay que tener en cuenta que la mezcla asfáltica puede no llegar en condiciones ideales (pequeñas variaciones los parámetros volumétricos) desde planta. En este caso se debe actuar acorde variando las pasadas, utilizando la mezcla para bacheo o descartándola si correspondiese.



Imagen 4.26-Control de rodados de compactación

Finalmente debe remarcarse la importancia de la inspección visual de la mezcla asfáltica. Esta práctica permite realizar correcciones sin la necesidad de realizar ensayos. Además hay que tener en cuenta que los trabajos y controles en obra y en planta deben pertenecer a un proceso de retroalimentación. Cada sector debe informar todas las cuestiones mencionadas para permitir las correcciones si hacen falta en cada una o para permitir el trabajo en conjunto para mejorar el rendimiento y calidad de la obra.

5-CONTROL DE CALIDAD Y METODOS ESTADISTICOS

5.1-INTRODUCCION

En este capítulo se describen procesos, métodos y herramientas estadísticas que tienen como objetivo brindar un control y seguimiento de un proceso productivo. Estos son muy permiten analizar ensayos de manera global e identificar problemáticas imposibles de detectar si solo se limita el foco del análisis a ensayos de manera individual. El objetivo de este Informe es proponer y utilizar estos conceptos para la producción de mezclas asfálticas. Para llegar a este fin se usa como referencia un caso análogo de ejemplo. Este es la elaboración de hormigón en planta hormigonera. La producción de este material, también muy usado en la construcción, es una buena aproximación al proceso a estudiar y por lo tanto se explica su metodología para poder usarla como base para el análisis de la mezcla asfáltica.

En primera instancia se habla de la variable de estudio de hormigones que es la resistencia a compresión simple y como esta se distribuye normalmente. Seguido a esto se explica cómo influye la selección de la resistencia buscada durante el dosaje. Finalmente se enumeran las distintas herramientas que se utilizan en el control estadístico de los procesos de este material y sus fundamentos teóricos. En el próximo capítulo se usará estas herramientas y conocimientos para ser adaptados a la mezcla asfáltica la cual tiene más variables de estudio y la inter relación entre las mismas complejiza el análisis y la aplicación de estos métodos.

5.2- ANALOGÍA CONTROL ESTADISTICO HORMIGONES

En sentido general se puede decir que el proceso de elaboración es similar al de mezclas asfálticas. Esto se puede decir ya que ambos consisten en el mezclado de agregados con un ligante en una planta. Una vez conformada la mezcla estos son transportados a obra para su colocación. Por otro lado ambos obedecen a un proceso de dosaje con busca de satisfacer diferentes especificaciones técnicas por lo que implican un control de calidad diario a pie de planta para garantizar que el material mantiene dichas condiciones.

Los hormigones son caracterizados por su resistencia a compresión simple únicamente, a diferencia de mezclas asfálticas que poseen más parámetros y por ende más especificaciones técnicas. Esto se debe a su rol que presenta en estructuras en general y a partir de esta resistencia es que se determinan dimensiones y demás características de las piezas estructurales de hormigón simple o de hormigón armado.

Para llegar a dichas resistencias se varían las cantidades de los componentes del mismo. Los hormigones estructurales convencionales están compuestos por piedra triturada, arena silíceo, cemento y agua. Para elevar las resistencias del hormigón en su estado final luego del fraguado se necesita el aporte de mayores cantidades de cemento, bajas relaciones agua cemento, cementos de mayor calidad, agregados que colaboren en menor medida con los anteriores. Para llegar a un producto adecuado, en especial para estructuras de hormigón armado cuya vida útil es muy superior a la vida útil de pavimentos y cuyo buen comportamiento en servicio es más importante para la seguridad de usuarios.

En fin el control de calidad de hormigones elaborados en planta es un proceso más desarrollado, ya que incluye métodos estadísticos que aseguran que un porcentaje del total de las probetas respondan a la resistencia especificada. Como se analiza en el apartado correspondiente, esto no sucede de una manera explícita en mezclas

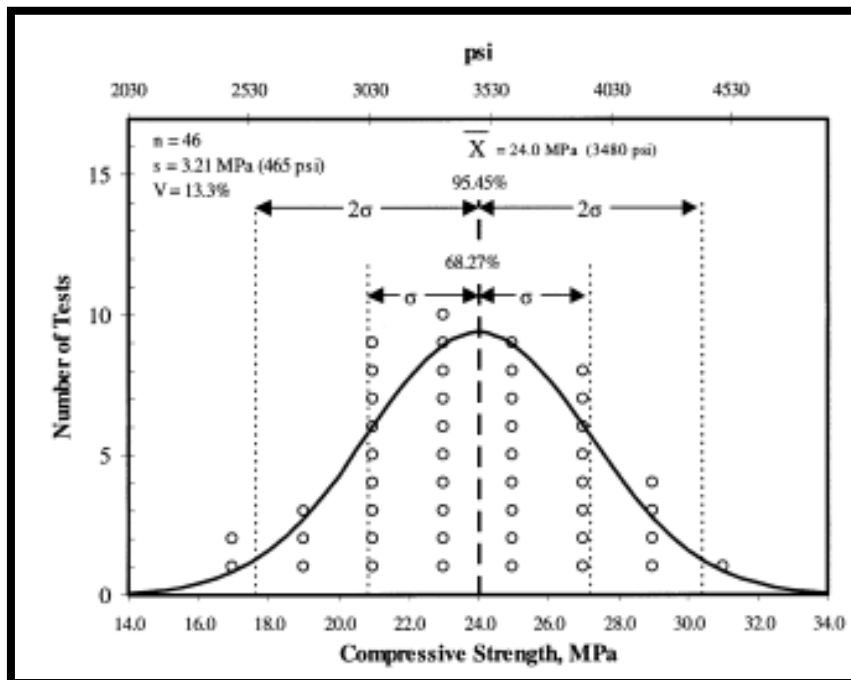
asfálticas. En estas, como se observó en el capítulo anterior solo se evalúa si cumple o no con los valores límites y se hacen los ajustes necesarios para corregir dichas variaciones. Tanto para hormigón y mezclas asfálticas se suele tomar muestras en forma periódica, la cual debe ser representativa, se la ensaya y se la compara con lo que establece la especificación. Si ese material está dentro de las tolerancias fijadas, se da por aprobado y si no lo hace, se lo rechaza.

El concepto que se tiene en cuenta para ambos materiales es el concepto de lotes donde la muestra es considerada representativa del mismo. Para verificar esto ambos materiales poseen normativas en las que se debe asegurar una variación mínima entre muestras del mismo lote descartando las que superen cierto porcentaje de discrepancia. En hormigones se basa en el concepto de lotes consecutivos cuestión que no se aplica en mezclas asfálticas.

En hormigones se considera a la población de resultados de compresión simple que está distribuida de forma normal y caracterizada por una media y una varianza. A continuación en la Figura 5.1 podemos observar el ejemplo de una población de muestras de hormigón ensayadas a compresión simple.

De esta forma se llega a la conclusión que al aplicar estos procesos estadísticos se puede diferenciar cuando una variación en su parámetro de estudio es debida a una variabilidad natural y no necesariamente catalogar a un ensayo como deficiente.

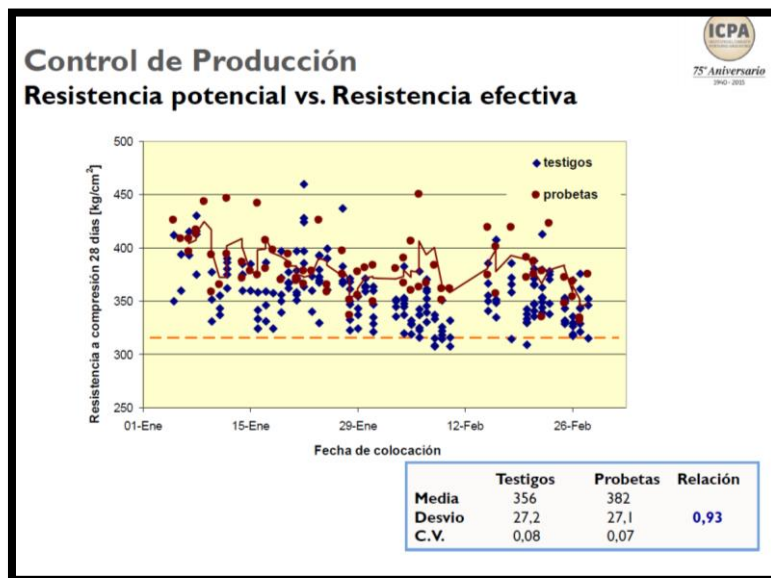
Figura 5.1- Ejemplo de distribución normal aplicado a hormigones . Fuente: ACI Committee



Se puede explicar la variación de resultados en ensayos que teóricamente representan a la misma población o lote por algunos motivos como los siguientes :

- Método de ensayo
- Persona que realiza el ensayo
- Heterogeneidad de materiales componentes
- Extracción de muestreas
- Método de elaboración del material
- Se debe recordar que resultados obtenidos son medida de una resistencia potencial ya que la resistencia alcanza en obra puede ser mayor o menor según métodos de ejecución como se observa en la Figura 5.2. Este concepto también se aplica a mezclas asfálticas en las que las densidades Marshall obtenidas en laboratorio difieren de la densidad medida en testigos.

Figura 5.2- Comparación entre resistencia potencial y resistencia efectiva. Fuente : ICPA



5.2.1-Resistencia característica

Se define como el valor de la resistencia a 28 días por debajo de la cual, se espera que caiga el 10% de la población de todas las determinaciones posibles, del volumen de hormigón en estudio.

Es de gran importancia destacar que rol juega el proceso de dosificación en este sistema estadístico para control de calidad. Cuando se diseña un hormigón se determina la cantidad adecuada de componentes para llegar a la resistencia requerida. Como se ha mencionado, se dice que el hormigón presenta una distribución normal de resistencias. Por este motivo sería erróneo diseñar un hormigón cuya resistencia especificada sea el valor medio de dicha distribución. Por lo tanto la dosificación utilizada como resistencia de diseño es una de valor superior que como se ve en la figura depende de la variabilidad del hormigón elaborado. Esto es una consecuencia de distintas formas a proceder durante la elaboración en planta. Esta variación se puede definir por un método en que se establece desvíos según la resistencia a obtener con los valores mostrados en la Tabla 5.1, o se puede obtener si es que se posee resultados

existentes de pastones realizados anteriormente en dicha planta en conjunto con el tipo de operación de la misma con los valores indicados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1- Resistencia de diseño de hormigones en función de resistencia especificada. Fuente : ICPA

Resistencia de diseño de la mezcla cuando no se conoce la desviación estándar para hormigones sin armar y armados

Resistencia especificada (f'_c) MPa	Resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr}) MPa
Igual o menor que 20	$f'_c + 7,0$
Mayor que 20 y menor que 35	$f'_c + 8,5$
Mayor que 35	$f'_c + 10,0$

Tabla 5.2-Desviación estándar según método de elaboración y control

Desvíos estandar típicos para distintas condiciones de elaboración y control

Condiciones de elaboración - Medición de componentes				Desvío estandar
Cemento	Agua	Agregados	Aditivos	MPa
en peso	en peso o volumen con precisión, descontando aporte de agua de los agregados	en peso con corrección por humedad y absorción	en peso o volumen con precisión	4,0
en peso	en peso o volumen con precisión, descontando aporte de agua de los agregados	en volumen, ajustando por humedad y esponjamiento	en peso o volumen con precisión	5,5
en peso (por bolsas enteras)	por volumen, ajustando por la cantidad necesaria para mantener constante la consistencia	en volumen	No recomendado	7,0

5.2.2-Dispersión en probetas compañeras

Otro concepto importante dentro del control de calidad de hormigones es la representatividad de las muestras y las exigencias en ensayos para asegurar esta condición. Se debe hacer una verificación de la dispersión de resultados de la muestra perteneciente a un pastón. Para esto la misma está limitada para los resultados de compresión de probetas compañeras. Si la dispersión es superior a la especificada se tiene que descartar la muestra por esta no ser lo suficientemente representativa.

5.2.3-Medias móviles

Consiste en evaluar la resistencia a compresión mediante un proceso continuo. Se evalúan 3 muestras consecutivas y su promedio. El mismo debe ser mayor a la resistencia especificada más un cierto margen que depende de la cantidad de muestras y el hormigón analizado. Este procedimiento permite analizar en desarrollo cronológico de la resistencia y detectar problemáticas sistemáticas que no son apreciadas si se hace un análisis determinístico binario en que la muestra de un lote cumple o no cumple con las especificaciones.

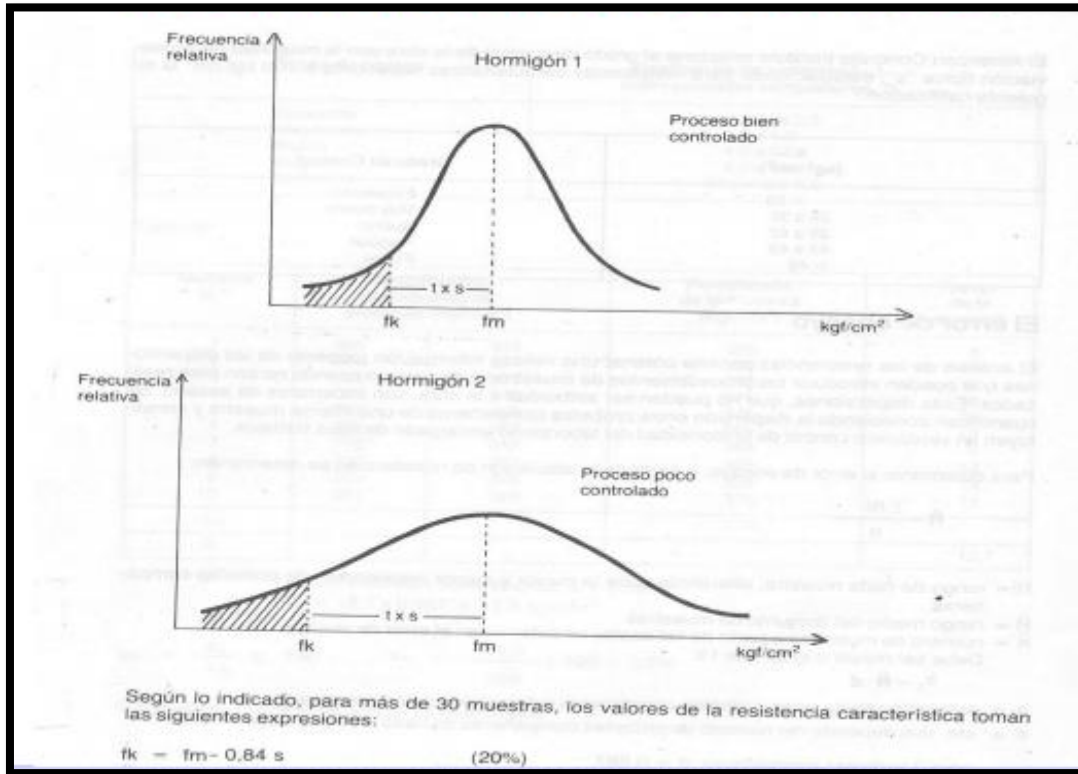
Además del control de valor promedio también se evalúa la dispersión de probetas pertenecientes a un mismo lote y un valor mínimo individual para cada probeta mayor a la resistencia especificada.

5.3 MÉTODOS DE CONTROL ESTADISTICO

Se propone la utilización de una metodología llamada control de procesos la cual se explica teóricamente en este capítulo y es llevada a la práctica en el capítulo final en que se procesan los resultados arrojas por los ensayos sobre la mezcla asfáltica . En esta se define valor medio de una población que es considerada como distribuida normalmente y unos límites de control inferior y superior. Si bien en este caso es aplicada al entorno de la construcción este método y otras variantes son aplicables a cualquier proceso productivo especialmente en el ámbito industrial. En la Figura 5.3 podemos ver el caso aplicado a hormigones cuya zona restringida es solo inferior a un valor mínimo que depende del valor medio y del desvió de la distribución normal adoptada. En el caso de mezclas asfálticas se tiene dos zonas restringidas como se explica en el capítulo correspondiente. Acto siguiente, se utilizan cartas de control de calidad en las que se grafica los valores obtenidos para cada ensayo y los rangos considerados. Cuando los valores se encuentran dentro de los mismos se considera que el proceso está bajo control y cuando los superan se dice que esta fuera de control. Se debe prestar atención a las causas, ya que estas pueden ser fijas o variables.

Variables se llaman a aquellas que debido a su variabilidad natural como en nuestro caso es la granulometría, la humedad de los agregados, sus pesos específicos , la velocidad de bombeo de cemento asfaltico en el horno mezclador, la temperatura de mezclado, entre otras. Por otro lado tendremos las causas fijas, estas pueden ser algún fallo sistemático que puede provocar el corrimiento de la media o variaciones puntuales de gran magnitud. Estas últimas son las que se infieren mediante este método estadístico y son las que se deben solucionar.

Figura 5.3- Zona de valores restringidos en una distribución normal. Fuente ICPA



Por ultimo otro factor a tener en cuenta son los errores que pueden surgir por la naturaleza del método. Es decir catalogar una variable como fuera de control cuando esto no es así provocando la búsqueda de una problemática cuando esta no existe. O lo inverso, que provocaría tener un proceso fuera de control y no hacer nada al respecto.

5.3.1-Limites de control

Media conocida de la población: Se utiliza en procesos en que la media pueda ser estimada si se comprende y se tiene suficiente información del funcionamiento de elaboración del producto. En el caso de mezclas asfálticas esto es aplicable ya que el proceso de dosificación establece el valor promedio de los distintos parámetros que definen la mezcla asfáltica.

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de tamaño n del proceso de interés. Dado que por hipótesis $X_i \sim N(\mu, \sigma)$, la media muestral es:

$$\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Se cumple que la probabilidad de $|\bar{X} - \mu|$ sea menor que $\frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$:

$$P\left(|\bar{X} - \mu| < \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0,9974$$

Es decir la probabilidad de que un valor de la serie de datos en estudio se encuentre dentro de los límites de control definidos por $\frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$ es muy elevada si es que la muestra de la población es similar a la muestral.

Desviación estándar conocida de la población: Mas aplicable en caso en los cuales el desvió de la magnitud de estudio es igual o más importante que el valor medio. Podría ser de aplicación en parámetros en los cuales la norma nos exige una tolerancia. Esto se da en los ensayos de granulometría y de contenido de asfalto.

Media y desvíos desconocidos: Se recurre a utilizar límites tentativos de control, estos son cambiados de acuerdo a valores que arroje el proceso hasta lograr una estabilización.

5.3.2-CUSUM – Sumas acumuladas

Método alternativo aplicado en Hormigones elaborados con cartas de control .Mide el comportamiento relativo a las intenciones de diseño. Compara los resultados con valores objetivos y determina si son consistentes con los niveles requeridos. Como ventajas tiene que es excelente para detectar cambios y consiste simplemente en un gráfico de la suma de la característica de un proceso con el tiempo. Es más sensible en detectar cambios en las magnitudes que se experimentan durante la producción del hormigón. En la práctica se pueden tomar decisiones confiables con pocos resultados.

Analizando las cartas de control puede observarse la tendencia de los resultados e identificar la pendiente del gráfico. Estas se pueden utilizar para determinar las magnitudes de las propiedades, por ejemplo, resistencia media y desviación estándar. La ubicación de los cambios en las pendientes de los gráficos, indican aproximadamente cuándo ocurrieron los cambios. Estos reflejaran cambios tanto en la elaboración del hormigón en planta como en los resultados de laboratorio.

Este método es muy sensible a cambios en el valor medio de la población por lo que esta debe ser lo más real posible. Por otro lado también debe contarse con una muestra suficientemente grande.

$$\varepsilon_i = \bar{X} - X_i$$

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N \bar{X} - X_i \cong 0$$

Las desviaciones de resultados individuales tienen una distribución normal. Por otro lado si el proceso es estable la sumatoria de los mismos será igual a 0 .

Si la causa asignable es constante, la suma de ε_i varía en una forma lineal. Esto se observa gráficamente en las representaciones gráficas realizadas.

Un cambio en la pendiente del gráfico indica una diferencia en la resistencia promedio a partir del valor supuesto. Una vez que se detecta la tendencia, se deben efectuar análisis posteriores para el gráfico del CUSUM y de los ensayos del hormigón, así como

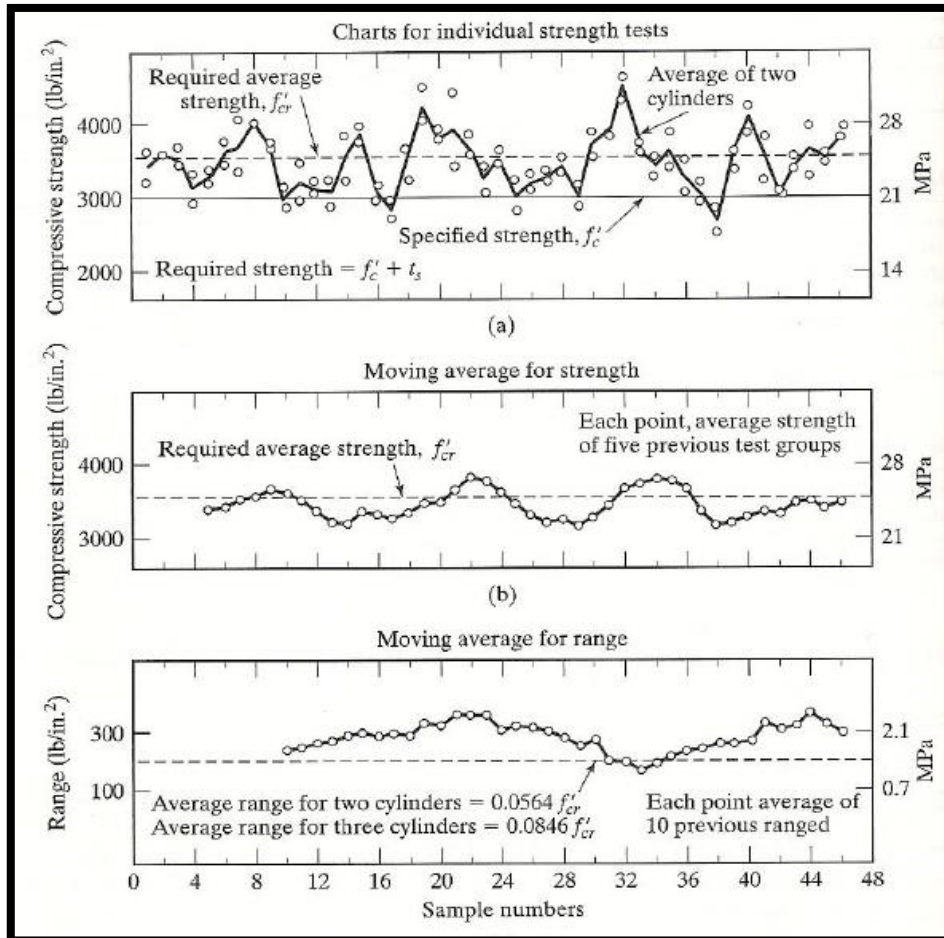
su manipulación, los materiales, su producción y el ambiente, para determinar la probable causa del cambio.

Tanto este método como el de límites de confianza o de control son aplicables mediante gráficos llamados "Cartas de control".

5.3.3-Cartas de control

Son herramientas estadísticas destinadas a distinguir variaciones de procesos por causas comunes y alteraciones por causas puntuales. Donde las últimas son aquellas las que deben ser analizadas desde un punto de vista técnico y resueltas. Son de uso continuo y constantes en el tiempo. Razón por la cual son gráficos en que los resultados se representan de manera cronológica. De esta manera se cumple el objetivo de tener un proceso productivo estable donde las variabilidades son predecibles y propias de dicho proceso. A continuación se describen distintos tipos de cartas de control aplicables a controles de calidad de hormigones. Podemos observar algunos ejemplos en la Figura 5.4 que son detallados en los párrafos siguientes.

Figura 5.4- Cartas de control para aplicación de métodos estadísticos. En el primer gráfico se utilizan valores individuales, en el segundo medias móviles y en el último sumas acumuladas. Fuente: ACI Committee



En primer lugar observamos un gráfico simplificado en el cual se grafican los resultados individuales de cada muestra en orden cronológico. Se controla que únicamente si se encuentran por encima la resistencia especificada. También se grafica la resistencia media correspondiente a la distribución normal como referencia. Este criterio es similar a mezclas asfálticas en el sentido de que solo se verifica si se cumple o no con lo especificado.

En la zona central, se observa una carta de control que muestra de forma gráfica medias móviles (en este caso de 5 muestras representativas). Este tipo de gráfico es similar a la tabla ya utilizada en control de calidad de hormigones que trabaja con el concepto de medias móviles. Como ventajas puede señalarse que se suaviza la gráfica en comparación al primer gráfico y que permite identificar tendencias más fácilmente. Como inconveniente se puede decir que no permite tomar decisiones rápidas ya que el hecho de tratarse de medias móviles no aporta suficiente información. Puede agregarse la resistencia especificada como referencia.

El tercer gráfico corresponde a la representación gráfica de las variaciones de cada resultado individual con respecto a la media. Estas variaciones se representan de forma acumulada y en orden cronológico. Esta carta control es la aplicación del método de Sumas Acumuladas (CUSUM).

Como se ha mencionado previamente, sino existen cambios en la media el resultado de la sumatoria de los rangos será igual a 0. Caso contrario, se observa un desfase con respecto a la media igual a δ . Por otro lado N es la cantidad de muestras totales y m es la muestra donde inicia la variación

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (\bar{X} + \delta) - X_i \cong (N - m)\delta$$

Se puede observar en la fórmula de manera analítica la ecuación de una recta con pendiente. Esto implica un cambio en la media por cualquier causa. Cuando esto sucede se puede apreciar dicha situación observando la generación de una pendiente en el gráfico. Seguido a eso es necesario tomar decisiones acorde a un análisis particular luego de determinar la posible causa o causas responsables. Aplicando un enfoque estadístico en conjunto a un análisis técnico también es posible aplicar Métodos de pruebas de Hipótesis para descartar falsos positivos.

Por otro lado, para poner en práctica el método es importante resaltar que mayores pendientes son causa de cambios de mayor magnitud en la variable de estudio. Mientras que pendientes prolongadas durante muchos ensayos indican que la existencia tendencia es muy probable.

6-CONTROL ESTADISTICO DE ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA

6.1- OBJETIVO

En ese capítulo se realiza el vínculo entre conceptos teóricos sobre metodologías y herramientas estadísticas y los resultados recolectados de los ensayos de los parámetros de la mezcla asfáltica elaborada en caliente en la planta asfáltica de la empresa. Para esto es necesario tener en cuenta la analogía realizada con el ejemplo de la producción de hormigón y las inter relaciones entre las propiedades de una mezcla asfáltica. La principal diferencia entre ambos productos elaborados es que el hormigón

solo posee un parámetro utilizado para el estudio estadístico: La resistencia a compresión simple.

Mediante el uso de los datos obtenidos de los ensayos diarios pertenecientes a los meses de Agosto, Septiembre y Octubre se procedió a realizar un estudio sobre el control de calidad de la mezcla asfáltica con asfalto modificado aplicable a carpeta de rodamiento. Para ello se basó en el concepto general, que es aplicado en la producción de Hormigones, el cual establece que las probetas moldeadas siguen una distribución normal de probabilidades cuya media no es la resistencia a compresión especificada. Sino que la media corresponde a una resistencia superior y es función de la dispersión (desvío) de la campana de Gauss, esto se hace de tal manera que la resistencia especificada se encuentre en la "cola" de la curva dando como resultado que el 90% de las probetas superen su valor. Con esta premisa se busca obtener un rango de valores de una distribución normal comprendidos entre un límite superior e inferior que englobe una cantidad especificada, 90 por ciento en el caso de un hormigón, de muestras que cumplan con las especificaciones técnicas del pliego.

6.2- METODOLOGÍA

La principal diferencia a tener en cuenta es que en contraposición con hormigones los pliegos exigen un cierto nivel de calidad en más parámetros característicos de la mezcla los cuales aseguran un buen comportamiento en servicio, otro aspecto a tener en cuenta es que estos dependen uno de otro lo que genera un sistema complejo en contraposición con la Resistencia a compresión simple que es el principal parámetro de control en elaboración de hormigón.

La metodología seguida en este capítulo consiste en generar una población lo con la cantidad suficiente de muestras para aproximar dichos resultados a una distribución normal igual que en el estudio de hormigones. De cada muestra se tienen en cuenta los parámetros que se enumeran a continuación en la fórmula de obra en primera instancia. Posteriormente se agregan valores que representan la aptitud de la granulometría. Acto posterior, se define una variable de estudio la cual es graficada en el eje de abscisas para realizar un gráfico análogo al de hormigones. En este caso se selecciona la Densidad Marshall en el lugar de la Resistencia a compresión simple.

De forma similar se genera un sector central en la curva de Gauss que englobe una cierta cantidad de ensayos con valores aceptables. Estos valores incluyen todos los demás parámetros de la mezcla asfáltica y si se encuentran entre las tolerancias exigidas. En primera lugar se usa una serie de datos que incluyen muestras previas al inicio de la práctica. Luego se añaden más resultados que vinieron acompañados con nuevos controles y cambios positivos tanto en el proceso productivo como en el control.

En última instancia se procede a generar cartas de límites de control y de sumas acumuladas también aplicables en el análisis estadístico de hormigones. Estas se realizaron posteriormente a los ensayos obtenidos, cuestión que va en contra de su aplicabilidad. Sin embargo, se las realizó con la intención de probar su utilidad en retrospectiva. Evaluando cambios imperceptibles si se evalúan los ensayos de manera individual ya que permiten detectar patrones y cambios en los resultados que responden a variaciones naturales y no producidas por algún desperfecto en la planta o en los ensayos.

6.3- FORMULA DE OBRA

En la Tabla 6.1 a continuación se enumeran las exigencias a cumplir:

Tabla 6.1-Exigencias parámetros volumétricos y estructurales. Las densidades Marshall y Rice corresponden a los valores del dosaje

2,46 kg/cm ³	2,565 kg/cm ³	5,20%	3% - 5%	>14%	70 - 80%	>1000 kg	2mm - 4,5mm	1800 kg/cm- 4500kg/cm
D Marsh	D Rice	Asfalto	Vacios	VAM	RBV	Estabil	Fluencia	REF

Estos valores son una combinación de exigencias para carpeta de rodamiento del pliego y valores aprobados por DNV provenientes de la fórmula de obra presentada la cual también es tenida en cuenta para el análisis. La fórmula corresponde a un dosaje realizado por la empresa para distintos contenidos porcentuales de asfalto que permite obtener el contenido óptimo del mismo para la combinación de agregados propuestos por la contratista.

Granulometría de áridos

Esta responde a los entornos límites establecidos en los pliegos, su cumplimiento asegura una granulometría continua que asegura un buen comportamiento mecánico ya que permite más compacidad por el mejor acomodamiento de granos, una buena trabajabilidad ya que controla el exceso de material grueso que afecta la puesta en obra de la mezcla.

Parámetros volumétricos y estructurales

En la Tabla 6.2 se adjuntan los valores que caracterizan a la población muestral considerada. Estos provienen de una recopilación de registros diarios de ensayos de mezcla asfáltica.

Tabla 6.2-Valores medios, desvíos y Coeficientes de variaciones de parámetros volumétricos y estructurales- Muestreo N°1

2,46 kg/cm ³	2,565 kg/cm ³	5,20%	3% - 5%	>14%	70 - 80%	>1000 kg	2mm - 4,5mm	1800 kg/cm- 4500kg/cm	
D Marsh	D Rice	Asfalto	Vacios	VAM	RBV	Estabil	Fluencia	REF	
2,461	2,581	5,159	4,655	17,373	73,210	1413,524	3,530	4019,037	Promedio
0,015	0,011	0,137	0,617	0,524	3,019	146,380	0,314	443,348	Desvio
0,006	0,004	0,026	0,133	0,030	0,041	0,104	0,089	0,110	CV

6.4- SELECCIÓN DE VARIABLE DE ESTUDIO

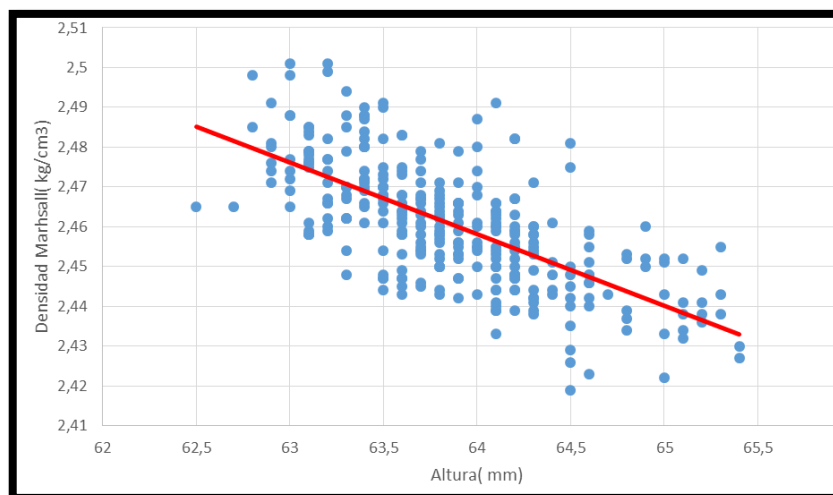
Como variable a estudiar se seleccionó la Densidad Marshall por los siguientes motivos:

- El valor promedio correspondiente a 82 ensayos es muy aproximado a la fórmula de obra y su coeficiente de variación es el menor por lo que estamos hablando de una variable homogénea.
- Su método de obtención es el más confiable y preciso en cuanto a la medición, a comparación de los otros datos disponibles. En primer lugar hubo problemas con el ensayo de recuperación Abson, por problemas con el equipo, por lo que

se utilizó la Centrifuga que no es tan confiable para obtener el % de Asfalto, este método aparte de perder finos por lo que no se utiliza la totalidad de los PT200 en el análisis. En segundo lugar hubo semanas en que la bomba de vacío no trabajaba en buenas condiciones por lo que su confiabilidad para este estudio no se considera adecuado.

- Porque su valor es el primer dato que se puede inferir con respecto a la mezcla asfáltica que se está produciendo. Esto es muy importante ya que ante una producción tan elevada en el marco temporal que se tarda en hacer correcciones es un factor importante a tener en cuenta. Esto puede hacerse mediante una regresión lineal entre altura de las probetas y la densidad Marshall. Se anexa la misma en la Figura 6.1. la cual puede complementarse con una inspección visual de la terminación de la probeta. Es posible evaluar la falta de huecos apreciables lo que indica un buen contenido de PT200 y por lo tanto una densidad adecuada que lleva a estabilidades y fluencias aceptables.
- Finalmente, analizando análogamente con respecto al hormigón, se definen dos zonas de restricción en vez de una inferior como se explicó anteriormente teniendo en cuenta la resistencia requerida a compresión de probetas de hormigón cilíndricas. En este caso se optó centrarse en la mayor densidad que está relacionada con la mayor estabilidad en mezclas asfálticas. Este valor se consideró como un buen valor central de referencia en la distribución. Con respecto a la problemática de los vacíos de aire cuya restricción es tanto superior como inferior por los problemas que conllevan infringir ambos valores de tolerancia permitida indican las zonas restringidas de la campana de Gauss.

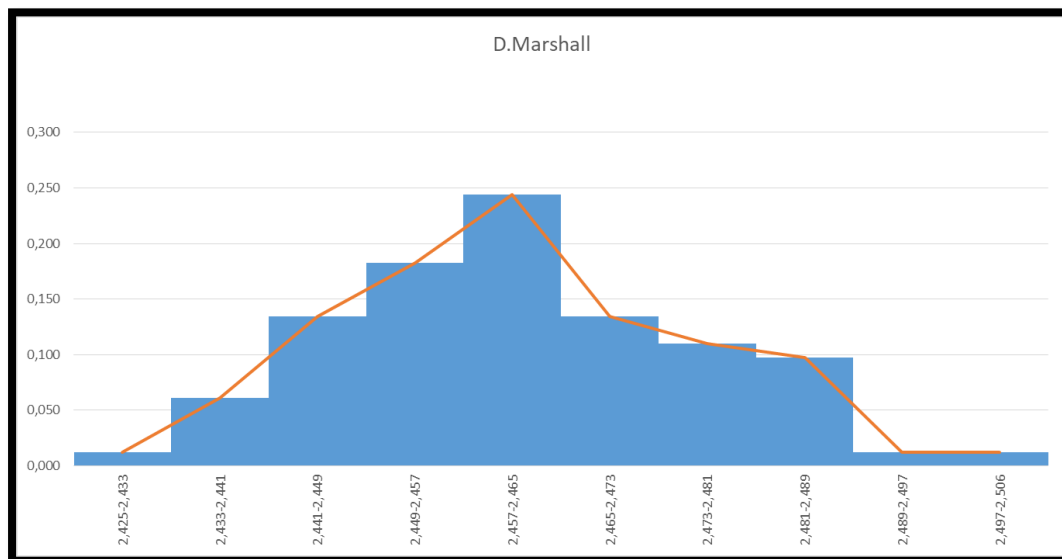
Figura 6.1- Regresión lineal- Densidad Marshall vs Altura de probetas



6.5-PROCESAMIENTO DE DATOS

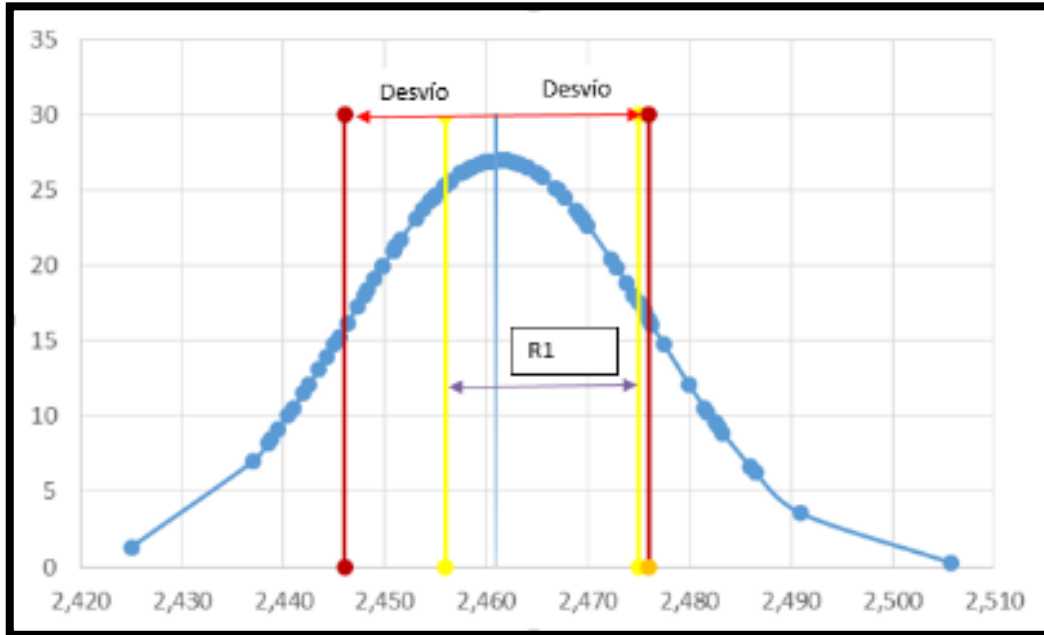
En primer lugar se ajustó la serie de datos a la siguiente distribución normal, adjunta en la figura 6.3, cuya media y desvío son los mencionados anteriormente. También se adjunta un histograma de frecuencias relativas en la Figura 6.2, el que nos indica que es un ajuste correcto y permite observar en que rangos se encuentra la mayoría de las muestras. El mismo mejoraría con la adición de más datos a la serie. A continuación se observó para que rango de valores se garantizaba el cumplimiento de todos los otros parámetros mencionados al comienzo del análisis generando así un rango R1, el cual comprende el 43% de los ensayos diarios. Como referencia se muestra el rango (media – desvío; media + desvío) que comprende el 70 % de los valores. La totalidad de las muestras y los resultados de los ensayos se detallan en la sección Anexos.

Figura 6.2-Histograma de densidades Marshall-Muestreo N°1



Se realizó un histograma de frecuencias relativas para observar como estaban distribuidas las muestras. Es decir en que rango de valores se concentró la mayor cantidad de especímenes ensayados. Teniendo en cuenta este gráfico, en el que es más fácil apreciar la concentración de datos, y la distribución normal de los mismos de la Figura 6.3 se puede observar como la mayoría de muestras aceptables no se corresponden con los intervalos del histograma que poseen mayor cantidad de datos.

Figura 6.3-Ajuste a distribución normal Muestreo N°1.
Rango (R1) de valores aceptables



Es interesante resaltar que la razón de que no se consiga un mayor porcentaje de muestras con buen valores aceptables pueden ser las siguientes situaciones ya sea individualmente o en conjunto:

- Dosaje de fórmula de obra
- Planta ,su funcionamiento, mantenimiento y operación
- Metodología de ensayos
- Calidad de los agregados
- Calidad del asfalto
- Humedad de los agregados

Con respecto a este análisis realizado hay que destacar que las correcciones de valores no aceptables fueron de carácter diario y el horizonte de análisis no superaba los 7 días en general. Además no se consideró en que porcentaje era superado cada límite de los parámetros evaluados. Esta práctica es común para mezclas asfálticas por lo que queda planteada la pregunta de si un método determinístico, es decir evaluar solamente si una muestra cumple o no con cierta especificación, con tolerancias es el adecuado para el control de calidad de mezclas asfálticas en contraposición con los métodos estadísticos más desarrollados que se usan en la elaboración de hormigones. Si bien es entendible que el hormigón se utiliza en general en estructuras que superan ampliamente la vida útil de pavimentos de concreto asfáltico. Personalmente opino que en el caso de estudio la gran causa fue la Planta Asfáltica acompañada en menor medida por los demás factores, sobre los cuales es más simple actuar.

Las muestras que presentaban valores (en especial aquellos que son de rápida obtención) fuera de lo permitido eran tenidos en cuenta para hacer una corrección

durante el proceso productivo variando velocidades de cinta, intensidad de llama en el horno, aumentado ciclos de bomba de asfalto para corregir la mezcla asfáltica. Los resultados desfavorables incluidos en el informe fueron elaborados a partir de los mencionados en primer lugar. Esto se debe a que los cambios en los parámetros se produjeron sin ninguna alteración en velocidades de cinta o fenómenos parecidos sino por una variabilidad natural.

Además, los datos expresados en estos gráficos fueron ordenados en orden creciente según el valor de densidad obtenido. Al hacer esto se deja de lado la necesidad de analizar los resultados en el marco temporal, ámbito en el cual se pueden destacar evento que hagan fluctuar los resultados. Por este motivo se analiza el uso de cartas de control. En ellas se observa patrones que funcionan de indicio para predecir variaciones en los parámetros de la mezcla asfáltica.

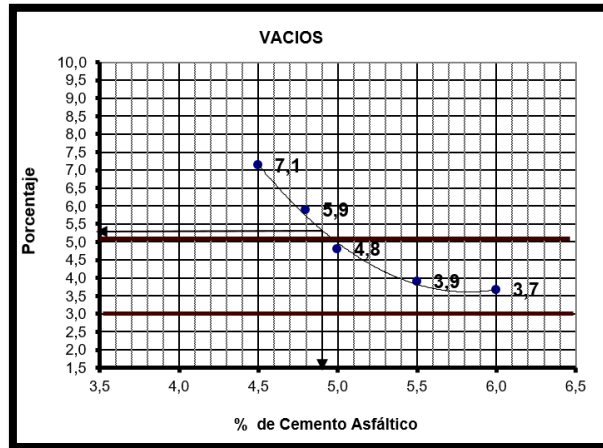
Por estos motivos se incluyen resultados pertenecientes a una segunda etapa de colecta de datos. Durante este periodo se mejora el control la planta asfáltica mediante un mayor esfuerzo de organización logística, mantenimiento de mecanismos, mejor calidad de materiales, mayor cantidad de ensayos, capacitación. Algunos de los nuevos controles para poder registrar las variaciones en la planta se plasman en la planilla adjunta en la Figura 6.4.

Figura 6.4-Planilla de control diario de operación de planta asfáltica

FECHA		HORA INICIO PURGA		CICLOS PARA 70 Tn/h												
19/09/2017				9		10,2		24,2		10		35,5				
N° CAMIÓN	CHOFER	Material	INICIO CARGA	FIN CARGA	TIEMPO	PESO BA	Tempera	PRODUCCION TEORICA	PRODUCCION REAL	CICLOS						OBSERVACIONES
										6-12	6-19	0-6	Arena	Asfalto	CAL	
1	HERRERA SAUL	AMB	06:57:00	07:23:00	0,43	30,56	179,00	70,00	70,52	10,60	10,50	24,60	10,00	34,70	15,00	
							180,00									
							185,00									
2	CARLOS PAZ	CA30	07:23:00	07:28:00	0,08	5,95	165,00	70,00	71,40	-	-	-	-	-	-	MUESTRA 1
							166,00									
							166,00									
3	ODRIGUEZ MIGUEL	AMB	07:28:00	07:54:00	0,43	31,24	175,00	70,00	72,09	-	-	24,20	-	34,70	-	
							180,00									
							176,00									

En la Figura 6.5 se encuentran representados datos pertenecientes a ensayos realizados en Noviembre, Diciembre y Enero. A comparación de la primera distribución normal obtenida. Esta tiene la mayoría de sus muestras ubicadas en el sector de menores densidades denotando una asimetría. Con respecto a los valores aceptables de este nuevo conjunto de datos se ve que estos se daban para densidades más altas. Esto se explica con más detalle más adelante ya que esta leve distorsión se da porque en el mes de Diciembre las características de uno de los agregados cambiaron. También se observa que la calidad de la mezcla aumenta para mayores densidades. En este caso el Rango 2 representado por el conjunto de ensayos que cumplen con todos los parámetros exigidos comprende el 66 %. Esta distorsión es más marcada ya que en esa ocasión solo se utilizaron 55 datos.

Figura 6.6-Grafico de vacíos en función de contenido de asfalto correspondiente a Formula de Obra



En cambio para un contenido de asfalto de 5,5% no se tiene problemas con el valor límite de vacíos. Por lo tanto puede replantearse la decisión de si la selección de 4% vacíos como la relacionada con el contenido óptimo es la mejor opción. Por otro lado se puede valorar que el porcentaje de vacíos seleccionado sea más propenso a exudación o fatiga cuando se decide que el contenido sea de 4%. Para este análisis debería estudiarse la metodología de las tolerancias ya que es posible que estas ya tengan en cuenta estas cuestiones.

6.6-CARTAS DE CONTROL

Se intenta relacionar las muestras que se encuentran fuera del rango aceptable con eventos identificados en las cartas de control. El objetivo de las cartas es detectar las variaciones y actuar cuando se crea conveniente. No es lo recomendable realizarlas sobre datos ya obtenidos como se está haciendo en este caso. Por eso se busca de demostrar la conveniencia de utilizarlas de manera cotidiana y demostrar que existe la posibilidad y conveniencia de aplicarlas. La totalidad de las muestras y los resultados de los ensayos se detallan en la sección Anexos.

6.6.1-Límites de control

Los límites de control son herramientas estadísticas que permiten establecer si un proceso productivo está bajo control. Esto significa con las variabilidades son naturales y no debidas a alguna causa significativa. En este caso se aplica la variación para poblaciones cuya media es conocida. Se selecciona esta modalidad ya que se continua trabajando con la densidad Marshall. Por último se grafica la totalidad de datos disponibles. Se trabaja con un Límite Superior y otro Inferior.

La media es μ 2,464 y los límites se calculan sumando y restando respectivamente el siguiente termino:

$$\frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde el desvío μ calculado es 0,024.

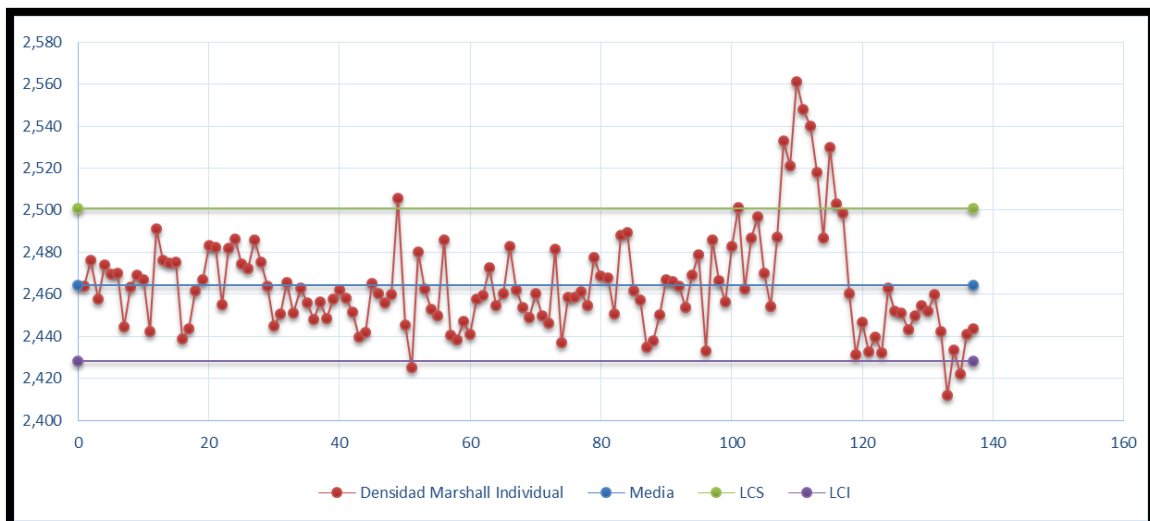
n: es la cantidad de ensayos por muestra. En el caso del ensayo Marshall se utilizan cuatro (n=4)probetas compañeras-

Obteniéndose los siguientes parámetros ,expresados en la siguiente Tabla 6.4.Con estos se realiza la carta de control de valores individuales de Densidades Marshall diarias de la Figura 6.7.

Tabla 6.4-Limites de control para Densidad Marshall

Media	2,464
Desvio	0,024
LCS	2,501
LCI	2,428

Figura 6.7-Carta de control de densidad Marshall mediante aplicación de límites de control



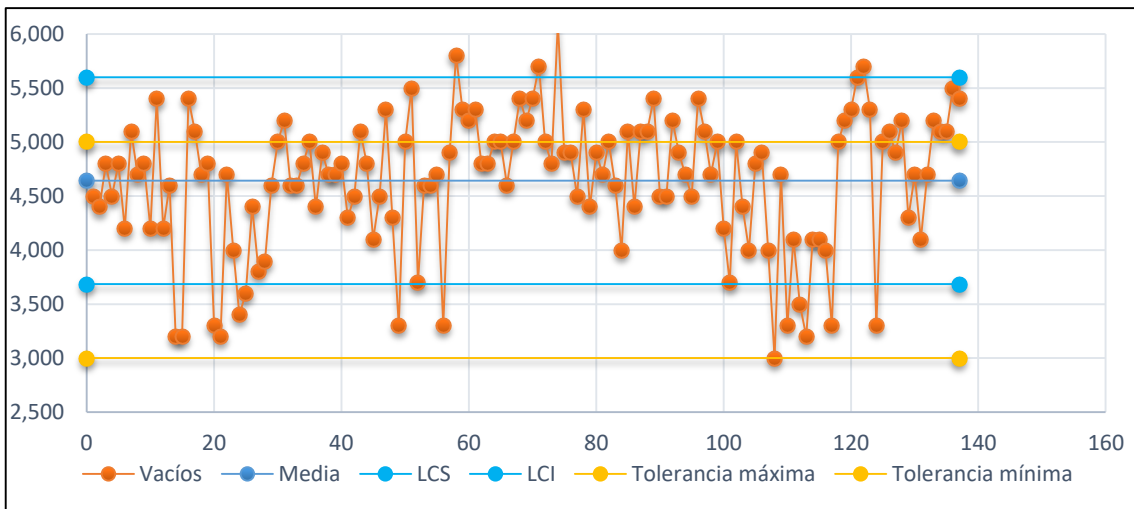
Cuando los valores de la variable en estudio se encuentran dentro de los límites de control se dice que nos encontramos con un proceso bajo control. Además se establece que:

$$P\left(|\bar{X} - \mu| < \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \right) = 0,9974$$

Es decir que se tiene una probabilidad que el 99.74 % de los valores se encuentran dentro de dicho rango. Como se puede observar esta es la situación si se descarta la última porción del grafico ya que la media ha sufrido un desplazamiento por el motivo ya mencionado. Se tienen 2 muestras de 100 que determinan un porcentaje aproximado. Además se debe analizar estos dos casos particulares.

A pesar de que esta variable sugiera un proceso bajo control esto no es así. Esto se sugiere por la representación como distribución normal graficada anteriormente. En esa instancia se tuvieron en cuenta todas las exigencias. Esto también se demuestra comparando el porcentaje que se obtiene como aceptable en ambos análisis. A continuación se agregan las cartas de control de las variables que calificaron las muestras fuera de R1 y R2 con más frecuencia y que provocan que el proceso se encuentre fuera de control. En primer lugar se muestra la Figura 6.8 en que se observa la evolución de los valores de los vacíos en la mezcla asfáltica. Como se ve más adelante este es el parámetro que es el más influyente en la falta de control del proceso productivo.

Figura 6.8- Carta de control de vacíos mediante aplicación de límites de control

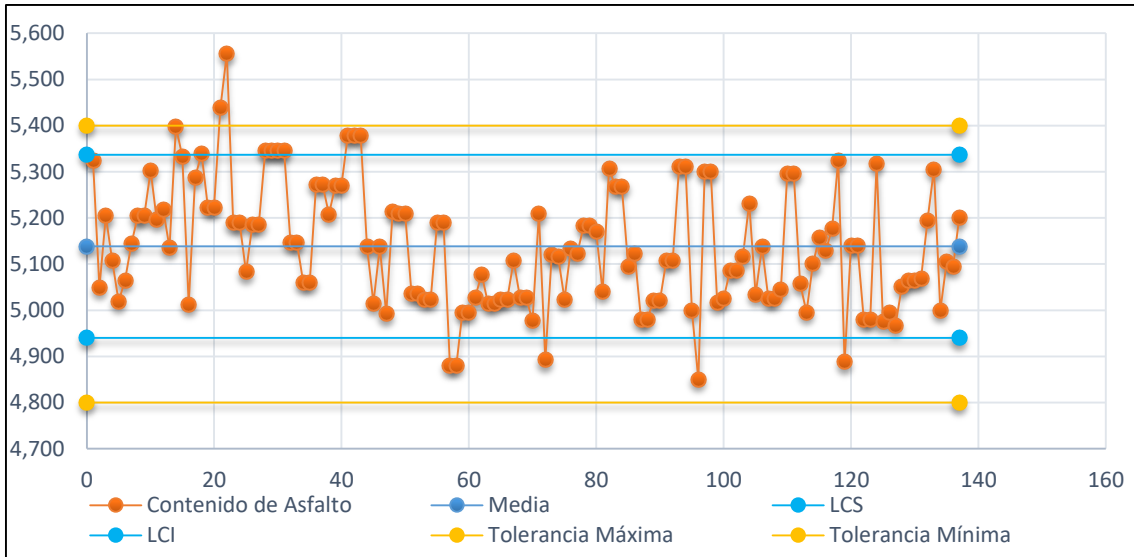


Se puede apreciar en primer lugar la gran cantidad de valores exteriores a los límites. Por este motivo se puede afirmar que el proceso está fuera de control. En segundo lugar, los límites de control, al estar centrados en la media real y no la de Formula de obra, están desfasados con respecto a las tolerancias exigidas. Por lo tanto para poder aplicar este método se debería normalizar el proceso para que los límites sean compatibles con las tolerancias o aplicar el método de límites de control que se describió en el capítulo de marco teórico que es aplicable a procesos en el que el desvío es la magnitud más importante. Estadísticamente esto también sería favorable ya que al desplazar la media al valor ideal de 4% las variaciones naturales del proceso serian menos peligrosas permitiéndose así una obtención de mayor calidad de mezcla asfáltica.

Pasando a la variable del contenido porcentual de cemento asfáltico en la mezcla en la Figura 6.9. Podemos observar un proceso fuera de control al igual con los vacíos. En este caso la media se encuentra levemente desplazada hacia un valor superior pero no de manera tan acentuada como los vacíos, y con una dispersión menor que los vacíos. Por esta razón se observa que las tolerancias son compatibles con los límites establecidos. Es importante recordar que esta variable está muy relacionada con los vacíos y que junto a ellos es el parámetro que tendió a alterar los valores aceptables de

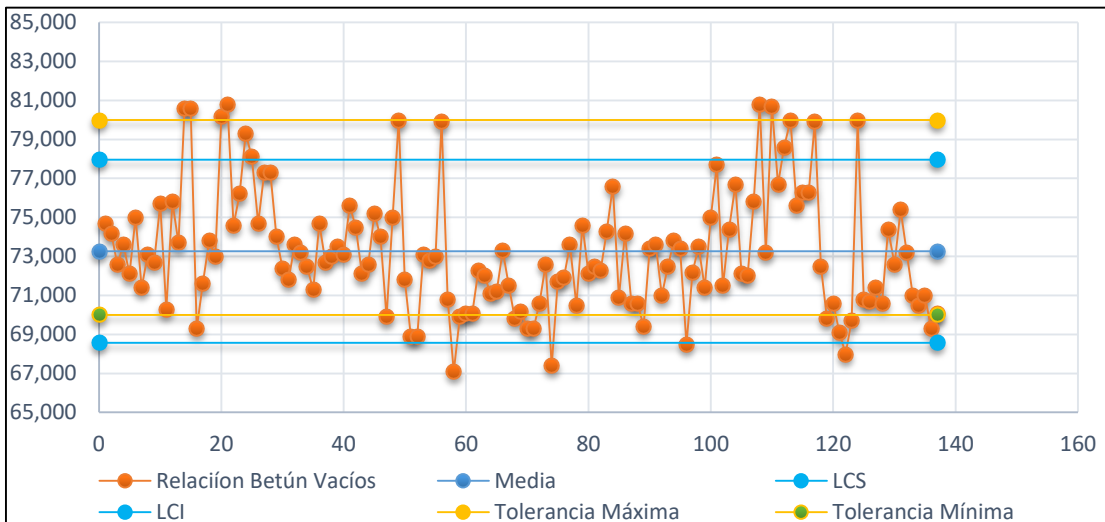
la mezcla asfáltica. El otro factor que influye en esta relación es la granulometría por lo que se analiza su funcionamiento colectivo para detectar posibles fallas.

Figura 6.9- Carta de control de contenido de asfalto mediante aplicación de límites de control



En la Figura 6.10 se grafican los valores individuales de la relación Betún-Vacíos. Este parámetro depende tanto de los vacíos como del contenido de asfalto. Por más que no se aprecie en esta figura se debe comentar que el contenido de cemento asfáltico se varía en planta diariamente ya que el funcionamiento de la bomba que se encarga de la inyección de asfalto no presenta un comportamiento uniforme

Figura 6.10- Carta de control de relación betún-vacíos mediante aplicación de límites de control



Por último se agrega la carta de control de la Relación Estabilidad –Fluencia en la Figura 6.11. La misma esta relacionada con malas granulometrías y con bajas Fluencias. Por lo que debe ser analizada teniendo en cuenta estas otras variables. Se observa una

tendencia de valores elevadas desde la muestra N°60 a N°100. Recordando lo expuesto con respecto a parámetros importantes de la mezcla asfáltica una REF elevada puede ser causa de bajas fluencias por cantidad insuficiente o deficiencia del cemento asfáltico, de granulometrías muy compactas o de alta relación filler- betún. No se encontró una causa constante por lo que se enumerara las posibles responsables que pudieron haber actuado en conjunto.

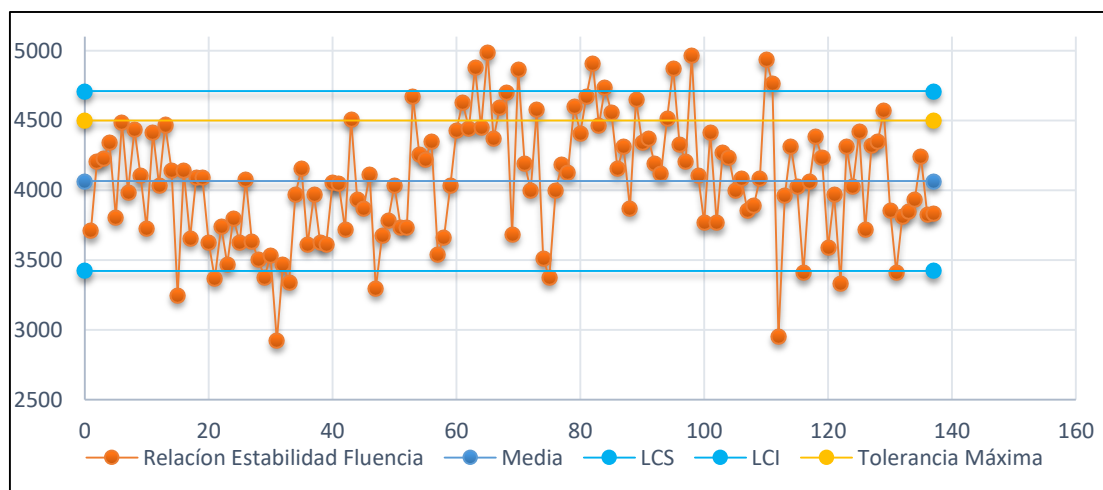
En primer lugar el contenido de cemento asfáltico fue muy próxima al mínimo en especial en las muestras a N°60 a N°70, esta variación provocaría un descenso en la Fluencia lo cual no se observó. En contraposición se observaron valores elevados de Estabilidad. Esta última según la curva de dosaje debería disminuir alejándose del contenido óptimo. En las muestras N°80 y N°85 elevada REF con contenidos aceptables de asfalto por lo que no se distingue el posible causante.

Dentro del mismo conjunto de datos se puede destacar que de la muestra N°50 a N°57 se midieron fluencias bajas a pesar de obtenerse valores aceptables de Relación Estabilidad Fluencia y contenidos aceptables de asfalto por lo que se podría inferir una deficiencia en el cemento asfáltico.

Volviendo al análisis del rango de muestras N°60 a N°70 se puede descartar una rigidización de la mezcla asfáltica por alta relación filler betún por el bajo contenido de partículas finas en todas las muestras de la población como ya se mencionó en el análisis de vacíos en conjunto con bajos contenidos de cemento asfáltico. Puede argumentarse que el problema fue en bajo aporte de cal la cual es necesaria para la conformación del mastic ligante- filler que proporciona un mejor comportamiento a la mezcla asfáltica. Si bien es razonable no se detectó descenso en la cantidad de partículas finas pasantes tamiz N°200. Esto se daría ya que la falla de la planta se encuentra en la pérdida de partículas finas en el horno mientras que no se encuentran pérdidas en el aporte de filler por ser este proceso posterior a la salida de la mezcla del horno.

Descartando estas causas se tiene que la causa es la granulometría. En ensayos diario de esta no se observa una curva que indique alta compactidad. Finalmente revisando planillas de control diario de planta se observa que la problemática era la falta de agregado fino de origen natural. Si bien solo representa el 5% es importante para reducir la fricción interna de la mezcla la cual aumenta la Estabilidad.

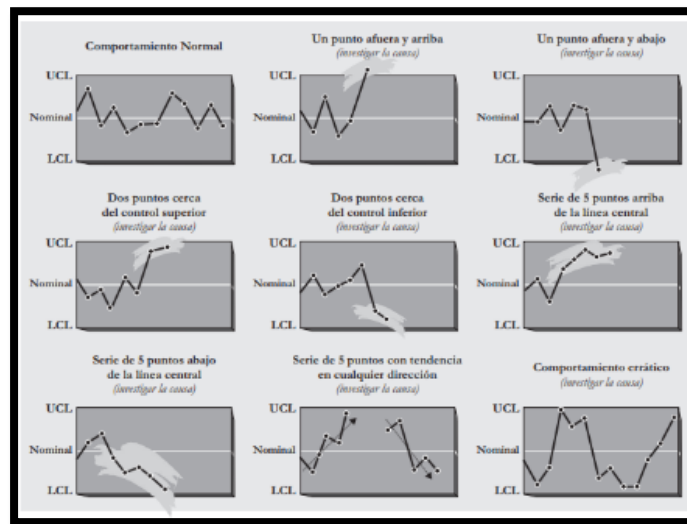
Figura 6.11- Carta de control de relación estabilidad-fluencia mediante aplicación de límites de control



El método de límites de control ha demostrado ser de gran utilidad por simplicidad y por permitir tomar decisiones más fácilmente. Aplicando esta metodología es posible determinar cuándo una variación es lo suficientemente grande como para tenerla en cuenta. Como desventaja se ha comprobado que se debe asegurar en primer lugar el valor de la media de cada variable para que las tolerancias sean compatibles con las mismas. Para suavizar las curvas y tener un análisis no tan enfocado en valores individuales queda la posibilidad de usar Cartas de control con medias móviles

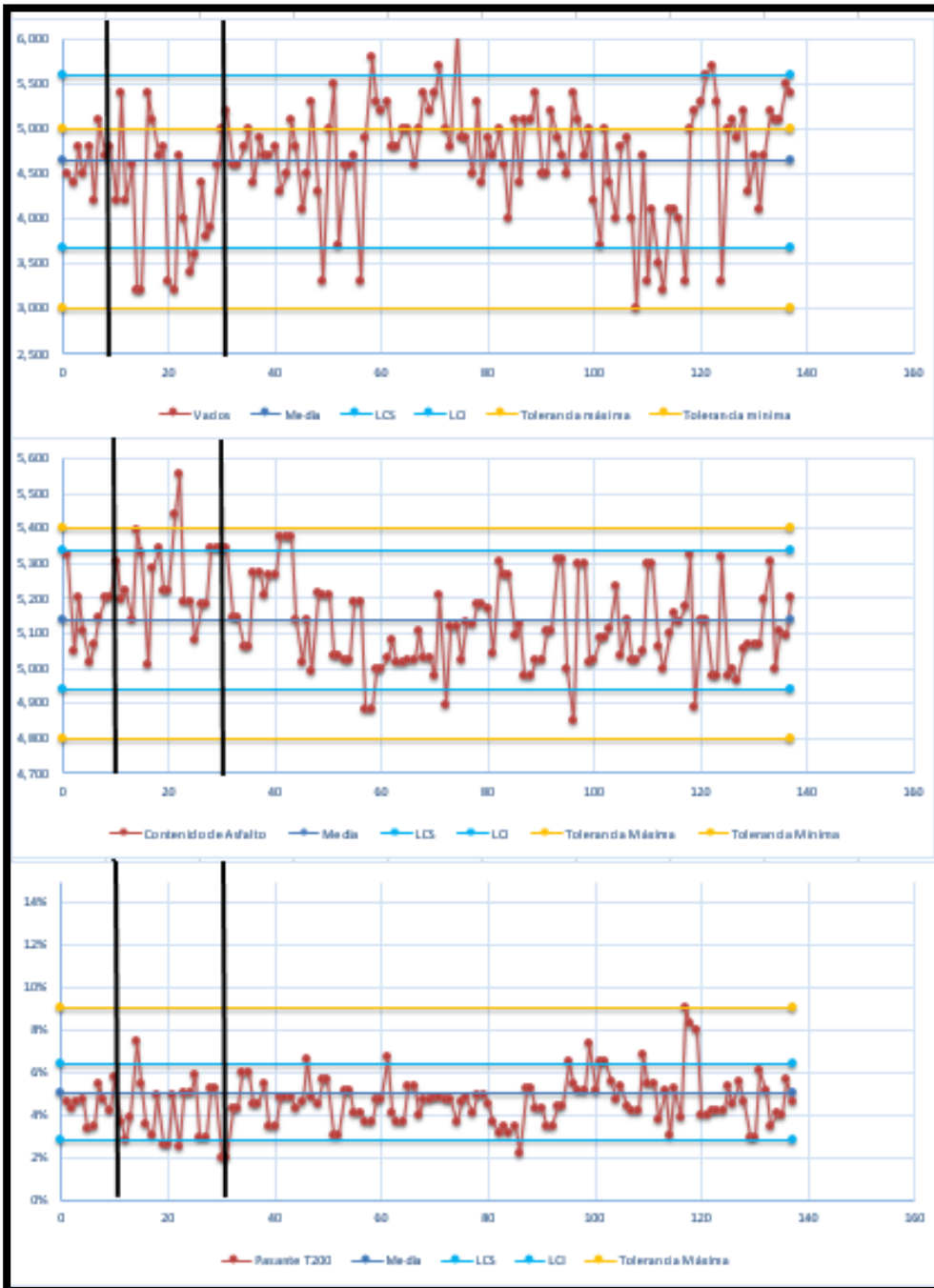
Por otro lado presentan la desventaja de no ser aptas para identificar patrones o eventos que cambien progresivamente la media del proceso, la cual como se ha visto provoca que esta metodología deje de ser aplicable. Existen recomendaciones para tener en cuenta las tendencias dentro de estas cartas. Estas se adjuntan en la Figura 6.12. Como desventaja se observa que sigue implicando actuar en el corto plazo.

Figura 6.12- Identificación de tendencias en cartas de control



A continuación, en la Figura 6.13, se realiza un análisis en conjunto de tres parámetros para comprobar la influencia de las partículas Pasante T200 en los vacíos como se había mencionado en el análisis de la variable de individual de vacíos. Se observa en la zona marcada, que engloba las muestras N° 10 a N°30, la influencia del faltante de esta fracción en la granulometría. Se ve que se tienen vacíos bajos, Pasante T200 y además altos contenidos de asfalto. Se demuestra cómo se incrementaba el contenido de asfalto para cumplir con ese requerimiento pero este aumento de asfalto no llegaba a compensar la falta de esta fracción.

Figura 6.13- Análisis en conjunto de vacíos, contenido de asfalto, material pasante T200



6.6.2- CUSUM- Sumas acumuladas

A continuación el método de Sumas acumuladas para complementar la información aportada por el método de límites de control y así detectar tendencias de evolución de valores que no se hayan podido apreciar antes y comprobar el desplazamiento de medias. Se realizó la Tabla 6.5 en la que se enumeran los distintos parámetros y sus valores medios. El método de las sumas acumuladas permite obtener otras conclusiones con respecto a estos valores y su variación a lo largo del tiempo. También se realizó el mismo proceso con los materiales retenidos en los distintos tamices del ensayo de granulometría de recuperación. Los resultados se ven en la Tabla 6.6.

Se analizaron todas las variables y se comprobó que el único parámetro que sufrió un cambio en su media fue la Densidad Marshall. Esta variación fue comprobada cuando se cambió la calidad del agregado fino de trituración. En cambio, las demás variables obtuvieron un sumatoria acumulada igual a cero. Esto indica que las medias no variaron y por lo tanto pertenecen a la misma población estadísticamente hablando. Esto también sucede con las densidades Marshall si se retiran los datos que pertenecen a la nueva población con una media distinta. Por lo tanto se puede concluir que los parámetros característicos de la mezcla asfáltica no coinciden con los de Formula de Obra para el muestreo analizado.

Tabla 6.5- Planilla resumen de parámetros promedios. Muestras pertenecientes a ambos muestreos

Parametro	D Marsh	D Rice	Asfalto	Vacios	VAM	RBV	Estabil	Fluencia	R E/F
Exigencia	-	-	4,8-5,2	3 - 5	>14	70 - 80	>1000	2 - 4,5	1800 - 4500
Media	2,464	2,584	5,14	4,64	17,32	73	1429	3,5	4066
Formula	2,460	2,565	5,2	4,1	17,25	74	1450	3,4	4260
Desvio	0,024	0,017	0,132	0,638	0,549	3,127	154,476	0,327	429,878
Variacion	0,18%	0,74%	-1,18%	13,21%	0,39%	-1,00%	-1,44%	3,88%	-4,55%

En esta tabla resumen se observa que los vacíos es la variable a analizar por su gran variabilidad, su cambio de media con respecto a la formula y finalmente por su impacto en las otras variables.

Este parámetro está relacionado a través de relaciones volumétricas con la granulometría de los áridos que conforman la mezcla asfáltica y con los VAM y la RBV. La primera depende de los porcentajes retenidos en cada tamaño de abertura de tamiz y los otros dos indicadores relacionan los vacíos con la cantidad de asfalto y también con la granulometría. Al verificarse que la cantidad de asfalto es cercana a la optima Podemos observar en la siguiente tabla los valores provenientes de las granulometrías de cinta.

Tabla 6.6- Planilla resumen de fracciones granulométricas. Muestras pertenecientes a ambos muestreos

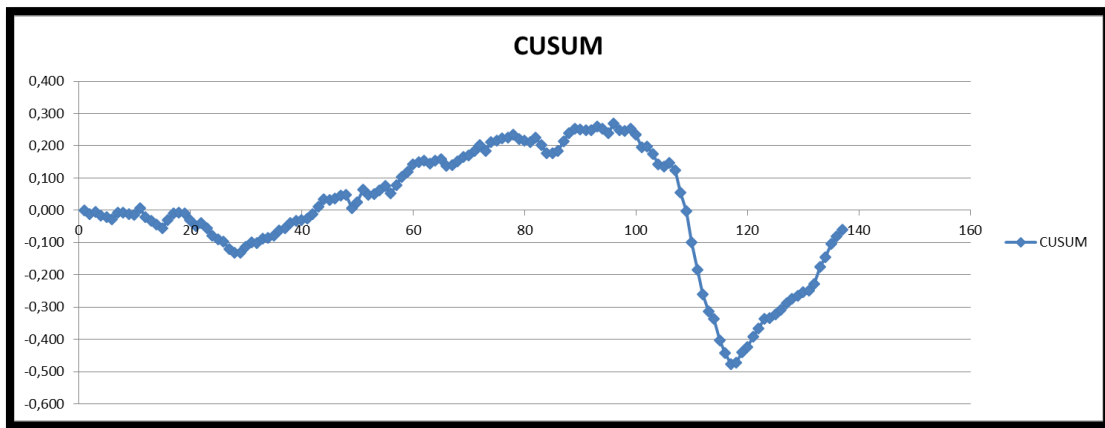
Tamiz	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
Exigencia	95% - 100%	81% - 91%	74% - 84%	48% - 57%	35% - 43%	25% - 32%	17% - 23%	12% - 18%	7% - 13%	5% - 9%
Media	100%	86%	79%	54%	40%	30%	19%	15%	9%	4,5%
Formula	100%	86%	79%	52%	39%	28%	20%	15%	10%	7,0%
Desvio	1%	4%	4%	4%	3%	3%	2%	2%	2%	1,8%
Variacion	-0,15%	-0,05%	0,39%	4,65%	2,42%	6,09%	-3,21%	-2,82%	-11,67%	-36,35%

Si observamos todos los parámetros tanto volumétricos como de granulometría podemos llegar a la conclusión que el material pasante tamiz 200 es el más influyente por el desplazamiento en su media a un valor inferior y su variabilidad. Esta fracción del material es muy importante debido a su superficie específica la cual cambia las demandas de asfalto y su influencia en generar una granulometría compacta con menor proporción de vacíos.

Densidad

Podemos observar a continuación, en la Figura 6.14, la gran pendiente en un tiempo muy reducido que se produce de las muestra numero 100 a las 120. Por otro lado se confirma que esta es la variable más estable como se había confirmado cuando se la seleccionó como variable de estudio. El descenso de la curva implica una tendencia a el aumento de la media poblacional. La variación de la media poblacional solo sucedió para esta variable ya que la curva finaliza con una ordenada distinta de 0.

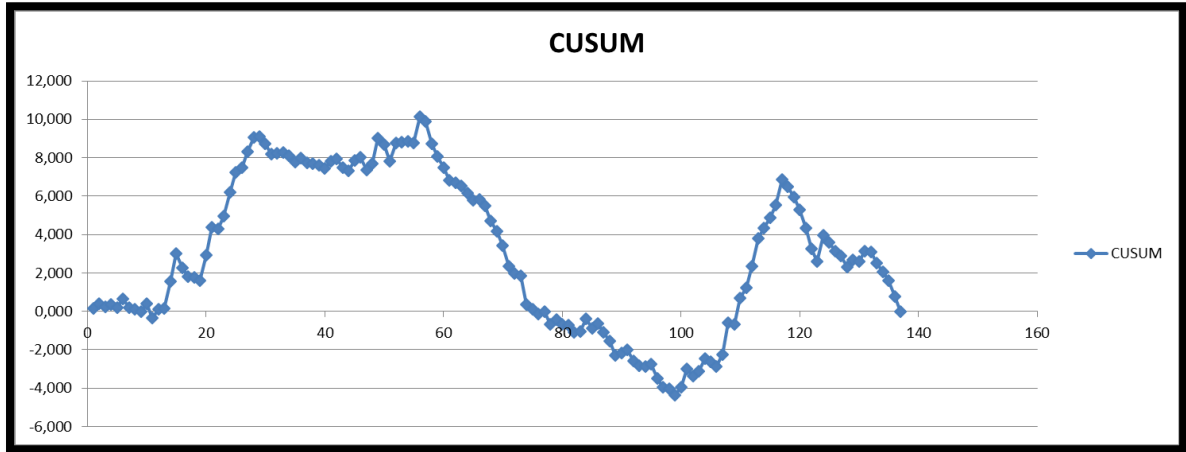
Figura 6.14- Carta de control de densidades Marshall mediante aplicación de sumas acumuladas



Vacíos

Se puede ver la misma conclusión que se obtuvo con las cartas de control de valores individuales y límites de control. También se observa el impacto del cambio de material para las mismas muestras que las densidades en la Figura 6.15. El aumento en las partículas Pasantes T200 tuvieron gran influencia en la cantidad de vacíos de la mezcla.

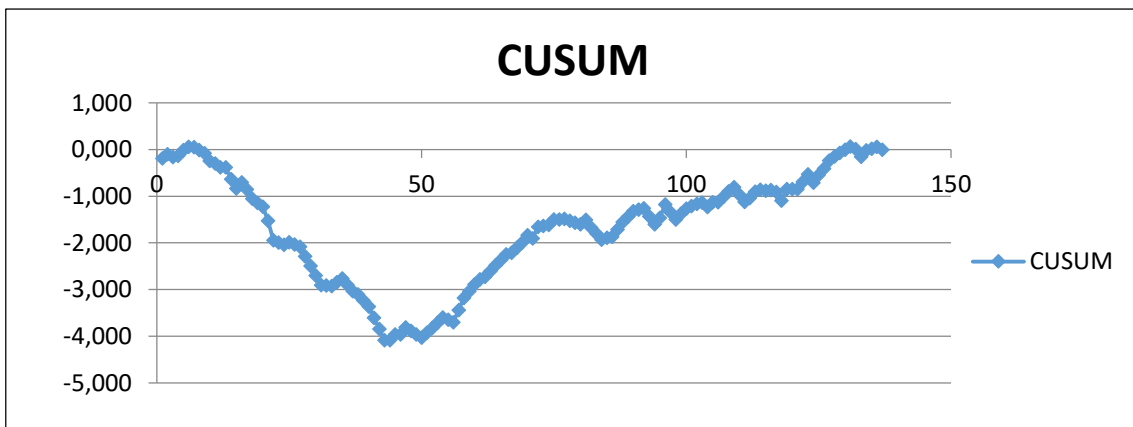
Figura 6.15- Carta de control de vacíos mediante aplicación de sumas acumuladas



Asfalto

El contenido de asfalto enfrenta una variación de la muestra N°10 a la N°50 aproximadamente. Luego tiende a estabilizarse. Este comportamiento es fácilmente detectado en esta carta de control si se tienen en cuenta los conceptos nombrados anteriormente. A continuación se muestra la carta en la Figura 6.16.

Figura 6.16- Carta de control de contenido de asfalto mediante aplicación de sumas acumuladas

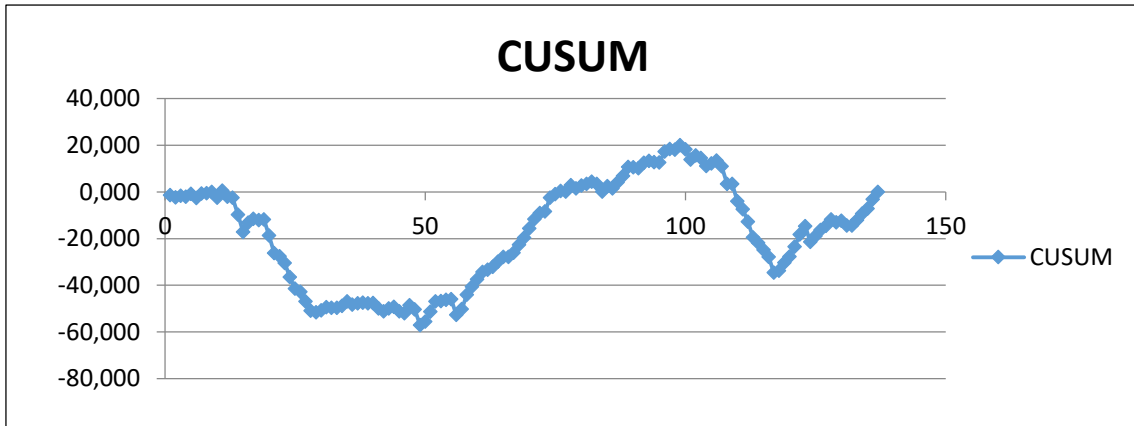


RBV

Se puede ver la interacción entre los Vacíos y el contenido de Asfalto en la Figura 6.17. En el caso de este parámetro si tenemos en cuenta la Figura 6.10 y observamos los valores que superan los límites de control desde la muestra N°45 a N°50 podemos ver que en esta carta se ve una pequeña variación pero rápidamente se vuelve una

estabilidad en el proceso. Por esta razón puede confirmarse que es importante utilizar ambas cartas complementariamente.

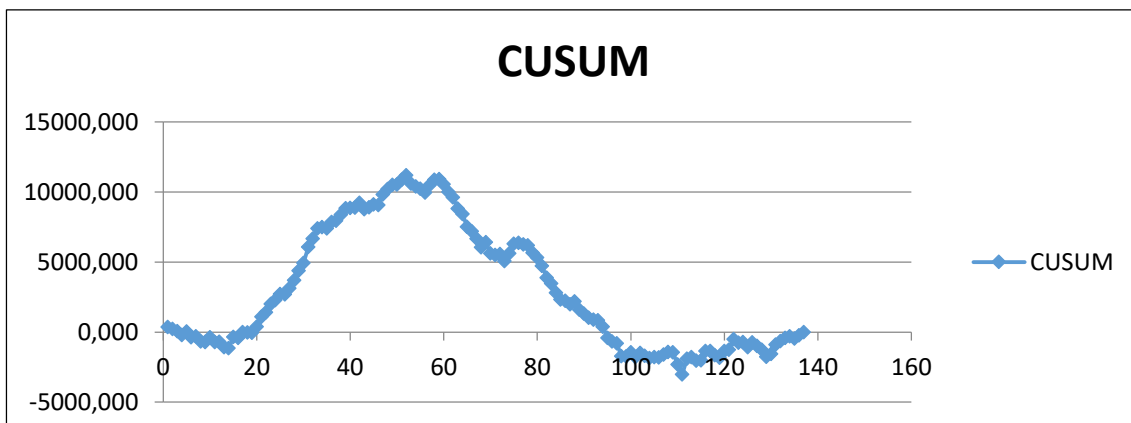
Figura 6.17- Carta de control de relación betún-vacíos mediante aplicación de sumas acumuladas



REF

En la Figura 6.18 observamos la carta de control de la relación Estabilidad-Fluencia. La tendencia de la muestra N°20 a N°60 no se tuvo en cuenta por no existir problemas con bajas relaciones estabilidad fluencia por las características de la curva de la Formula de obra. Se puede ver que las muestras deficientes que comprenden el rango de N°60 a N°100 analizadas en la carta de control de valores individuales pertenecen a la misma tendencia a pesar de que se detectó que esta consecuencia tiene distintas causas que se encuentran en distintos parámetros. Esto implica una gran desventaja en este método de control en cuanto a la facilidad de análisis.

Figura 6.18- Carta de control de relación estabilidad-fluencia mediante aplicación de sumas acumuladas



CONCLUSIÓN

Se puede concluir que el control de calidad es un proceso que abarca el proceso productivo desde la compra u obtención de materiales primarios hasta la puesta en obra de los productos elaborados a partir de ellos. Por este motivo es importante tenerlo en cuenta ya que tiene impacto tanto en aspectos económicos del proyecto como en la aptitud estructural y funcional del mismo.

Se ha abarcado todos los materiales, productos finales, capas estructurales y obras en que ha participado el alumno. Sin embargo, este informe final se enfocó el análisis en el proceso productivo de mezcla asfáltica en caliente. A Pesar de esto, es necesario remarcar que se deben tener en cuenta todas las etapas del proceso productivo en igual medida como ya se dijo. Estas son: La adquisición de materiales primarios componentes aptos, un dosaje correcto, producción de la mezcla asfáltica, transporte, colocación en obra y el control final sobre la estructura realizada.

El proceso diario de producción depende de un esfuerzo coordinado del sector administrativo, del laboratorio y de la operación de la planta asfáltica. Posteriormente toda la información obtenida se utilizara para realizar correcciones durante el día si es posible además de ser registrada adecuadamente para su posterior aprovechamiento en el día siguiente. Es importante recordar que es proceso que maneja grandes volúmenes de material se da en un marco temporal reducido por lo que las soluciones técnicas deben considerar este factor. En el laboratorio se debe decidir que ensayos realizar según la información disponible para solucionar diversas situaciones que se van presentando.

A partir del análisis estadístico se observó la falta de control sobre el proceso productivo de la planta asfáltica. Se identificó que la causa más influyente es el funcionamiento de la planta asfáltica. El mecanismo de recuperación de partículas finas de tamaño menor a 74 micras mediante vía húmeda resulta insuficiente causando gran variabilidad en la calidad e la mezcla asfáltica obligando a realizar ajustes diarios. Existen otras fuentes de variabilidad en el proceso que también pueden mejorarse pero esta es la más determinante.

Como objetivo se planteó aplicar la metodología de control de hormigones el cual es un claro ejemplo de aplicación de métodos estadísticos de control de procesos en el mismo ámbito que se encuentra la mezcla asfáltica, es decir un producto elaborado perteneciente al ámbito de la construcción. Si bien es conveniente y aceptable utilizar la distribución normal para obtención de conclusiones, el método de zonas críticas delimitadas por la resistencia especificada en hormigones presenta la desventaja de que no puede sobredimensionarse la resistencia cuando la variabilidad era importante. Ventaja que sería apropiada en el caso de estudio por las grandes variabilidades que provoca a la planta elaboradora. También queda pendiente el análisis de la metodología de tolerancias de distintos parámetros de mezclas asfálticas. Sin embargo se comprobó la importancia de mantener la media de los parámetros en el valor de la Formula de Obra. Para esto último se introdujo el concepto de cartas de control con sumas acumuladas que pueden también aportar a un perfeccionamiento del control de calidad de mezclas asfálticas.

COMENTARIOS FINALES

La realización de la Practica Supervisada es de gran utilidad para formar al profesional en áreas que no pueden ser tratadas en el ámbito universitario. Permite valorar la importancia de las relaciones inter personales, la responsabilidad profesional y la oportunidad de adaptarse al ambiente laboral propio de la construcción. Con la oportunidad de poder participar tanto en obra, planta asfáltica y oficina técnica.

El alumno tuvo la oportunidad de tomar noción de la necesidad de administrar bien tiempos para llegar a las conclusiones correctas de forma expeditiva. También de la necesidad de adquirir conocimientos técnicos que distan de los teóricos enseñados en la Universidad.

Con respecto a la estructura y objetivo del informe, este consiste en una descripción general de actividades realizadas y conocimientos adquiridos seguidos de un procesamiento de datos. No se cumplió de la mejor manera con el objetivo de aplicar métodos estadísticos ya que el alumno ocupó el tiempo en la empresa adquiriendo los conocimientos necesarios y realizando tareas que no están totalmente enfocadas en el control de la mezcla asfáltica. Cuando se intervino en el análisis de datos las decisiones fueron de carácter día a día. Por eso el análisis estadístico se realizó en retrospectiva en su mayoría cuando la función del mismo es lo opuesto.

En conclusión la Practica Supervisada fue exitosa por que se cumplió su principal objetivo que es la inserción del estudiante en la actividad laboral profesional. Con respecto al objetivo de aplicación de una nueva metodología se puede decir lo mismo ya que, a pesar de no haberse podido aplicar en su máximo potencial, se llegaron a conclusiones técnicas y se plantearon las ventajas de su posible aplicación en un futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- George C. Canavos (1994). *Probabilidad y Estadística- Métodos y aplicaciones*. Mc Graw Hill.
- James E. Cook (2011). *Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. ACI – American Concrete Institute Committee 214.

http://www.aice.cl/es/archivos/wp-aice-old/uploads/2012/01/214r_02.pdf

http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20214R-11%20Guide%20to%20Evaluation%20of%20Strength%20Test%20Results%20of%20Concrete_MyCivil.ir.pdf

- Dirección Nacional de Vialidad (1979) .*Normas de Ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad*
- ICPA .Instituto del Cemento Portland (2014)-*Control de calidad del Hormigón*. Octubre 2014, Tucumán, Argentina

http://www.icpa.org.ar/publico/files/TUCUMAN/07_Control-cal.pdf

- Jorge A. Páramo y Hugo E. Poncino (2012). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente en los inicios del siglo XX-La visión argentina. Mezclas convencionales*. Congreso XV1 argentino de vialidad y tránsito. Seminario Pre Congreso COMISION PERMANENTE DEL ASFALTO. Córdoba Argentina.

http://congresodevialidad.org.ar/congreso2012/conferencias-especiales/seminario_mezclas/paramo_poncino.pdf

- Ricardo R. Rissi. (2007). *Tecnología de los materiales de construcción. Control de Calidad del Hormigón* .Departamento de Estructuras UNC.
- Cátedra de Transporte III de la UNC (2017). Material y apuntes de clase.

ANEXOS

N° Total	N° Mes	Mes	Fecha	D Mar	D Ric	Asfal	Vac	VA	RB	Estal	Fluenci	R E/F
1	1	Agosto	03/08/2017	2,464	2,579	5,32	4,5	17,6	74,7	1426	3,85	3709
2	2	Agosto	04/08/2017	2,476	2,589	5,05	4,4	16,9	74,2	1609	3,83	4207
3	3	Agosto	04/08/2017	2,458	2,582	5,20	4,8	17,6	72,6	1456	3,46	4227
4	4	Agosto	05/08/2017	2,474	2,591	5,11	4,5	17,2	73,6	1650	3,83	4344
5	5	Agosto	05/08/2017	2,470	2,593	5,02	4,8	17,2	72,1	1427	3,83	3806
6	6	Agosto	07/08/2017	2,470	2,578	5,07	4,2	16,7	75	1554	3,50	4486
7	7	Agosto	08/08/2017	2,444	2,574	5,14	5,1	17,6	71,4	1368	3,50	3985
8	8	Agosto	09/08/2017	2,463	2,585	5,20	4,7	17,6	73,1	1587	3,58	4436
9	9	Agosto	11/08/2017	2,469	2,594	5,20	4,8	17,7	72,7	1478	3,60	4105
10	10	Agosto	15/08/2017	2,467	2,575	5,30	4,2	17,3	75,7	1492	4,00	3730
11	11	Agosto	16/08/2017	2,443	2,581	5,20	5,4	18,1	70,3	1361	3,10	4411
12	12	Agosto	17/08/2017	2,491	2,600	5,22	4,2	17,2	75,8	1443	3,58	4036
13	13	Agosto	18/08/2017	2,476	2,594	5,14	4,6	17,3	73,7	1530	3,43	4467
14	14	Agosto	19/08/2017	2,475	2,557	5,40	3,2	16,6	80,6	1746	4,23	4143
15	15	Agosto	22/08/2017	2,476	2,556	5,33	3,2	16,4	80,6	1358	4,20	3247
16	16	Agosto	23/08/2017	2,439	2,579	5,01	5,4	17,7	69,3	1354	3,28	4140
17	17	Agosto	23/08/2017	2,444	2,575	5,29	5,1	18,1	71,6	1260	3,45	3657
18	18	Agosto	25/08/2017	2,462	2,582	5,34	4,7	17,8	73,8	1230,8	3,00	4089
19	19	Agosto	26/08/2017	2,467	2,591	5,22	4,8	17,7	73	1351,8	3,40	4093
20	20	Agosto	26/08/2017	2,483	2,567	5,22	3,3	16,2	80,2	1327,5	3,70	3625
21	21	Agosto	28/08/2017	2,483	2,565	5,44	3,2	16,7	80,8	1211,5	3,60	3367
22	22	Agosto	29/08/2017	2,455	2,575	5,56	4,7	18,3	74,6	1403,8	3,80	3743
23	23	Agosto	30/08/2017	2,482	2,585	5,19	4	16,9	76,2	1392,3	3,10	3470
24	24	Agosto	30/08/2017	2,487	2,574	5,19	3,4	16,3	79,3	1454	2,90	3800
25	25	Agosto	31/08/2017	2,475	2,565	5,08	3,6	16,2	78,1	1342,3	3,70	3627
26	1	Septiembre	01/09/2017	2,472	2,584	5,19	4,4	17,2	74,7	1505,5	3,70	4079
27	2	Septiembre	01/09/2017	2,486	2,584	5,19	3,8	16,7	77,3	1476	4,10	3631
28	3	Septiembre	04/09/2017	2,476	2,576	5,34	3,9	17,1	77,3	1343,8	3,80	3507
29	4	Septiembre	04/09/2017	2,464	2,583	5,34	4,6	17,8	74	1383,8	4,10	3376
30	5	Septiembre	06/09/2017	2,445	2,574	5,35	5	18,1	72,4	1365,8	3,90	3530
31	6	Septiembre	06/09/2017	2,451	2,584	5,35	5,2	18,3	71,8	1152,5	4,00	2923
32	7	Septiembre	07/09/2017	2,466	2,583	5,15	4,6	17,3	73,6	1297,8	3,80	3469
33	8	Septiembre	07/09/2017	2,451	2,570	5,15	4,6	17,2	73,2	1133,5	3,40	3339
34	9	Septiembre	11/09/2017	2,463	2,586	5,06	4,8	17,2	72,5	1437,8	3,60	3971
35	10	Septiembre	11/09/2017	2,456	2,586	5,06	5	17,5	71,3	1567,8	3,80	4154
36	11	Septiembre	13/09/2017	2,448	2,560	5,27	4,4	17,3	74,7	1210,3	3,40	3613
37	12	Septiembre	13/09/2017	2,457	2,582	5,27	4,9	17,9	72,7	1449,8	3,70	3972
38	13	Septiembre	14/09/2017	2,448	2,570	5,21	4,7	17,5	73	1235,5	3,40	3629
39	14	Septiembre	15/09/2017	2,458	2,578	5,27	4,7	17,6	73,5	1367	3,80	3609
40	15	Septiembre	15/09/2017	2,462	2,585	5,27	4,8	17,8	73,1	1417,3	3,50	4052
41	16	Septiembre	16/09/2017	2,458	2,567	5,38	4,3	17,5	75,6	1415,3	3,50	4045
42	17	Septiembre	16/09/2017	2,452	2,568	5,38	4,5	17,7	74,5	1428,3	3,90	3723
43	18	Septiembre	18/09/2017	2,440	2,570	5,38	5,1	18,2	72,1	1406,3	3,10	4508
44	19	Septiembre	19/09/2017	2,442	2,564	5,14	4,8	17,3	72,6	1345,5	3,40	3935
45	20	Septiembre	20/09/2017	2,465	2,570	5,02	4,1	16,4	75,2	1417	3,70	3871
46	21	Septiembre	22/09/2017	2,460	2,575	5,14	4,5	17,1	74	1440	3,50	4112
47	22	Septiembre	23/09/2017	2,456	2,593	4,99	5,3	17,6	69,9	1200,8	3,70	3295
48	23	Septiembre	25/09/2017	2,460	2,570	5,21	4,3	17,1	75	1421	3,90	3678
49	24	Septiembre	29/09/2017	2,506	2,591	5,21	3,3	16,3	80	1659	4,40	3787
50	25	Septiembre	30/09/2017	2,446	2,574	5,21	5	17,8	71,8	1373	3,40	4037
51	1	Octubre	02/10/2017	2,425	2,566	5,04	5,5	17,7	68,9	1142,5	3,10	3734
52	2	Octubre	02/10/2017	2,480	2,576	5,04	3,7	17,7	68,9	1142,5	3,10	3734
53	3	Octubre	03/10/2017	2,463	2,580	5,02	4,6	16,9	73,1	1363,3	3,00	4672
54	4	Octubre	03/10/2017	2,453	2,572	5,02	4,6	16,9	72,8	1303,5	3,10	4258
55	5	Octubre	04/10/2017	2,450	2,571	5,19	4,7	17,5	73	1402,5	3,30	4222
56	6	Octubre	04/10/2017	2,486	2,571	5,19	3,3	16,2	79,9	1452,8	3,40	4353
57	7	Octubre	05/10/2017	2,441	2,566	4,88	4,9	16,8	70,8	1141,5	3,20	3543
58	8	Octubre	05/10/2017	2,439	2,589	4,88	5,8	17,7	67,1	1267,3	3,50	3662
59	9	Octubre	06/10/2017	2,447	2,584	5,00	5,3	17,5	69,9	1380,3	3,40	4033
60	10	Octubre	06/10/2017	2,441	2,575	5,00	5,2	17,4	70,1	1470,7	3,30	4425
61	11	Octubre	07/10/2017	2,458	2,595	5,03	5,3	17,6	70,1	1648	3,60	4631
62	12	Octubre	08/10/2017	2,459	2,583	5,08	4,8	17,3	72,3	1427,3	3,20	4444
63	13	Octubre	09/10/2017	2,473	2,598	5,01	4,8	17,2	72	1741,3	3,60	4877
64	14	Octubre	09/10/2017	2,455	2,583	5,01	5	17,3	71,1	1647,5	3,70	4449
65	15	Octubre	11/10/2017	2,460	2,589	5,02	5	17,4	71,2	1631,3	3,30	4987
66	16	Octubre	11/10/2017	2,483	2,601	5,02	4,6	17	73,3	1677	3,90	4368
67	17	Octubre	13/10/2017	2,462	2,592	5,11	5	17,6	71,5	1468,8	3,20	4590

Control estadístico de mezclas asfálticas

100% - 100%	95% - 100%	81% - 91%	74% - 84%	48% - 57%	35% - 43%	25% - 32%	17% - 23%	12% - 18%	7% - 13%	5% - 9%
1	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
100,0%	100,0%	87,6%	80,9%	56,9%	42,0%	31,0%	20,3%	15,3%	9,4%	4,7%
100,0%	100,0%	82,2%	78,3%	49,9%	36,5%	27,6%	18,3%	14,2%	8,9%	4,3%
100,0%	100,0%	91,4%	86,8%	56,0%	40,0%	29,3%	19,1%	14,5%	9,0%	4,6%
100,0%	100,0%	84,9%	79,1%	51,5%	38,5%	29,3%	19,5%	15,0%	9,3%	4,7%
100,0%	100,0%	76,1%	71,0%	43,0%	32,1%	24,4%	16,2%	12,4%	7,3%	3,3%
100,0%	100,0%	86,7%	82,9%	49,1%	34,4%	26,1%	16,6%	12,5%	7,4%	3,4%
100,0%	100,0%	90,7%	86,4%	55,8%	41,9%	31,1%	19,7%	14,9%	9,4%	5,4%
100,0%	100,0%	93,0%	88,2%	59,0%	43,3%	31,7%	20,6%	15,8%	9,8%	4,8%
100,0%	100,0%	87,0%	81,2%	52,1%	38,7%	28,7%	18,8%	14,5%	8,8%	4,2%
100,0%	100,0%	87,3%	80,7%	63,8%	46,6%	34,7%	22,2%	16,9%	10,5%	5,8%
100,0%	100,0%	82,8%	77,0%	52,0%	39,3%	28,9%	17,7%	13,2%	7,8%	3,7%
100,0%	100,0%	80,1%	72,0%	40,4%	30,5%	23,7%	15,6%	11,4%	6,5%	2,8%
100,0%	100,0%	85,9%	78,7%	47,1%	35,6%	26,9%	17,4%	13,2%	7,9%	3,8%
100,0%	100,0%	86,5%	79,7%	56,7%	46,0%	36,6%	24,6%	18,9%	12,3%	7,5%
100,0%	100,0%	81,8%	78,4%	55,0%	42,8%	32,9%	21,7%	16,0%	9,8%	5,5%
100,0%	100,0%	90,6%	83,5%	56,7%	41,3%	29,6%	18,2%	13,4%	7,7%	3,6%
100,0%	100,0%	93,0%	87,0%	58,1%	45,0%	33,6%	20,4%	14,9%	8,6%	0,0%
100,0%	100,0%	85,6%	77,9%	52,0%	40,1%	29,5%	20,2%	14,6%	9,3%	5,0%
100,0%	100,0%	79,9%	74,4%	45,8%	29,8%	22,3%	14,1%	10,5%	6,1%	2,6%
100,0%	100,0%	79,9%	74,4%	45,8%	29,8%	22,3%	14,1%	10,5%	6,1%	2,6%
100,0%	100,0%	92,4%	82,3%	60,3%	44,5%	32,7%	20,1%	15,3%	9,3%	4,9%
100,0%	90,0%	85,3%	61,2%	48,0%	36,5%	23,8%	10,5%	4,8%	10,0%	3,0%
100,0%	100,0%	84,4%	77,5%	51,5%	38,8%	30,0%	20,8%	16,0%	9,5%	5,0%
100,0%	100,0%	84,4%	77,5%	51,5%	38,8%	30,0%	20,8%	16,0%	9,5%	5,0%
100,0%	100,0%	90,3%	85,6%	62,7%	47,9%	35,7%	22,7%	17,1%	10,7%	5,9%
100,0%	100,0%	80,2%	73,7%	45,7%	33,2%	25,1%	16,9%	12,6%	6,9%	2,9%
100,0%	100,0%	80,2%	73,7%	45,7%	33,2%	25,1%	16,9%	12,6%	6,9%	2,9%
100,0%	100,0%	90,6%	83,8%	59,9%	44,8%	33,4%	21,6%	16,5%	10,1%	5,2%
100,0%	100,0%	90,6%	83,8%	59,9%	44,8%	33,4%	21,6%	16,5%	10,1%	5,2%
100,0%	100,0%	81,8%	76,6%	59,1%	44,5%	31,9%	20,3%	14,4%	6,9%	1,3%
100,0%	100,0%	81,8%	76,6%	59,1%	44,5%	31,9%	20,3%	14,4%	6,9%	1,3%
100,0%	100,0%	88,7%	82,7%	56,9%	43,0%	31,7%	19,8%	14,8%	8,9%	4,3%
100,0%	100,0%	88,7%	82,7%	56,9%	43,0%	31,7%	19,8%	14,8%	8,9%	4,3%
100,0%	100,0%	87,1%	82,4%	53,4%	39,5%	29,1%	19,4%	15,7%	10,7%	6,0%
100,0%	100,0%	87,1%	82,4%	53,4%	39,5%	29,1%	19,4%	15,7%	10,7%	6,0%
100,0%	100,0%	91,7%	86,7%	60,0%	43,1%	33,0%	20,6%	15,6%	9,3%	4,5%
100,0%	100,0%	91,7%	86,7%	60,0%	43,1%	33,0%	20,6%	15,6%	9,3%	4,5%
100,0%	100,0%	86,7%	79,0%	55,8%	44,6%	34,6%	23,0%	17,4%	10,5%	5,5%
100,0%	100,0%	87,9%	81,1%	50,4%	38,0%	29,2%	19,4%	14,4%	8,3%	3,5%
100,0%	100,0%	87,9%	81,1%	50,4%	38,0%	29,2%	19,4%	14,4%	8,3%	3,5%
100,0%	100,0%	91,8%	86,4%	56,2%	42,8%	32,0%	21,2%	16,1%	9,9%	4,8%
100,0%	100,0%	91,8%	86,4%	56,2%	42,8%	32,0%	21,2%	16,1%	9,9%	4,8%
100,0%	100,0%	91,8%	86,4%	56,2%	42,8%	32,0%	21,2%	16,1%	9,9%	4,8%
100,0%	100,0%	93,2%	89,1%	62,5%	46,2%	33,3%	19,8%	14,5%	8,6%	4,3%
100,0%	100,0%	86,2%	79,6%	52,9%	40,2%	30,7%	20,4%	15,7%	9,5%	4,7%
100,0%	100,0%	86,5%	80,0%	53,8%	41,4%	32,1%	22,0%	17,4%	11,3%	6,6%
100,0%	100,0%	87,3%	81,8%	52,1%	40,6%	30,9%	20,1%	15,4%	9,5%	4,8%
100,0%	100,0%	89,1%	81,5%	50,9%	36,0%	26,0%	15,5%	10,8%	6,0%	3,2%
100,0%	100,0%	84,1%	76,9%	58,1%	41,4%	31,6%	21,1%	16,5%	10,6%	5,7%
100,0%	100,0%	84,1%	76,9%	58,1%	41,4%	31,6%	21,1%	16,5%	10,6%	5,7%
100,0%	100,0%	83,4%	75,9%	56,3%	39,0%	28,7%	17,8%	13,0%	6,9%	1,8%
100,0%	100,0%	83,4%	75,9%	56,3%	39,0%	28,7%	17,8%	13,0%	6,9%	1,8%
100,0%	100,0%	83,4%	75,3%	57,7%	42,2%	31,3%	20,1%	15,6%	9,9%	5,2%
100,0%	100,0%	83,4%	75,3%	57,7%	42,2%	31,3%	20,1%	15,6%	9,9%	5,2%
100,0%	100,0%	84,7%	75,6%	58,1%	42,9%	31,3%	18,6%	13,9%	8,5%	4,1%
100,0%	100,0%	84,7%	75,6%	58,1%	42,9%	31,3%	18,6%	13,9%	8,5%	4,1%
100,0%	100,0%	82,1%	76,4%	52,2%	37,4%	27,8%	17,5%	13,1%	7,7%	3,7%
100,0%	100,0%	82,1%	76,4%	52,2%	37,4%	27,8%	17,5%	13,1%	7,7%	3,7%
100,0%	100,0%	91,2%	85,5%	53,7%	39,9%	30,2%	19,4%	14,8%	9,3%	4,7%
100,0%	100,0%	91,2%	85,5%	53,7%	39,9%	30,2%	19,4%	14,8%	9,3%	4,7%
100,0%	100,0%	88,3%	82,6%	56,1%	42,4%	32,4%	21,7%	16,6%	11,0%	6,7%
100,0%	100,0%	89,2%	83,5%	55,6%	39,9%	29,5%	18,9%	14,1%	8,7%	4,1%
100,0%	100,0%	85,0%	80,5%	50,0%	36,4%	26,7%	16,7%	12,6%	7,7%	3,7%
100,0%	100,0%	85,0%	80,5%	50,0%	36,4%	26,7%	16,7%	12,6%	7,7%	3,7%
100,0%	100,0%	82,3%	78,1%	58,6%	41,9%	31,5%	20,5%	15,8%	9,8%	5,4%
100,0%	100,0%	82,3%	78,1%	58,6%	41,9%	31,5%	20,5%	15,8%	9,8%	5,4%
100,0%	100,0%	82,3%	75,5%	57,5%	40,8%	30,1%	18,3%	13,3%	7,9%	4,0%

Control estadístico de mezclas asfálticas

N° Total	N° Mes	Mes	Fecha	2,46	2,565	5,2	3 - 5	>14	70 - 80	>1000	2 - 4,5	1800 - 4500
				D Mar	D Rit	Asfal	Vaci	VA	RB	Estal	Fluenci	R E/F
68	18	Octubre	14/10/2017	2,454	2,592	5,03	5,4	17,7	69,8	1466,8	3,10	4698
69	19	Octubre	14/10/2017	2,449	2,584	5,03	5,2	17,5	70,2	1284,5	3,50	3686
70	20	Octubre	16/10/2017	2,460	2,602	4,98	5,4	17,7	69,3	1617	3,40	4864
71	21	Octubre	17/10/2017	2,450	2,597	5,21	5,7	18,4	69,3	1368,8	3,30	4192
72	22	Octubre	20/10/2017	2,446	2,575	4,89	5	17	70,6	1357,8	3,40	4000
73	23	Octubre	20/10/2017	2,482	2,606	5,12	4,8	17,5	72,6	1667,5	3,70	4574
74	24	Octubre	23/10/2017	2,437	2,594	5,12	6,1	18,5	67,4	1174	3,40	3512
75	25	Octubre	24/10/2017	2,459	2,585	5,02	4,9	17,3	71,7	1133,5	3,50	3372
76	26	Octubre	25/10/2017	2,459	2,586	5,13	4,9	17,5	71,9	1426,5	3,60	3997
77	27	Octubre	27/10/2017	2,461	2,577	5,12	4,5	17,2	73,6	1439,3	3,50	4185
78	28	Octubre	28/10/2017	2,455	2,593	5,18	5,3	18,1	70,5	1332	3,20	4130
79	29	Octubre	28/10/2017	2,478	2,591	5,18	4,4	17,2	74,6	1621,3	3,50	4599
80	30	Octubre	29/10/2017	2,469	2,597	5,17	4,9	17,7	72,1	1505	3,40	4407
81	31	Octubre	30/10/2017	2,468	2,590	5,04	4,7	17,2	72,5	1461,5	3,10	4673
82	32	Octubre	31/10/2017	2,451	2,579	5,31	5	18	72,3	1482	3,00	4907
83	1	Noviembre	01/11/2017	2,488	2,607	5,27	4,6	17,7	74,3	1590,5	3,60	4465
84	2	Noviembre	01/11/2017	2,489	2,593	5,27	4	17,1	76,6	1665,5	3,50	4733
85	3	Noviembre	02/11/2017	2,462	2,594	5,09	5,1	17,6	70,9	1538	3,40	4559
86	4	Noviembre	06/11/2017	2,457	2,570	5,12	4,4	17	74,2	1464	3,50	4155
87	5	Noviembre	08/11/2017	2,435	2,565	4,98	5,1	17,2	70,6	1441	3,40	4312
88	6	Noviembre	08/11/2017	2,438	2,568	4,98	5,1	17,2	70,6	1465,5	3,80	3871
89	7	Noviembre	09/11/2017	2,450	2,591	5,02	5,4	17,7	69,4	1518,8	3,30	4651
90	8	Noviembre	09/11/2017	2,467	2,583	5,02	4,5	16,9	73,4	1529,5	3,50	4343
91	9	Noviembre	11/11/2017	2,466	2,583	5,11	4,5	17,2	73,6	1539,8	3,50	4371
92	10	Noviembre	11/11/2017	2,464	2,598	5,11	5,2	17,8	71	1441,5	3,50	4189
93	11	Noviembre	12/11/2017	2,454	2,581	5,31	4,9	17,9	72,5	1408,8	3,40	4119
94	12	Noviembre	12/11/2017	2,469	2,591	5,31	4,7	17,8	73,8	1578,5	3,50	4512
95	13	Noviembre	13/11/2017	2,479	2,595	5,00	4,5	16,9	73,4	1645	3,40	4872
96	14	Noviembre	13/11/2017	2,433	2,573	4,85	5,4	17,2	68,5	1401	3,30	4330
97	15	Noviembre	16/11/2017	2,486	2,619	5,30	5,1	18,3	72,2	1670,3	4,00	4203
98	16	Noviembre	16/11/2017	2,467	2,589	5,30	4,7	17,8	73,5	1577,8	3,20	4964
99	17	Noviembre	17/11/2017	2,457	2,584	5,02	5	17,3	71,4	1587,8	3,90	4105
100	18	Noviembre	19/11/2017	2,483	2,591	5,02	4,2	16,7	75	1618,5	4,30	3765
101	19	Noviembre	20/11/2017	2,502	2,596	5,09	3,7	16,4	77,7	1610,8	3,70	4411
102	20	Noviembre	20/11/2017	2,463	2,592	5,09	5	17,5	71,5	1354,8	3,60	3766
103	21	Noviembre	21/11/2017	2,487	2,600	5,12	4,4	17,1	74,4	1546,5	3,60	4267
104	22	Noviembre	23/11/2017	2,497	2,601	5,23	4	17	76,7	1609,8	3,80	4236
105	23	Noviembre	24/11/2017	2,470	2,595	5,03	4,8	17,3	72,1	1570	3,90	4001
106	24	Noviembre	25/11/2017	2,454	2,581	5,14	4,9	17,6	72	1545,5	3,80	4081
107	25	Noviembre	29/11/2017	2,487	2,591	5,02	4	16,5	75,8	1205,5	3,10	3856
108	26	Noviembre	29/11/2017	2,533	2,612	5,02	3	15,7	80,8	1327,3	3,40	3891
109	1	Diciembre	11/12/2017	2,521	2,645	5,05	4,7	17,4	73,2	1522,3	3,80	4084
110	2	Diciembre	12/12/2017	2,561	2,647	5,30	3,3	16,8	80,7	1812,5	3,70	4934
111	3	Diciembre	12/12/2017	2,548	2,657	5,30	4,1	17,6	76,7	1771,8	3,70	4768
112	4	Diciembre	14/12/2017	2,540	2,632	5,06	3,5	16,4	78,6	1438,5	4,90	2951
113	5	Diciembre	15/12/2017	2,518	2,600	5,00	3,2	15,8	80	1515,5	3,80	3966
114	6	Diciembre	18/12/2017	2,487	2,593	5,10	4,1	16,8	75,6	1405,3	3,30	4315
115	7	Diciembre	20/12/2017	2,530	2,637	5,16	4,1	17,1	76,3	1509,8	3,80	4028
116	8	Diciembre	21/12/2017	2,503	2,607	5,13	4	16,9	76,3	1309,8	3,90	3408
117	9	Diciembre	22/12/2017	2,499	2,582	5,18	3,3	16,2	79,9	1650,5	4,10	4060
118	1	Enero	03/01/2018	2,460	2,589	5,32	5	18,1	72,5	1578	3,60	4383
119	2	Enero	03/01/2018	2,432	2,563	4,89	5,2	17,1	69,8	1433	3,40	4236
120	3	Enero	04/01/2018	2,447	2,582	5,14	5,3	17,8	70,6	1198,3	3,40	3586
121	4	Enero	04/01/2018	2,433	2,577	5,14	5,6	18,1	69,1	1374,3	3,50	3968
122	5	Enero	05/01/2018	2,440	2,588	4,98	5,7	17,9	68	1219,3	3,70	3334
123	6	Enero	05/01/2018	2,432	2,568	4,98	5,3	17,4	69,7	1405,3	3,30	4315
124	7	Enero	08/01/2018	2,463	2,546	5,32	3,3	16,4	80	1638,3	4,10	4024
125	8	Enero	09/01/2018	2,452	2,581	4,98	5	17,2	70,8	1484,3	3,38	4419
126	9	Enero	10/01/2018	2,451	2,582	5,00	5,1	17,3	70,7	1207,3	3,25	3717
127	10	Enero	11/01/2018	2,443	2,568	4,97	4,9	17	71,4	1344	3,13	4322
128	11	Enero	12/01/2018	2,450	2,584	5,05	5,2	17,6	70,6	1408,5	3,25	4345
129	12	Enero	15/01/2018	2,455	2,565	5,06	4,3	16,7	74,4	1495,8	3,28	4571
130	13	Enero	15/01/2018	2,452	2,573	5,06	4,7	17,1	72,6	1172,5	3,05	3852
131	14	Enero	16/01/2018	2,460	2,565	5,07	4,1	16,5	75,4	1117,5	3,28	3413
132	15	Enero	16/01/2018	2,442	2,561	5,19	4,7	17,4	73,2	1271	3,33	3810
133	16	Enero	17/01/2018	2,412	2,545	5,31	5,2	18	71	1242	3,23	3848
134	17	Enero	18/01/2018	2,434	2,564	5,00	5,1	17,3	70,5	1198,3	3,05	3935
135	18	Enero	18/01/2018	2,422	2,551	5,11	5,1	17,5	71	1284	3,03	4244
136	19	Enero	19/01/2018	2,441	2,584	5,09	5,5	18	69,3	1230,5	3,23	3822
137	20	Enero	22/01/2018	2,444	2,584	5,20	5,4	18,1	70,1	1197,3	3,13	3836

Control estadístico de mezclas asfálticas

100% - 100%	95% - 100%	81% - 91%	74% - 84%	48% - 57%	35% - 43%	25% - 32%	17% - 23%	12% - 18%	7% - 13%	5% - 9%
1	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
100,0%	100,0%	84,3%	76,8%	56,8%	41,2%	29,9%	19,2%	12,4%	7,4%	4,7%
100,0%	100,0%	84,3%	76,8%	56,8%	41,2%	29,9%	19,2%	12,4%	7,4%	4,7%
100,0%	100,0%	83,3%	78,0%	59,6%	42,9%	30,3%	20,8%	15,6%	9,6%	4,9%
100,0%	100,0%	83,7%	74,1%	58,7%	43,8%	33,5%	21,8%	16,5%	9,8%	4,8%
100,0%	100,0%	83,3%	75,6%	55,7%	42,1%	30,6%	19,0%	13,9%	8,6%	4,8%
100,0%	100,0%	83,3%	75,6%	55,7%	42,1%	30,6%	19,0%	13,9%	8,6%	4,8%
100,0%	100,0%	85,0%	75,8%	54,0%	38,0%	28,0%	17,6%	13,1%	7,7%	3,6%
100,0%	100,0%	84,4%	79,0%	50,0%	37,1%	27,5%	17,8%	13,6%	8,7%	4,6%
100,0%	100,0%	89,4%	83,3%	57,6%	43,6%	32,5%	20,5%	15,5%	9,3%	4,8%
100,0%	100,0%	84,1%	77,6%	49,0%	36,7%	27,1%	17,7%	13,6%	8,3%	4,1%
100,0%	100,0%	84,6%	77,0%	54,4%	40,4%	29,9%	18,5%	14,1%	8,9%	4,9%
100,0%	100,0%	84,6%	77,0%	54,4%	40,4%	29,9%	18,5%	14,1%	8,9%	4,9%
100,0%	100,0%	89,1%	82,4%	51,6%	37,2%	27,9%	18,2%	13,9%	8,7%	4,5%
100,0%	100,0%	83,1%	78,6%	50,9%	38,1%	27,9%	16,7%	12,7%	7,7%	3,7%
100,0%	100,0%	93,4%	84,8%	51,9%	37,7%	27,5%	16,9%	12,5%	7,3%	3,1%
100,0%	100,0%	88,7%	81,7%	56,7%	40,5%	30,2%	20,6%	15,2%	8,8%	3,5%
100,0%	100,0%	88,7%	81,7%	56,7%	40,5%	30,2%	20,6%	14,8%	8,5%	3,1%
100,0%	100,0%	80,3%	72,2%	48,5%	35,6%	25,7%	16,4%	12,4%	7,4%	3,4%
100,0%	100,0%	86,0%	78,7%	55,7%	43,2%	32,8%	21,1%	16,0%	9,9%	2,2%
100,0%	100,0%	86,3%	80,9%	56,4%	42,3%	30,2%	19,4%	14,9%	10,1%	5,2%
100,0%	100,0%	86,3%	80,9%	56,4%	42,3%	30,2%	19,4%	14,9%	10,1%	5,2%
100,0%	100,0%	87,4%	78,6%	53,9%	39,2%	28,5%	18,2%	13,9%	8,6%	4,3%
100,0%	100,0%	87,4%	78,6%	53,9%	39,2%	28,5%	18,2%	13,9%	8,6%	4,3%
100,0%	100,0%	88,2%	81,2%	55,1%	37,9%	26,5%	16,4%	12,5%	7,5%	3,4%
100,0%	100,0%	88,2%	81,2%	55,1%	37,9%	26,5%	16,4%	12,5%	7,5%	3,4%
100,0%	100,0%	87,2%	80,2%	54,9%	39,0%	28,2%	18,2%	14,0%	8,5%	4,4%
100,0%	100,0%	87,2%	80,2%	54,9%	39,0%	28,2%	18,2%	14,0%	8,5%	4,4%
100,0%	100,0%	84,6%	77,8%	63,0%	47,2%	36,5%	24,9%	19,2%	11,7%	6,5%
100,0%	90,0%	85,9%	79,1%	54,5%	39,1%	28,6%	19,0%	14,8%	9,5%	5,5%
100,0%	100,0%	84,6%	78,5%	56,5%	40,4%	29,9%	19,6%	14,9%	8,5%	5,1%
100,0%	100,0%	84,6%	78,5%	56,5%	40,4%	29,9%	19,6%	14,9%	8,5%	5,1%
100,0%	100,0%	82,2%	75,7%	53,9%	42,0%	31,8%	22,6%	17,1%	12,0%	7,4%
100,0%	100,0%	86,1%	79,0%	56,0%	42,0%	31,5%	22,2%	15,4%	11,0%	5,1%
100,0%	100,0%	85,8%	80,9%	57,7%	41,4%	31,8%	22,4%	16,6%	9,9%	6,6%
100,0%	100,0%	85,8%	80,9%	57,7%	41,4%	31,8%	22,4%	16,6%	9,9%	6,6%
100,0%	100,0%	83,7%	80,1%	58,0%	44,6%	34,6%	24,2%	16,6%	10,5%	5,6%
100,0%	100,0%	81,7%	72,7%	52,6%	38,4%	29,7%	20,7%	16,2%	9,7%	4,7%
100,0%	100,0%	83,9%	77,4%	54,7%	39,9%	31,3%	21,9%	17,1%	10,5%	5,4%
100,0%	100,0%	91,4%	84,8%	55,1%	40,2%	31,5%	21,7%	16,7%	9,5%	4,4%
100,0%	100,0%	80,7%	75,3%	49,0%	34,0%	25,9%	18,1%	14,3%	8,7%	4,2%
100,0%	100,0%	80,7%	75,3%	49,0%	34,0%	25,9%	18,1%	14,3%	8,7%	4,2%
100,0%	100,0%	80,3%	73,7%	51,5%	38,8%	32,2%	23,2%	17,7%	11,2%	6,9%
100,0%	100,0%	80,4%	74,9%	53,2%	42,7%	32,6%	23,6%	15,7%	9,8%	5,4%
100,0%	100,0%	80,4%	74,9%	53,2%	42,7%	32,6%	23,6%	15,7%	9,8%	5,4%
100,0%	100,0%	85,5%	76,9%	54,4%	36,6%	26,6%	17,5%	13,2%	7,5%	3,7%
100,0%	100,0%	80,3%	74,8%	53,1%	42,5%	32,5%	23,4%	15,5%	9,5%	5,2%
100,0%	100,0%	85,6%	77,0%	55,0%	38,9%	26,2%	17,5%	12,8%	7,0%	3,1%
100,0%	100,0%	85,2%	76,6%	54,1%	38,7%	29,6%	19,1%	13,7%	8,9%	5,2%
100,0%	100,0%	86,3%	78,2%	55,2%	37,4%	27,3%	18,9%	14,3%	8,1%	3,9%
100,0%	100,0%	88,9%	83,2%	59,4%	47,2%	39,0%	30,0%	24,9%	16,3%	12,0%
100,0%	100,0%	91,3%	85,9%	58,8%	42,5%	32,0%	22,3%	18,2%	12,3%	8,4%
100,0%	100,0%	91,3%	85,8%	58,6%	42,3%	31,7%	22,0%	17,9%	11,9%	8,0%
100,0%	100,0%	84,1%	77,6%	55,3%	39,8%	28,7%	17,1%	12,5%	7,3%	4,0%
100,0%	100,0%	84,1%	77,6%	55,3%	39,8%	28,7%	17,1%	12,5%	7,3%	4,0%
100,0%	100,0%	91,5%	84,3%	54,3%	38,8%	28,6%	18,7%	14,5%	8,8%	4,2%
100,0%	100,0%	91,5%	84,3%	54,3%	38,8%	28,6%	18,7%	14,5%	8,8%	4,2%
100,0%	100,0%	82,2%	73,6%	50,8%	35,3%	24,1%	15,1%	11,8%	7,1%	4,2%
100,0%	100,0%	79,5%	71,8%	50,1%	34,8%	26,7%	18,6%	15,0%	9,8%	5,3%
100,0%	100,0%	82,8%	74,2%	49,3%	36,3%	26,2%	18,5%	14,0%	8,7%	4,5%
100,0%	100,0%	86,0%	76,6%	49,6%	35,0%	26,8%	18,6%	14,6%	9,7%	5,6%
100,0%	100,0%	87,1%	81,9%	50,5%	34,3%	25,3%	17,0%	13,3%	8,5%	4,6%
100,0%	100,0%	86,9%	77,2%	53,5%	40,9%	29,7%	17,9%	12,9%	6,1%	2,9%
100,0%	100,0%	86,9%	77,2%	53,5%	40,9%	29,7%	17,9%	12,9%	6,1%	2,9%
100,0%	100,0%	88,7%	83,4%	55,1%	36,8%	26,1%	17,6%	14,2%	9,7%	6,1%
100,0%	100,0%	90,0%	83,1%	56,1%	40,8%	30,2%	19,2%	14,7%	9,1%	5,2%
100,0%	100,0%	92,4%	85,0%	53,8%	36,5%	25,7%	16,6%	13,3%	7,5%	3,5%
100,0%	100,0%	89,3%	82,3%	54,1%	36,6%	26,2%	16,0%	12,2%	7,5%	4,1%
100,0%	100,0%	88,2%	80,7%	53,5%	36,9%	25,8%	15,4%	12,0%	7,0%	4,0%
100,0%	100,0%	82,1%	76,0%	51,0%	38,3%	28,6%	19,0%	14,7%	9,5%	5,7%
100,0%	100,0%	83,1%	75,8%	53,2%	42,6%	30,1%	17,9%	13,7%	8,4%	4,6%